

홀로세 남극 퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 연구

paleoenvironmental research from the Holocene core sediment  
in the Antarctic, based on diatom assemblage



전북대학교 산학협력단

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “서남극 빙붕 변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사(deglaciation history)복원 기술 개발” 과제의 위탁연구 “홀로세 남극 퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 연구” 과제의 최종보고서(보고서 제목: “홀로세 남극 퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 연구”) 로 제출합니다.



2016 . 1 .

총괄연구책임자 : 윤 호 일

위탁연구기관명 : 전북대학교 산학협력단

위탁연구책임자 : 박 영 속

위탁참여연구원 : 임 해 영

# 요 약 문

## I. 제 목

홀로세 남극 퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

남극은 남위 60도 남쪽으로 정의되며, 남극은 면적이 1,420만km<sup>2</sup>로 세계에서 5번째의 큰 대륙이다. 평균두께 2,160m의 얼음으로 덮여있으며, 오세아니아나 유럽 대륙보다 넓다. 지구온난화 문제는 21세기 인류가 삶을 영위해 나가는데 있어 다양한 측면에서 부정적으로 작용하고 있는 것이 사실이며, 이 문제에 대하여 적극적인 대처를 하지 못하는 경우 생존의 문제와도 직결될 수 있다(이재성과 김은주, 2011). GRACE 위성 중력 자료의 해석에 의하면, 남극반도, 작은빙하, 빙모를 포함해서 2002년 4월부터 3005년 7월 사이에 연간 139± 73 Gt가 유실되었다(Velicogna and Wahr, 2006). 특히, 동남극에 대해서는 거의 균형을 이루는 반면 서남극은 연간 136± 21 Gt의 질량이 손실 되었다. 우리나라가 극지에 관심을 가지기 시작한 것은 1978년 남빙양에서 크릴을 시험 조업한 것이 처음이다. 그 후 1988년 남극에 세종기지가 건설되면서 본격적인 극지에 관한 과학적 연구가 시작되었다. 그 후 2004년 한국해양연구원 부설 극지연구소가 설립되어 극지에 관한 연구가 양적으로, 질적으로 많이 향상 되었으며 학연 협동연구가 활발히 진행되고 있다 (박병권과 박상범, 2011).

남극지역에서의 규조 연구는 19세기 중반이래로 오랜 역사를 가지고 있다. Ehrenberg (1832)는 해빙에서 산출된 규조를 처음으로 기재하였다.

연구 목적은 남극지역에서 획득한 미고생물학적 규조데이터를 이용하여 극지 기후변화 기록을 복원하는데 기여하고 극지와 전 지구적 환경변화의 연관관계를 추적하고자 한다. 이는 아직까지 미흡한 미고생물학적 극지 연구데이터를 축적하는데 매우 필요한 연구이다. 세부적으로는 포웰분지 인근 코어퇴적물로부터 규조 분석을 통하여 규조군집의 변화 양상에 따른 규조 생층서를 확립하고, 환경 지시종의 연구에 의해서 시추 코어 퇴적물의 퇴적당시 환경 및 고기후 변화를 추적하여 남극 지역에서 홀로세 동안 일어난 고해양 변화를 해석하고자 한다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

최근 기후변화를 주제로 한 정부 간 패널에서 가장 불확실한 것 중의 하나가 서남극 거대 빙상(WASI)의 불확실한 행보에 따른 미래 해수준의 변화에 관한 것이다. 서남극 빙상 근처 ice stream의 흐르는 속도가 유동적인 것이 발견되었고 (Joughin et al., 2002; Bindshadler et al., 2003; Bougamont et al., 2003). 지난 수십년에서 수백년을 척도로 서남극 빙상-로스 빙봉 시스템이 취약성을 나타내어 붕괴가 빠르게 올 수 있다고 제안하였다 (MacAyeal, 1992).

본 연구는 포웰분지 인근 해역에서 채취한 GC01-PW02와 GC03-PW02코어퇴적물을 대상으로 한다. 웨델해에 근접해 있는 포웰 분지는 웨델해에서 기원된 남극 저층수(Antarctic Bottom Water)의 영향을 강하게 받는 지역이며, 이 지역의 육성 퇴적물들은 남극 저층수의 흐름에 의해 주로 공급된다. 남극 저층수는 수온이 매우 낮고 밀도가 높은 남극 저층수괴로서, 주로 연안지역에서 해빙 형성, 빙봉 하부의 용융 및 결빙과 관련된 물리적 작용에 의해서 형성된다. 대부분 웨델해에서 형성되며 로스해(Ross Sea), 샤클레톤과 아메리 빙봉(Shackleton and Amery Ice Shelves), 아델리 연안(Adelie Coast)에서도 형성되는 것으로 알려져 있다(Gordon, 1972). 이들은 웨델해로부터 포웰 분지와 스코시아해(Scotia Sea)를 지나고 남극 대서양을 따라 북쪽으로 전진하여 북반구 북대서양(North Atlantic)까지 확장된다 (Tucholke et al., 1973). 따라서, 포웰분지 인근에서 산출된 규조 군집의 해석에 의하여 연구 지역의 퇴적시기를 알아내고 고기후변화를 추적하였다.

#### IV. 연구개발결과

포웰분지 인근에서 채취한 코어퇴적물 GC01-PW02와 GC03-PW02로부터 각각 21속 43종, 27속 61종의 규조 화석이 감정되었으며, 규조 개체 수 농도는  $0\sim 48.3\times 10^6/g$  범위,  $0.1\sim 37\times 10^6/g$  범위에 해당한다. 규조 화석 군집 조성을 살펴보면 주로 *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica* var. antarctica, *E. antarctica* var. recta, *Fragilariopsis kerguelensis*, *F. curta*, *Odontella weissflogii*와 *Thalassiosira antarctica*등이 산출되었으며, 재이동 규조로서 *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *Proboscia barboi*와 *P. praebarboi*가 산출되었다. 이는 인근 연안 해빙의 용빙수의 유입에 의한 것으로 생각된다. 규조 군집의 특성에 의해 규조 군집대를 설정하였다. GC01-PW02코어에서는 6개의 규조 군집대를 설정하였으며, cold(barren zone) - warm(규조 군집대 I) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 II) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 III)로 고기후 변화를 보여준다. GC03-PW02코어에서

는 5개의 규조 군집대를 설정하였으며, warm(규조 군집대 I) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 II) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 III)로 고기후가 변화하였다. 두 코어 퇴적물의 퇴적시기는 *Rouxia leventerae*의 산출에 근거하여 각 코어퇴적물의 규조 군집대 I 이(GC01-PW02: 740 cm, GC03-PW02: 780 cm) MIS 6에 대비된다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

지구시스템에서 남극과 남대양의 역할이 매우 중요함이 밝혀 짐에 따라, 남극에서의 과학적인 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 선진국 과학자들에 의해 남극 반도 일원에서 수 천년동안 일어났던 고기후 및 고해양 변화에 대한 새로운 사실이 밝혀지고 있으나, 반복되는 간빙기와 빙기를 겪었던 지역의 해양퇴적물에 대한 연구는 근래에 들어서 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이들 연구의 대부분이 주로 퇴적물 분석에 맞추어져 있고 규조연구는 아직까지 많은 데이터가 축적되지 못했다. 포웰분지는 남극반도의 북동쪽 끝에 위치한 해양분지로서 남쪽으로 웨델해와 연결되지만 나머지 부분은 막혀 있다(Barker, 2001). 이 지역은 심해 퇴적물과 심층류, 기후변화사이의 관계를 연구하는데 있어 이상적인 지역이다. 꾸준한 연구를 통하여 남극 대륙붕 지역에서의 정확한 고해양, 고기후 변화를 측정하고, 앞으로 다가올 기후 변화에 따른 빙하 분포의 연구에 있어서 중요한 기초 자료를 제공할 수 있다. 장기적으로 볼 때는 기후 시스템에 대한 이해를 증진시켜 미래의 기후변화에 올바르게 대처할 수 있는 바탕을 마련하는 효과가 있다. 또한 기후 온난화로 인하여 국제적으로 산업 활동에 대한 환경규제가 점차 강화되고 있기 때문에 남극에서의 고환경변화에 대한 과학적 지식은 국가 정책을 수립하는 데에도 방향을 제시해 줄 수 있다.

# Summary

## Paleoenvironmental research from the Holocene core sediments in the Antarctic, based on diatom assemblage

Young-Suk Bak

Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University

Plaeoenvironmental history has been reconstructed from core sediments GC01-PW02 and GC03-PW02 around Powell Basin, Antarctica. A total of 43 species belonging to 21 genera are identified from the GC01-PW02. A total of 61 species belonging to 27 genera are identified from the GC03-PW02. The range of diatom valves per gram of dry sediment was from 0.1 to  $48.3 \times 10^6/g$  in quantitative diatom assemblage analysis. The diatom assemblages from GC01-PW02 and GC03-PW02 are dominated by *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica* var. *antarctica*, *E. antarctica* var. *recta*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *F. curta*, *Odontella weissflogii* and *Thalassiosira antarctica*. The abundance of reworked species includes *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *Proboscia barboi* and *P. praebarboi* appeared in horizons, by melt waters and ice rafting in the area during the interglacial periods.

Six diatom assemblage zones were identified according to the frequency of critical taxa from GC01-PW02.: Barren zones, from 740 to 790 cm, from 520 to 640 cm, from 45 to 320 cm (glacial periods); zone I, from 660 to 740 cm (interglacial period); zone II, from 340 to 500 cm (interglacial period) and zone III, from 1 to 20 cm (interglacial period). Five diatom assemblage zones were identified according to the frequency of critical taxa from GC03-PW02.: Barren zones, from 580 to 740 cm, from 160 to 320 cm (glacial periods); zone I, from 760 to 780 cm (interglacial period); zone II, from 340 to 560 cm (interglacial period) and zone III, from 2 to 140 cm (interglacial period). Two core sediments were deposited in MIS 6, based on LOD of *Rouxia leventerae*.

# Contents

Chapter 1 Introduction-----	9
Chapter 2 Development of Technology in Korea and Abroad-----	10
Chapter 3 Contents and Result-----	11
paragraph 1 Geological setting-----	11
paragraph 2 Materials and Methods-----	11
paragraph 3 Result and Discussion-----	14
1. Occurrence of diatoms -----	14
2. Diatom assemblage zones -----	15
3. Age and Paleoenvironments-----	20
paragraph 4 Conclusions-----	24
paragraph 5 Acknowledgments-----	24
Chapter 4 Achievement and Contribution Degree-----	25
Chapter 5 Application Plan-----	26
Chapter 6 Reference-----	27

# 목 차

제 1 장 서론-----	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황-----	10
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과-----	11
1절 연구지역-----	11
2절 시료채취 및 연구방법-----	11
3절 연구결과 및 토의-----	14
1. 규모 산출 -----	14
2. 규모 군집대 -----	15
3. 연대 및 고환경-----	20
4절 결론-----	24
5절 사사-----	24
제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도-----	25
제 5 장 연구개발결과의 활용계획-----	26
제 6 장 참고문헌-----	27



## 제 1 장 서론

포웰 분지(Powell basin)는 에오세말까지 연결되어 있던 남아메리카와 남극이 분리되는 시기에 사우스오크니 소대륙 (South Orkney Microcontinent)이 남극반도로부터 분리됨으로써 형성되었으며, 남극반도의 북쪽 끝에 위치한 해양소분지이다(King and Baker, 1988). 남스코시아해령은 남극반도 끝에서 사우스오크니 소대륙을 거쳐 남샌드위치군도의 남단에 대규모 지체구조로 동쪽에 위치한 남오크니 소판 (South Orkney microplate)에 연결되는 대륙지각으로 알려져 있다. 해령의 북쪽 경계면은 스코시아판과 남극판의 경계에 해당하며 남쪽 경계면은 해저확장에 의하여 형성된 포웰분지와 접하고 있다(홍종국 외, 2006).

포웰 분지 근처의 수직적인 수괴 분포는 대체로 표층에서 약 200m 깊이까지는 매우 차갑고, 염분이 낮으며 용존 산소가 풍부한 남극 표층수(Antarctic Surface Water)가 자리잡고 있다. 이들은 주로 빙하의 형성, 해빙과 관련된 물리적 특성에 따라 강력한 계절적 변동을 보인다. 그 밑으로 수심 약 200-800m 깊이에서는 표층수보다 상대적으로 더 따뜻하고 염분도가 높은 반면, 용존 산소가 빈약한 남극순환심층수(Circumpolar Deep Water, CPDW)가 차지하고 있다. 이들은 멀리 북반구의 북대서양 기원의 심층 수괴로서 남빙양까지 남하하여 남극 빙붕 (Antarctic Ice Shelves) 하부에 지속적으로 열량을 전달한다(Ninnemann and Charles, 2002).

규조는 매우 유용한 생물학적인 지시자로서 제 4기동안의 고해양학적 상태를 결정하는데 남대양 퇴적물에서 매우 유용하게 사용된다 (Gersonde and Zielinski, 2000; Taylor and McMinn, 2002; Taylor and Leventer, 2003; Armand et al., 2005; Crosta et al., 2005; Maddison et al., 2005, 2006; Stickley et al., 2005).

규조의 고해상 기록은 빙기-간빙기(glacial-interglacial)의 전이(transition)와 관계된 지시자 (biomarker)로서, 해빙기 동안에 환경적, 시기적 변화가 불명확할 경우 변화를 입증하는데 중요한 역할을 할 수가 있다 (Barbara et al., 2010; Bart et al., 2011; Tolotti et al., 2013). 표층의 생물학적 생산력은 해빙의 분포와 밀접한 관련이 있으므로, 대부분 규조류와 같은 생물 기원 입자의 퇴적은 직접적으로 계절적 해빙확장의 변화와 밀접하게 연관된다. 즉, 생물 입자 플럭스가 공해(open water) 기간에는 최대로 나타나며, 반대로 해빙이 덮여 있는 시기에는 표층에서 규조각 유기물의 수직 플럭스는 아주 낮게 나타난다(Abelmann and Gersonde, 1991). 특히, 포웰 분지는 일년에 평균 약 9개월 정도 빙하에 의해 덮여 있어(Sea Ice Climatic Atlas, 1985), 생물 기원 입자인 규조류(diatoms)의 퇴적율은 비교적 낮을 것으로 추정된다 (Fig. 1). 그러므로 포웰분지에서 규조의 생산력 및 층서를 연구하는 것은 포웰분지의 퇴적환경을 해석하는데 매우 중요하다.

본 연구의 목적은 포웰분지 인근에서 채취한 코어퇴적물 GC01-PW02와 GC03-PW02에서

산출된 구조를 관찰하여 glacial-interglacial 시기를 추적하고 퇴적시기를 알아보고자 한다. 또한 고생물학적인 데이터가 극지역 고해양 환경 연구에 활용될 수 있도록 데이터베이스를 구축한다.

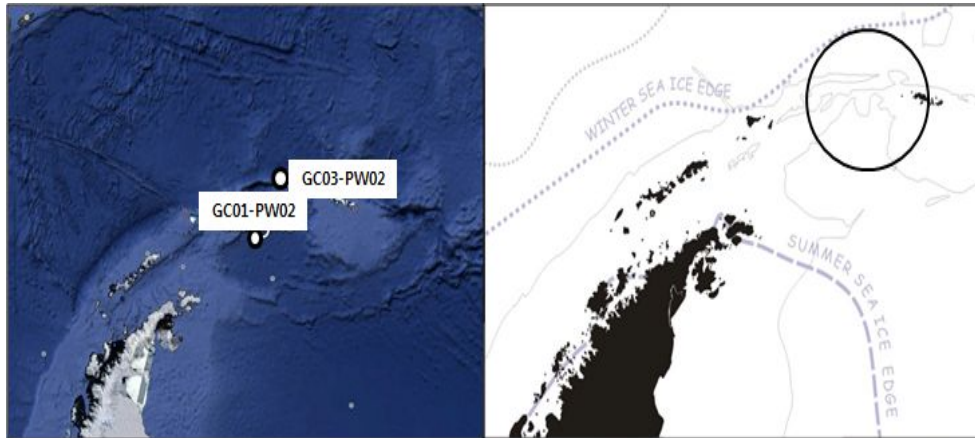


Fig. 1. Locations map and sea-ice limits (Allen et al., 2011)

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황



남극반도 주변 남대양의 고기후 및 고해양 환경 연구는 지구 온난화 문제를 이해하는데 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 남대양에서 규조는 일차 생산자의 75%이상을 차지하며 규산과 탄소의 전 지구적 순환에 매우 중요한 역할을 하고 있으며(Treguer et al., 1995) 특별한 환경에 제한되어 분포하는 환경 지시종들이 매우 풍부하고 다양하게 분포한다. 따라서 규조는 영양염류의 유용성과 비(El-Sayed, 1971; Burckle et al., 1987), 표층수의 온도(Neori and Holm-Hansen, 1982), Sea-ice의 분포(Abelman and Gersonde, 1991)와 수괴의 안정성(Leventer, 1991)등과 같은 남대양의 해양학적 복원자료에 매우 중요한 지표가 된다(Crosta et al., 2004). 미국, 독일, 일본 등에서는 남극에서의 기초과학 육성을 위하여 국가차원에서 많은 연구가 수행되고 있다.

우리나라는 1988년 2월 17일 세종기지를 설치하여 남극에 대해 본격적인 연구를 시작했다. 또한 최근에는 쇄빙선인 아라온호를 출항하였으며, 제2의 기지인 장보고기지를 건설하여 남극 대륙 지역에서의 극지연구에 박차를 가하는 계기가 될 전망이다.

국내에서 규조 연구의 성과는 2000년 이후로 꾸준히 계속 되고 있으며 현재까지 연구보고는 다음과 같다: 브렌스필드 해협; 이영길 (1996), 박영숙 외(2001, 2007a, 2009), 드레이크 해협; 박영숙 외(2002, 2003, 2010, 2011), Bak *et al.* (2014), 맥스웰만; 박영숙 외(2004), 사우스 오크니제도; 박영숙 외(2007b), Lee *et al.* (2009), 스코티아해; Bak *et al.* (2007), Yoon *et al.*

(2010)의 연구 등이 있다.

최근 까지 남극에서의 규조 연구가 남극반도 부근에서 계속적으로 수행되었으며, 사우스오 크니섬 인근과 엘레펀트 섬인근에서 규조 연구가 이루어진 후 포웰분지와 남스코시아해 인근에서의 연구는 국내에서는 처음으로 수행되는 것이다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1절 연구지역

연구코어퇴적물 GC01-PW02와 GC03-PW02를 시추한 지역은 포웰분지 주변으로서  $50^{\circ} 31' W$ ,  $61^{\circ} 32' S$  (수심 3144m)와  $48^{\circ} 49' W$ ,  $60^{\circ} 14' S$  (2564m)에 위치한다 (Fig. 2). 포웰 분지에 육성기원 퇴적물은 주로 남극 반도가 주 공급원이며, 기후 변화에 따른 해류의 강도 변화가 이 지역의 퇴적 분포를 좌우하는 가장 중요한 요소이다. 다중채널 탄성과 자료를 기초로 음향기저의 성질과 탄성과 퇴적층서의 분포와 특성으로부터 남스코시아해령은 대륙성 지각으로 분류되며 포웰분지는 해양지각으로 구분된다(Galino-Zaldivar et al., 1996).

포웰 분지는 원양에 위치하여 심층수가 형성되는 웨델해 연안 지역과는 달리 LGM(Last Glacial Maximum)에도 빙하의 영향을 크게 받지 않기 때문에 해류 운반과 퇴적이 비교적 잘 기록되어 나타난다(Pudsey, 1992).

### 제 2절 시료채취 및 연구방법

연구에 사용한 코어퇴적물 GC01-PW02와 GC03-PW02로부터 각각 38개와 43개의 시료를 채취하였으며, 시추 퇴적물로부터 규조 화석을 산출하기 위하여 박영숙 외 (2007a)의 시료처리방법을 수정하여 사용하였다.

건조 시료 2 g에 묽은 염산 (10%) 20 ml와 과산화수소수 20 ml를 첨가한 후 hot plate위에서 3시간 이상 가열한다. 다시 묽은 염산과 과산화수소수 20 ml를 첨가하여 2시간 이상 끓여 준다. 이때 끓어 넘치는 것을 방지하기 위하여 끓는 도중에 증류수를 첨가한다. 반응이 모두 끝난 비이커는 24시간정도 놓아 둔 후 증류수를 부어 준다. 화학약품과 부유성 물질들을 제거하기 위해서 윗물을 따라내고 다시 증류수를 채운다. 이러한 세척과정을 여러 번 반복하여 산이나 부유성 물질들을 모두 제거한다. 남은 잔유물을 60 ml 병에 담고, 그 중 부표본을 취하여 슬라이드글라스가 장치된 settling container에 넣고 저온의 건조기(약  $50^{\circ}C$ ) 안에서 건조시킨 후 접착제를 이용하여 커버글라스로 고정시킨다.

현미경 관찰을 위해서 제작된 슬라이드를 Nikon E400 현미경을 이용하여 규조를 관찰하고 사진 촬영하였다. 이때 규조의 감정은 주로 400배율에서 수행하였으며, 중심규조목에 속하는 것은 중심부를 포함하고 1/2 이상 보이는 규조각을 1개체로 산정하였으며 우상규조목의 경우 정측부를 포함하여 2/3 이상을 포함하면 1개체로 산정하였다. 규조 개체수의 절대 농도를 측정하기 위하여 Scherer(1994)의 실험방법을 따랐으며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{DVC (Diatom Valve Concentration)} = \frac{\text{WS} \times \text{AV} \times \text{NV} \times \text{VS}}{\text{WD} \times \text{AC} \times \text{ND}}$$

위 식에서 WD: weight of the dried initial sample, AC: area of the setting container, ND: number of diatom valves counted, WS: weight of the sample solution, AV: area of the view-field, NV: number of view fields, VS: volume of sub-sample을 나타낸다.

규조의 관찰을 위해 Nikon Y-IM 광학현미경을 이용하여 400-800배로 관찰하였으며 규조 종의 감정은 주로 Heiden and Kolbe (1928), Hustedt (1930-1966, 1958), Johansen and Fryxell (1985), Manguin (1957, 1960), Medlin and Priddle (1990), Peragallo (1921) 및 Simonsen(1992)를 토대로 실시하였다.

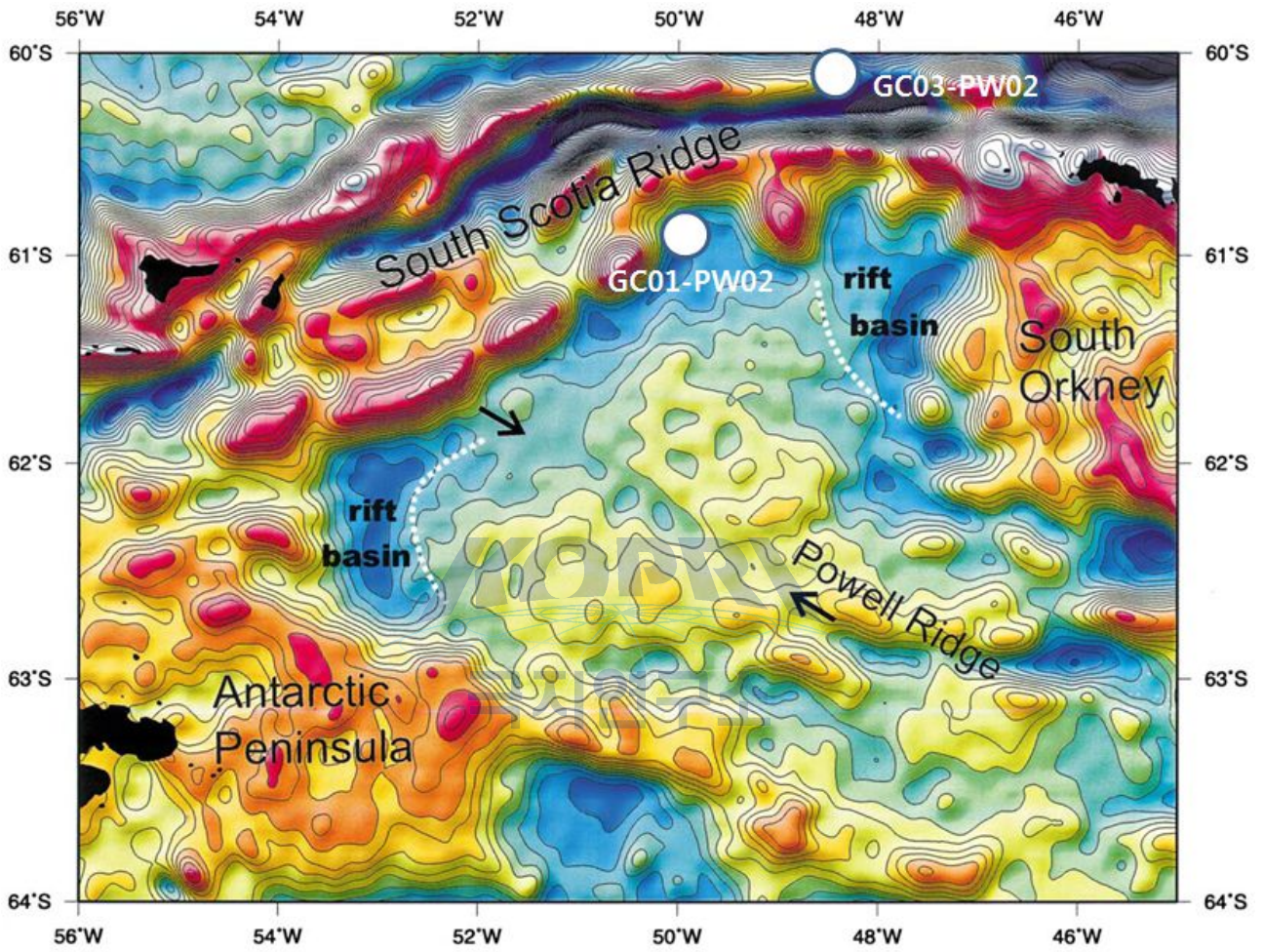


Fig. 2. Core locations map of the GC01-PW02 and GC03-PW02 core sediments in Antarctica (Eagles and Livermore, 2002).

## 제 3절 결과 및 토의

### 1. 규조 산출

#### 1-1. GC01-PW02 코어 퇴적물

포웰 분지 주변에서 채취한 코어퇴적물 GC01-PW02로부터 21속 43종의 규조 화석이 감정되었으며, 규조 개체 수 농도는  $0 \sim 48.3 \times 10^6/\text{g}$  범위에 해당한다. 개체수 농도의 범위가 매우 넓으나, 규조가 산출되는 구간이 12개로 매우 적으며 보존상태가 불량하다. 규조가 산출되지 않는 구간을 Barren zone으로 설정하였으며, 45-320 cm, 520-640 cm, 760-790 cm구간이 이에 해당된다.

규조 화석 군집 조성을 살펴보면 우세하게 산출된 종으로서, *Fragilariopsis kerguelensis*가 20 %로 가장 많이 산출되었다. 뒤를 이어 *Eucampia antarctica* var. antarctica (13 %), *Actinocyclus actinochilus* (10.1 %), *F. curta* (9.7 %), *Odontella weissflogii* (6.4 %)등이 산출되었다(Fig. 3).

특히, *Chaetoceros* resting spores의 산출은 매우 적으며, 최상부 층준인 1 cm - 20 cm에서 산출된다.

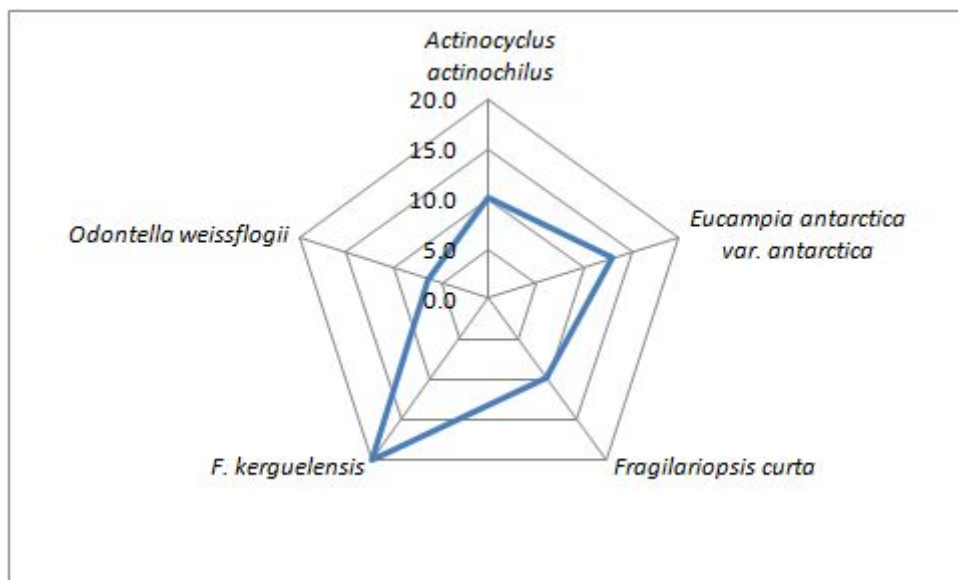


Fig. 3. Occurrence ratio of diatoms in the GC01-PW02.

## 1-2. GC03-PW02 코어 퇴적물

포웰 분지 주변에서 채취한 코어퇴적물 GC03-PW02로부터 27속 61종의 규조 화석이 감정되었으며, 규조 개체 수 농도는  $0.1 \sim 37 \times 10^6/g$  범위에 해당한다. 규조 화석 군집 조성을 살펴보면 우세하게 산출된 종으로서, *Eucampia antarctica* var. *recta* 17.6 %로 가장 많이 산출되었다. 뒤를 이어 *Fragilariopsis curta* (14.9 %), *F. kerguelensis* (13.7 %), *Actinocyclus actinochilus* (12.3 %), *Thalassiosira antarctica* warm type (5.5 %)등이 산출되었다(Fig. 4). 특히, *Chaetoceros* resting spores의 산출은 2 cm - 100 cm 구간에서 상대적으로 풍부하게 산출된다.

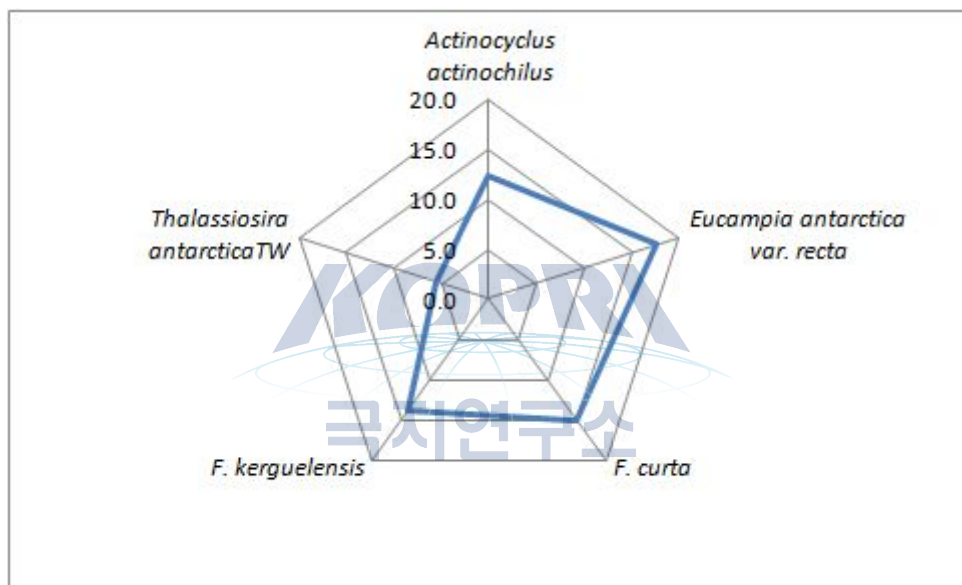


Fig. 4. Occurrence ratio of diatoms in the GC03-PW02.

## 2. 규조 군집대

### 2-1. GC01-PW02 코어 퇴적물

GC01-PW02 코어퇴적물로부터 산출된 규조의 종조성과 선택 종들의 수직 산출 분포 변화에 따라 총 6개의 규조 군집대를 설정하였다 (Fig. 5).

가. Barren Zones (740 - 790 cm, 520 - 640 cm, 45 - 320 cm)

규조의 산출이 거의 없는 구간이다.

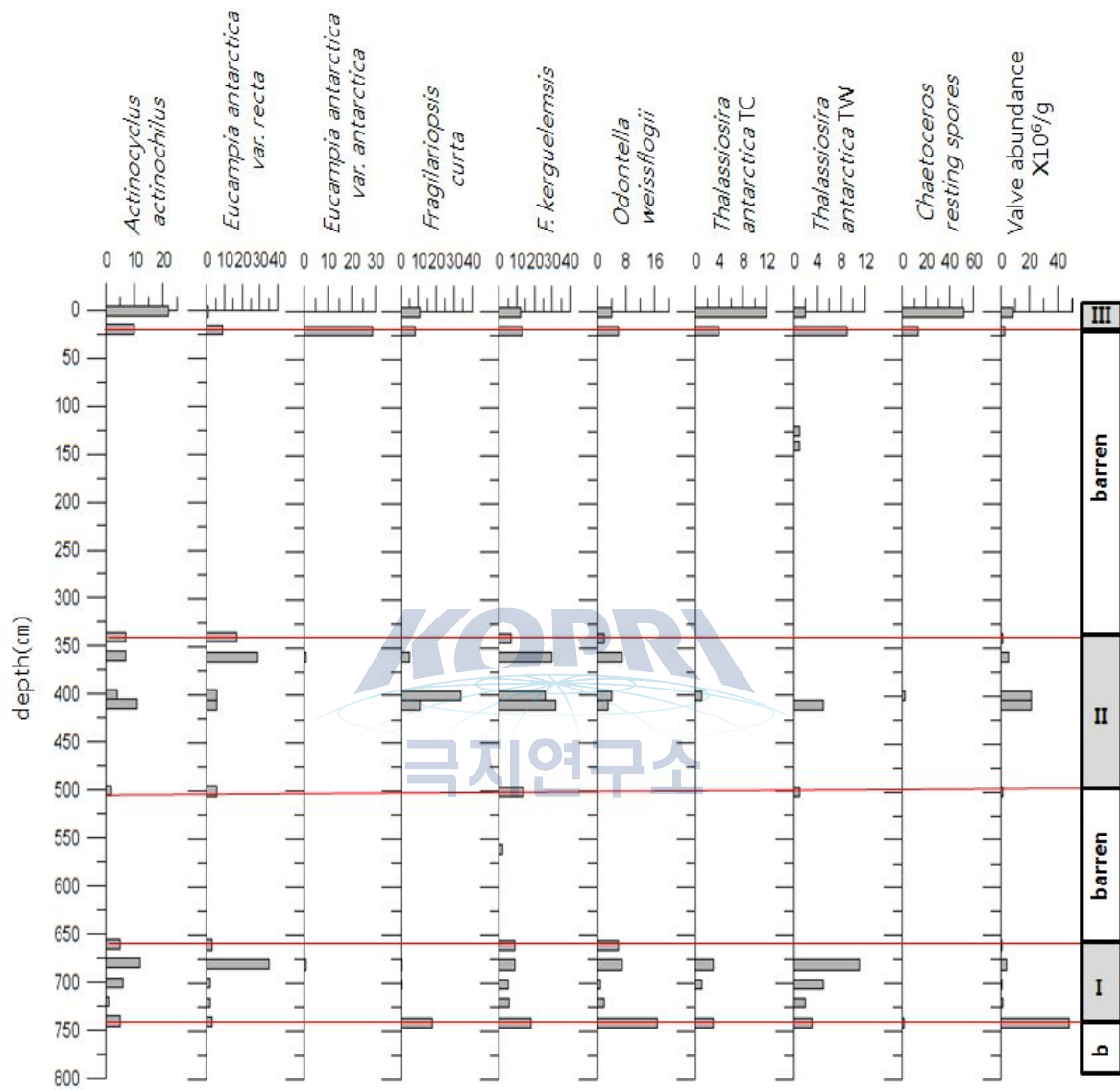


Fig. 5. Down-core variations of relative abundance of the characteristic species and diatom assemblage zones from GC01-PW02.



나. 규조 군집대 I (740 - 660 cm)

규조 개체수 농도가  $0.9 - 48.3 \times 10^6/\text{g}$  으로 산출되며 740cm 층준에서 개체수 농도가 가장 풍부하다. Fryxell and Prasad (1990)가 보고한 *Eucampia antarctica*의 두 변종 중 ice edge 종인 *E. antarctica* var. *recta*가 680 cm 층준에서 특히 풍부하게 산출된다. 반면에 공해종인 *F. kerguelensis*와 *Odontella weissflogii*, *Thalassiosira antarctica* warm type도 상대적으로 풍부하게 산출된다.

다. 규조 군집대 II (500 - 340 cm)

규조의 개체수 농도가  $1.2 - 21.6 \times 10^6/\text{g}$ 에 속하며, 340 - 410 cm 구간에서 ice edge 종인 *Actinocyclus actinochilus*와 *E. antarctica* var. *recta*가 풍부하게 산출되며, sea-ice종인 *F. curta*가 400 cm에서 급증한다. 반대로, 공해종인 *F. kerguelensis*와 *Odontella weissflogii*가 410 cm에서 풍부하게 산출되기 시작한다.

라. 규조 군집대 III (20 - 1 cm)



규조 개체수의 농도가  $2.6 - 8.5 \times 10^6/\text{g}$ 으로 최상부층에서 증가하는 경향을 보인다. 하부 층준에서 산출이 거의 없었던 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*가 20 cm 층준에서 산출이 되며, 이와 더불어 *Thalassiosira antarctica* TW도 같은 층준에서 다량 산출된다. 반면에 1 cm 층준에서는 ice edge 종인 *Actinocyclus actinochilus*와 *Thalassiosira antarctica* TC, *Chaetoceros* resting spores가 급증한다.

## 2-2. GC03-PW02 코어 퇴적물

GC03-PW02 코어 퇴적물로부터 산출된 규조의 종조성과 선택 종들의 수직 산출 분포 변화에 따라 총 5개의 규조 군집대를 설정하였다 (Fig. 6).

가. Barren Zones (740 - 580 cm, 320 - 160 cm)

규조의 산출이 없거나  $\sim 0.4 \times 10^6/\text{g}$  개체수 농도를 가지는 구간이다.

나. 규조 군집대 I (780 - 760 cm)

규조 개체수 농도가  $19 - 24.3 \times 10^6/g$  으로 산출되며 ice edge 종인 *Actinocyclus actinochilus*와 *E. antarctica* var. *recta*가 풍부하다. 반면에 공해종인 *F. kerguelensis*와 *Odontella weissflogii*도 풍부하게 산출되며, *Thalassiosira antarctica* TC도 다량 산출된다.

다. 규조 군집대 II (560 - 340 cm)

규조의 개체수 농도가  $0.2 - 34.8 \times 10^6/g$ 에 속하며, 하부구간에서는 ice edge 종인 *Actinocyclus actinochilus*와 *E. antarctica* var. *recta*가 풍부하게 산출되며, sea-ice종인 *F. curta*도 산출량이 증가하였으나 상부로 갈수록 점점 감소하는 경향을 보인다. 공해종인 *F. kerguelensis*와 *Odontella weissflogii*가 460 - 420 cm 구간에서 풍부하게 산출되며, *Thalassiosira antarctica* TW는 480 - 460 cm 구간에서 *F. kerguelensis*와 *Odontella weissflogii* 보다 먼저 급증한다.

라. 규조 군집대 III (140 - 2 cm)

규조 개체수의 농도가  $6.3 - 37 \times 10^6/g$ 으로 매우 풍부하며 상부로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. 규조 군집대 II에서 매우 풍부하던 *Eucampia antarctica* var. *recta*가 매우 감소하며, *Eucampia antarctica* var. *antarctica*의 산출이 40 - 60 cm 층준에서 증가한다. sea-ice종인 *F. curta*도 규조 군집대 II에서 보다 산출이 증가하며, *Thalassiosira antarctica* TC도 규조군집대 III에서 매우 풍부하게 산출된다. 이와 더불어 *F. kerguelensis*, *Odontella weissflogii*와 *Thalassiosira antarctica* TW도 꾸준히 산출된다. *Chaetoceros* resting spores는 규조 군집대 III에서 가장 풍부하며 상부로 갈수록 산출량이 증가한다.

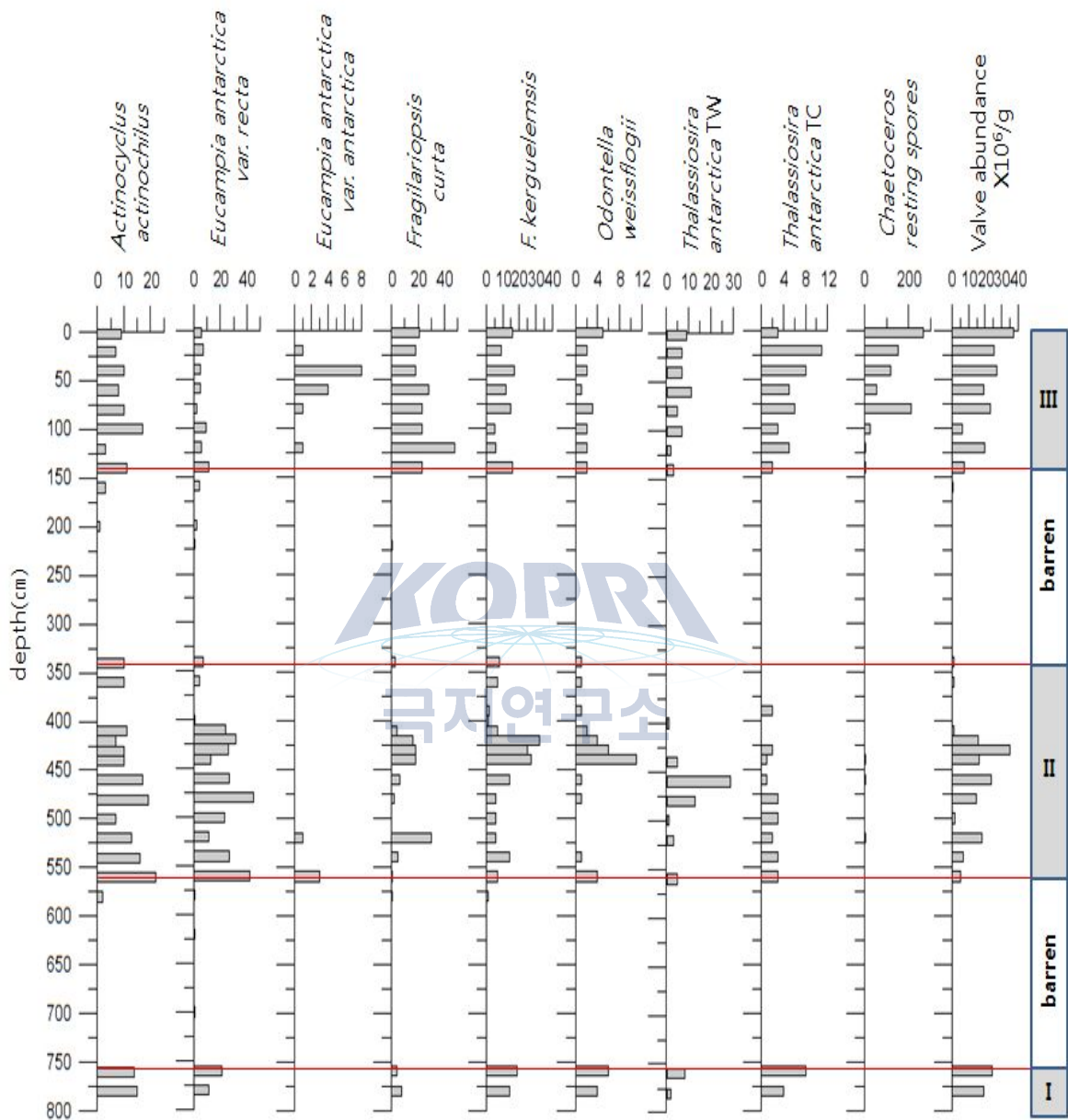


Fig. 6. Down-core variations of relative abundance of the characteristic species and diatom assemblage zones from GC03-PW02.

### 3. 연대 및 고환경 해석

오늘날 Antarctic zone(AZ)의 퇴적물에서 *Rouxia leventerae*의 마지막 출현 시기는 marine isotope stage (MIS)6 (~0.14-0.13 Ma)에 해당된다고 보고되어 있으며, 석회질 미화석의 산출이 없거나 적은 플라이스토세 남대양 퇴적물에서 isotope stage를 정의할 때 매우 중요하게 사용된다. *Rouxia leventerae*의 산출은 AZ의 빙기퇴적물에 제한되어 나타나며, 특히, 이 종은 전형적으로 차가운 물에서 나타난다. 연구지역에서는 GC01-PW02 코어퇴적물의 740 cm층에서 산출이 되었으며, GC03-PW02 코어퇴적물의 최하부 층인 780 cm층에서 산출이 되었다. 산출개체수가 2개씩으로 매우 적게 나타났고, 완형이 보존되지는 않았으나 따라서 연구지역 하부층의 퇴적시기는 0.13 Ma 이후로 추측할 수 있다(Fig. 8, 9)

재이동 규조각으로서 *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *Proboscia barboi*와 *P. praebarboi*등이 산출이 되었다. 특히, *Actinocyclus ingens*와 *Denticulopsis hustedtii*는 연구 코어의 전체 구간에서 산발적으로 산출된다. 이는 연구지역이 계절적인 해빙의 영향을 많이 받는 지역에 위치하고 있으며(Fig. 7), 해빙으로 덮힌 기간이 길기 때문에 여름철 표층에서 iceberg가 유입되면서 ice-rafted debris에 의해 재이동 된 것으로 생각된다.

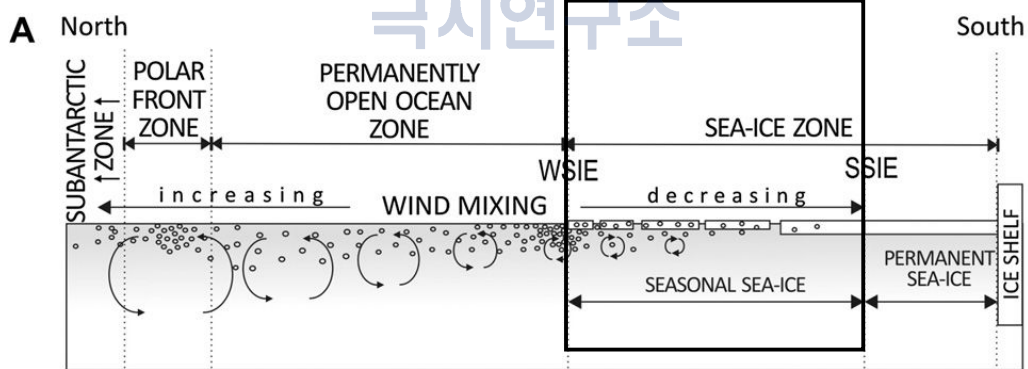


Fig. 7. The schematic illustrates the area of seasonal sea-ice expansion and water column mixing by wind and wave action (black circular arrows). The typical pattern of primary production achieved by diatoms (represented by the density of black open circles) is shown, with highest diatom production occurring along the sea-ice edge and at the Polar Front. SSIE = summer sea-ice edge; WSIE = winter sea-ice edge (Allen et al., 2011).

연구코어 GC01-PW02와 GC03-PW02의 연구결과 각각 6개의 군집대, 5개의 군집대를 설정

하였다. 그러나 규조의 산출이 거의 없는 barren zone이 3개와 2개 나타났다. 이는 연구지역이 매우 추웠던 시기(glacial periods)로 여름철에도 해빙으로 덮혀 있어서 규조의 생산량이 거의 없고, 해빙종의 보존도 용이하지 않았다. GC01-PW02와 GC03-PW02의 군집대 I, II, III은 온난한시기(interglacial periods)로 연구 지역의 해빙의 분포가 적어진 시기이다. *Actinocyclus actinochilus*는 1년에 7개월이상 해빙이 지속되는 지역에서 관찰되며, 8-9개월이상 지속되는 곳에서 가장 풍부하게 산출된다. 또한 새롭게 형성되는 해빙과 fast ice 나 pack ice로부터 보고되는 종이다(Gersonde, 1984; Tanimura et al., 1990; Horner, 1985; Garrison, 1991). GC01-PW02와 GC03-PW02의 군집대 I, II, III에서 모두 풍부하게 산출이 된다. *Chaetoceros resting spores*는 용빙수의 유입에 의해 성층화된 표층수에서 매우 풍부하며 (Leventer et al., 1993; Leventer et al., 1996), 연구지역에서는 상부층준인 군집대 I에서만 풍부하게 산출되며 최상부 층준으로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. 따라서, 군집대 I은 퇴적 기간 중 가장 온난한 시기라 할 수 있다. 이러한 사실은 *Eucampia antarctica*의 산출 양상에서도 나타난다. *Eucampia antarctica*는 해빙종과 같이 산출되기도 하나(Leventer, 1998; Taylor et al., 2001) 전형적으로는 남극과 남극수렴대(Polar Front Zones)에서 풍부하다 (Zielinski and Gersonde, 1997). 또한 *Eucampia antarctica*는 형태에 따라서 2가지 변종으로 나뉘어지며, 이 중 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*는 일반적으로 공해(open water)에서 산출이 되고, *Eucampia antarctica* var. *recta*는 해빙(sea-ice)과 관계가 있다(Fryxell and Prasad, 1990; Fryxell, 1991). 규조 군집대 I에서 *Eucampia antarctica* var. *recta*가 감소하고 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*가 증가한다.

공해환경(open water environment)의 지시자 이면서 오늘날 여름철 표층수의 온도가 0°C 이상인 53°과 63°S 사이에서 다량 서식하는 *Fragilariopsis kerguelensis*(Burckle et al., 1987), 해빙종으로서 *Fragilariopsis curta*는 일반적으로 ice edge와 ice 내에서 산출되고(Scott et al., 1994; Leventer and Dunbar, 1996) 빙하의 후퇴로 melt water가 형성되는 곳에서 산출된다. 이들의 산출이 규조 군집대 I, II, III에 걸쳐서 풍부하게 나타나고 있다.

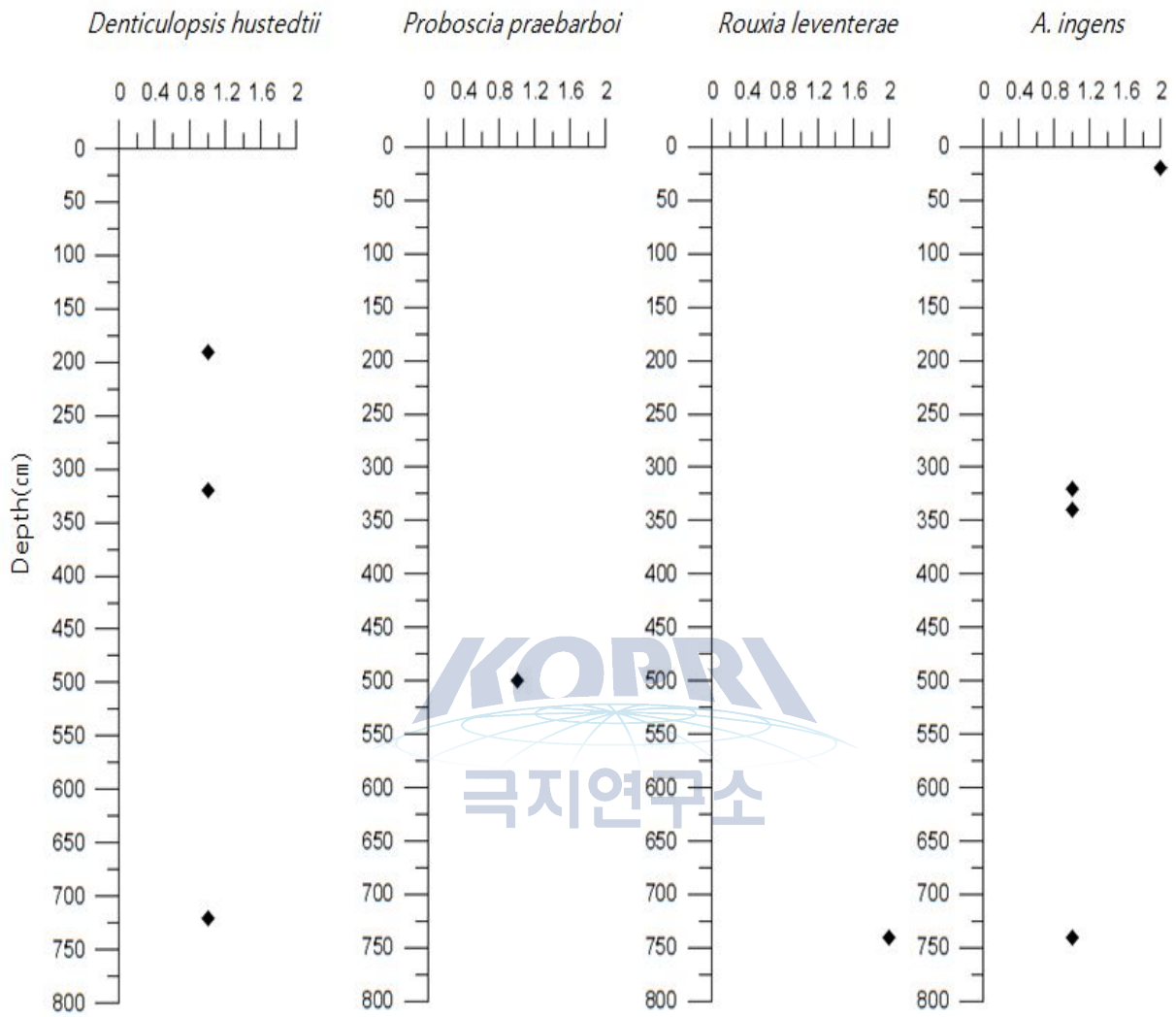


Fig. 8. Distribution of reworked species and age index (GC01-PW02).

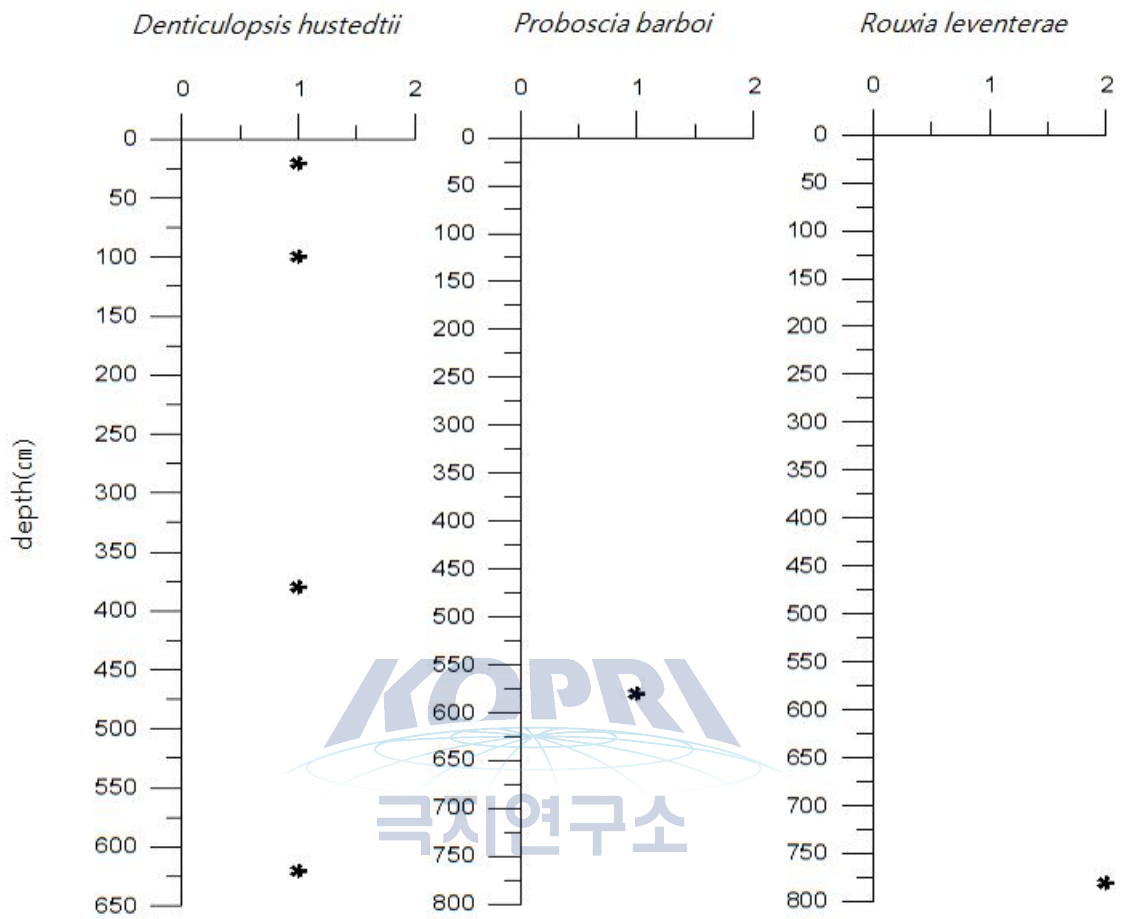


Fig. 9. Distribution of reworked species and age index (GC03-PW02).

## 제 4절 결론

포웰분지 인근에서 채취한 코어퇴적물 GC01-PW02와 GC03-PW02로부터 각각 21속 43종, 27속 61종의 규조 화석이 감정되었으며, 규조 개체 수 농도는  $0\sim 48.3\times 10^6/g$  범위,  $0.1\sim 37\times 10^6/g$  범위에 해당한다. 규조 화석 군집 조성을 살펴보면 주로 *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica* var. antarctica, *E. antarctica* var. recta, *Fragilariopsis kerguelensis*, *F. curta*, *Odontella weissflogii*와 *Thalassiosira antarctica*등이 산출되었으며, 재이동 규조로서 *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *Proboscia barboi*와 *P. praebarboi*가 산출되었다. 이는 인근 연안 해빙의 용빙수의 유입에 의한 것으로 생각된다. 규조 군집의 특성에 의해 규조 군집대를 설정하였다. GC01-PW02코어에서는 6개의 규조 군집대를 설정하였으며, cold(barren zone) - warm(규조 군집대 I) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 II) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 III)로 고기후 변화를 보여준다. GC03-PW02코어에서는 5개의 규조 군집대를 설정하였으며, warm(규조 군집대 I) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 II) - cold(barren zone) - warm(규조 군집대 III)로 고기후가 변화하였다. 두 코어 퇴적물의 퇴적시기는 *Rouxia leventerae*의 산출에 근거하여 각 코어퇴적물의 규조 군집대 I이 약 MIS 6에 대비된다.



## 제 5절 사 사

본 연구를 수행 할 수 있도록 시료와 재정적인 지원을 해 주신 한국 해양과학기술원 부설 극지 연구소에 감사드린다.



## 제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

홀로세 남극 코어 퇴적물에서 층서확립과 고환경 해석을 위한 규조 분석은 서남극 빙붕 변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사(deglaciation history) 복원 기술 개발에 관한 연구의 일환으로 수행되었다. 규조 분석의 결과 GC01-PW02와 GC03-PW02 코어 퇴적물은 MIS 6이후에 퇴적되었음을 알 수 있었으며, 규조 군집대를 설정하고(GC01-PW02: 6개, GC03-PW02: 5개) 규조 종조성의 변화와 암석학적 데이터를 비교하여 기후 변화를 추적하였으며, 이들 코어가 퇴적되는 동안 전체적인 기후는 cold-warm-cold-warm-cold-warm으로 변화하였음을 알았다. 이상의 결과를 2016년 4월에 개최되는 대한지질학회 학술대회에서 발표할 것이며, 연구 세부목표는 100% 달성하였고 연구지역이 남스코시아해령과 포웰분지 사이에 위치하고 있어 서남극 지역에서 일어난 제4기 해빙사를 복원하는데 있어 보다 중요한 가치를 가지고 있다.



## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

남극과 같은 극지지역은 기후를 포함한 과거의 자연환경의 기록이 훼손되지 않고 잘 보존된 곳이며, 빙봉의 붕괴가 일어나는 지역과 해빙이 감소되는 지역의 해양 시추코어 퇴적물은 퇴적되는 동안 일어났던 기후의 변화를 더욱 뚜렷하게 기록하고 있는 곳이다. 20세기에 들어 지구온난화라는 전 지구적인 환경문제가 심각하게 대두되면서 선진국을 중심으로 환경문제를 이용해서 자국의 이익을 확보하기 위한 노력의 일환으로 남극에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 지구환경의 변화양상을 구체적으로 관측하고 현실적인 원인을 연구하기 위해서는 남극지역에서의 연구가 데이터베이스 구축에 매우 중요시 되었다. 콜로라도 대학교의 국립빙설자료센터 소속 연구팀의 연구결과에 의하면 남극의 여름기온이 평균보다 조금 더 높아질 경우 빙봉을 더욱 녹아내리게 할 수 있으며, 영국남극조사단은 2005년을 기준으로 지난 50년간 약 13,000평방 킬로미터의 얼음이 녹아 내린 것으로 생각된다고 하였다. 선진국 과학자들에 의해 남극 반도 일원에서 수 천년동안 일어났던 고기후 및 고해양 변화에 대한 새로운 사실이 밝혀지고 있으나, 이들 연구의 대부분이 주로 퇴적물 분석에 맞추어져 있고 구조연구는 아직까지 많은 데이터가 축적되지 못했다. 특히, 포웰분지 인근 지역에 대한 구조연구는 처음 시도되는 것이며 이들의 변화양상을 이용한 연차적인 고환경변화 연구는 그동안 축적되지 않았던 지역에 대한 정보를 제공해 줄 수 있다. 따라서 본 연구는 전 지구적인 온난화 현상의 원인을 알아내고자하는 국제적인 동향에 발맞추어 나갈 수 있는 귀중한 자료가 될 수 있다. 또한 기후와 환경의 변화는 비단 국지적인 현상이 아니라 전지구적인 규모의 관점에서 살펴야 하므로 남극지역에서의 고환경변화 연구는 한반도와 주변해역의 제 4기 퇴적물 연구에도 활용할 수 있다.

## 제 6 장 참고문헌

- 박병권, 박상범, 2011, 북극연구의 국제적인 동향과 우리나라 북극연구의 미래 전략에 관한 연구. 한국과학기술한림원, 97p.
- 박영숙, 이종덕, 윤혜수, 윤호일, 2001, 남극 브랜스필드 해협 퇴적물에서 산출된 규조류에 의한 고환경 연구. 고생물학회지, 17(2), 99-111.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 윤혜수, 김효정, 2002, 드레이크해협 남부 코어퇴적물에서 산출된 제4기 규조화석 연구. 지구과학회지, 23(5), 442-453.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 윤혜수, 2003, 남극 드레이크해협 극전선 부근 시추코어퇴적물 (DP00-02)에서 규조화석을 이용한 고환경 연구. 지질학회지, 39(3), 337-346.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 윤혜수, 2004, 서남극 맥스웰만에서 산출된 홀로세 규조 연구. 지질학회지, 40(4), 455-468.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 이재일, 2007a, 남극 사우스오크니 제도 서부 해역의 코어퇴적물에서 산출된 규조 군집. 지질학회지, 43(1), 33-42.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 유규철, 2007b, 서남극 브랜스필드 해협 동부분지 내 규조군집과 홀로세 말기 기후변동 연구. 지질학회지, 43(3), 345-352.
- 박영숙, 유규철, 이종덕, 윤호일, 2009, 남극 브랜스필드 해협 코어퇴적물의 고해상 규조 분석. 지질학회지, 45(1), 1-8.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 유규철, 이성주, 2010, 남극반도 엘레판트 섬 주변지역에서 규조를 이용한 홀로세 고기후 변화. 지질학회지, 46(2), 111-117.
- 박영숙, 유규철, 이종덕, 윤호일, 이재일, 김향주, 이성주, 2011, 남 쉘랜드 군도 북동쪽 대륙대 코어퇴적물에 나타나는 해빙기에 대한 고해상 규조 분석 연구. 지질학회지, 47(4), 363-369.
- 이영길, 1996, 남극 브랜스필드 해협 코어 퇴적물의 미고생물(규조)학적 연구. 고생물학회지, 12(1), 1-21.
- 이재성, 김은주, 2011, 기후변화에 따른 북극해 개발경쟁과 파이프라인개발에 관한 연구. 무역보험연구, 12(4), 233-254.
- 해양수산부, 2003. '02 남극 해저지질 조사사업 보고서. 한국해양연구원, CRPM 15800-1510-7, 271p.
- 홍종국, 진영근, 박민규, 이주한, 남상현, 이종익, 2006, 남극 포웰분지 북부인근 남스코시아 해령의 지체구조. 지구물리, 9(4), 409-416.
- Abelmann, A. and Gersonde, R., 1991. Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*, 35, 503-536.
- Allen, C., Pike, J. and Pudsey, C., 2011, Last glacial-interglacial sea-ice cover in the SW Atlantic and its potential role in global deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 30, 2446-2458.

- Armand, L.K., Crosta, X., Romero, O. and Pichon, J.-J., 2005, The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 1. Sea ice related species. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223, 93–126.
- Babara, L., Crosta, X., Masse, G. and Ther, O., 2010. Deglacial environments in eastern Prydz Bay, East Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 29, 2731–2740.
- Bak, Y.S., Yoo, K.C., Yoon, H.I., Lee, J.D., Yun, H., 2007, Diatom evidence for Holocene paleoclimatic change in the South Scotia Sea, West Antarctica. *Geosciences Journal*, 11(1), 11–23.
- Bak, Y.S., Yoo, K.C., Yoon, H.I. 2014, Late Quaternary climate changes around the Elephant Islands, Antarctic Peninsula. 18(4), 495–501.
- Barker, P.F., 2001, Scotia Sea regional tectonic evolution: implications for mantle flow and palaeocirculation. *Earth Sciences Reviews*. 55, 1–39
- Bart, P.J., Sjunneskog, C. and Chow, J.M., 2011. Piston-core based biostratigraphic constrains on Pleistocene oscillations of the West Antarctic Ice Sheet in western Ross Sea between North Basin and AND-1B drill site. *Marine Geology*, 289, 86–99.
- Bindschadler, R.A., King, M.A., Alley, R.B., Anandakrishnan, S., Padman, L., 2003, Tidally controlled stick-slip discharge of a west Antarctic ice stream. *Science*, 301, 1087–1089.
- Bougamont, M., Tulaczyk, S., Joughin, I., 2003, Numerical investigations of the slow-down of Whillans ice stream, West Antarctica; is it shutting down like Ice Stream C? *Annals of Glaciology* 37, 239–246.
- Burckle. L.H., Jacobs, S.S. and McLaughlin, R.B., 1987, Late austral spring diatom distribution between New Zealand and the Ross Ice Shelf, Antarctica: Hydrographic and sediment correlations. *Micropaleontology*, 33, 74–81.
- Crosta, X., Sturm, A., Armand, L. and Pichon, J.J., 2004, Late quaternary sea ice history in the Indian sector of the Southern Ocean as recorded by diatom assemblages. *Marine Micropaleontology*, 50, 209–223.
- Crosta, X., Romero, O., Armand, L.K. and Pichon, J.-J., 2005, The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 2. Open ocean related species. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223, 66 - 92.
- Eagles, G., Livermore, R.A., 2002, Opening history of Powell Basin, Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 185, 195–205.
- El-Sayed, S.Z., 1971, Dynamics of trophic relationships in the Southern Ocean. In: Quan, L.O. (ed.), *Research in the Antarctic*. American Association for the Advancement of Science, Washington, 73–91.

- Fryxell, G.A., 1991, Comparison of winter and summer growth stages of the diatom *Eucampia antarctica* from the Kerguelen Convergence Zone. In: Barron, J.A. and Larsen, B. (eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 119. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 675685.
- Fryxell, G.A. and Prasad, K.S.K., 1990. *Eucampia antarctica* var. *recta* (Mangin) stat. nov. (Biddulphiaceae, Bacillariophyceae): life stages at the Weddell Sea ice edge. *Phycologia* 29, 27-38.
- Galindo-Zaldivar, J., Jabaloy, A., Maldonado, A. and Sanz de Galdeano, C., 1996, Continental fragmentation along the South Scotia Ridge transcurrent plate boundary (NE Antarctic Peninsula), *Tectonophysics*, 258, 275-301.
- Garrison, D.L., 1991. Antarctic sea ice biota. *American Zoologist*, 31, 17-33.
- Gersonde, R., 1984. Siliceous microorganisms in sea ice and their record in sediments in the southern Weddell Sea (Antarctica). Proceedings 8th Diatom Symposium Paris, Koeltz Koenigstein, 549-566
- Gersonde, R. and Zielinski, U., 2000, The reconstruction of late Quaternary Antarctic sea-ice distribution - the use of diatoms as a proxy for sea-ice. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162, 263 - 286.
- Gordon, A.L., 1972. Varieties and variability of Antarctic Bottom Water. *Colloq. Int. CNRS Paris*, 215, 33-47.
- Heiden, H. and Kolbe, R.W., 1928, Die marinen Diatomeen der deutschen Siidpolar-Expedition 1901-1903. In: E. Drygalski (Editor), *Deutsche Siidpolar-Expedition 1901-1903, Bd. 8. Botanik*, Berlin, Leipzig, 450-715.
- Horner, R., 1985. *Sea Ice Biota*. CRC Press, Boca Ranton.
- Hustedt, F., 1930-1966. *Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz*. In: L. Rabenhorst's *Kryptogamen - Flora*, Bd. 7. *Die Kieselalgen*, V. 1: 920p. (1930); V. 2: 845p. (1959); V. 3: 816p. (1961-1966).
- Hustedt, F., 1958, *Diatomeen aus der Antarktis und dem Südatlantik*. *Dtsch. Antarkt. ExpEditor* 1938/39, 2, 103-191.
- Johansen, J.R. and Fryxell, G.A., 1985, The genus *Thalassiosira* (Bacillariophyceae): studies on species occurring south of the Antarctic Convergence Zone, *Phycologia*, 24, 155 - 179.
- Joughin, I., Tulaczyk, S., 2002, Positive mass balance of the Ross Ice Streams, West Antarctica. *Science* 295, 476-480.
- King, E.C. and Barker, P.F., 1988. The margins of the South Orkley microcontinent. *J. Geol. Soc. London* 145, 317-331.

- Lee, J.I., Bak, Y.S., Yoo, K.C., Lim, H.S., Yoon, H.I. and Yoon, S.H., 2009, Climate changes in the South Orkney Plateau during the last 8600 years. *The Holocene*, 20(3), 1-10.
- Leventer, A., 1991, Sediment trap diatom assemblages from the northern Antarctic Peninsula region. *Deep Sea Research*, 38, 1127-1143
- Leventer, A., Dunbar, R., DeMaster, D.J., 1993. Diatom evidence for late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography* 8(3), 373-386.
- Leventer, A. and Dunbar, R., 1996, Factors influencing the distribution of diatoms and other algae in the Ross Sea. *Journal of Geophysical Research*. 101, 18489-18500.
- Leventer, A., Domack, E.W., Ishman, S.E., Brachfeld, S., McClennen, C.E., Manley, P., 1996. Productivity cycles of 200-300 years in the Antarctic Peninsula region: understanding linkages among the sun, atmosphere, oceans, sea ice, and biota. *Geological Society of America, Bulletin* 108(12), 1626-1644.
- Leventer A., 1998, The fate of Antarctic 'sea ice diatoms' and their use as paleoenvironment indicators. In: Lizotte, M.P. and Arrigo, K.R. (eds.), *Antarctic Sea Ice, Biological Processes, Interactions, and Variability*. Antarctic Research Series, 73, 121-117.
- MacAyeal, D. R. 1992, The basal stress distribution of Ice Stream E, Antarctica, inferred by control methods, *Journal of Geophysical Research* 97(B1), 595-603.
- Maddison, E.J., Pike, J., Leventer, A. and Domack, E.W., 2005, Deglacial seasonal and sub-seasonal diatom record from Palmer Deep, Antarctica. *Journal of Quaternary Science*, 20, 435 - 446.
- Maddison, E.J., Pike, J., Leventer, A., Dunbar, R., Brachfeld, S., Domack, E.W. Manley, P. and McClennen, C., 2006,. Post-glacial seasonal diatom record of the Mertz Glacier Polynya, East Antarctica. *Marine Micropaleontology*, 60, 66 - 88.
- Manguin, E., 1957, Premier Inventaire des Diatomées de la Terre Adélie Antarctique. *Espèces nouvelles. Revue Algologique*, 3, 111-134.
- Manguin, E., 1960, Les Diatomées de La Terre Adélie Campagne du "Commandant Charcot" 1949-1950. *Annales des Sciences Naturelles; Botanique*, 12, 225-363.
- Medlin, L. and Priddle, J., 1990, *Polar Marine Diatoms*. British Antarctic Survey, Cambridge, 214 p.
- Neori, A. and Holm-Hansen, O., 1982, Effect of temperature on rate of photosynthesis in Antarctic phytoplankton. *Polar Biology*, 1, 33-38.

- Ninnemann U.S. and Charles C.D., 2002. Changes in the mode of Southern Ocean circulation over the last glacial cycle revealed by foraminiferal stable isotopic variability. *Earth and Planetary Science Letters* 6260, 1-14.
- Peragallo, M. 1921. Deuxième Expédition Antarctique Française 1908 - 1910 Commandé e par le Dr. Jean Charcot. Botanique. Diatomées d'eau douce et diatomées d'eau salé e. Masson, Paris, 1-98.
- Pudsey, C.J., 1992. Late Quaternary changes in Antarctic Bottom Water velocity inferred from sediment grain size in the northern Weddell Sea. *Marine geology* 107, 9-33.
- Scherer, R.P., 1994. A new method for the determination of absolute abundance of diatoms and other silt-sized sedimentary particles. *Journal of Paleolimnology*, 12(2), 171-180.
- Scott, P., McMinn, A., Hosie, G., 1994. Physical parameters influencing diatom community structure in eastern Antarctic sea ice. *Polar Biol.* 14, 507-517.
- Sea Ice Climatic Atlas, 1985. Antarctic, Naval Oceanography Command, Vol. 1, Asheville, North Carolina.
- Simonsen, R. 1992, The diatom types of Heinrich Heiden in Heiden & Kolbe 1928. *Bibliotheca Diatomologica*, 24, 1-99.
- Stickley, C.E., Pike, J., Leventer, A., Dunbar, R., Domack, E.W., Brachfeld, S., Manley, P. and McClennen, C., 2005, Deglacial ocean and climate seasonality in laminated diatom sediments, Mac. Robertson Shelf, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227, 290 - 310.
- Tanimura, Y., Fukuchi, M., Watanabe, K., Moriwaki, K., 1990. Diatoms in water column and sea-ice in Lützow-Holm Bay, Antarctica, and their preservation in preservation in the underlying sediments. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series C* 18 (1), 15. 39.
- Taylor, F. and McMinn, A., 2002, Late Quaternary diatom assemblages from Prydz Bay, eastern Antarctica. *Quaternary Research*, 57, 151 - 161.
- Taylor, F. and Leventer, A., 2003, Late Quaternary palaeoenvironments in Prydz Bay, East Antarctica: interpretations from marine diatoms. *Antarctic Science*, 15, 512 - 521.
- Taylor, F., Whitehead, J. and Domack, E., 2001, Holocene paleoclimate change in the Antarctic Peninsula: evidence from the diatom, sedimentary and geochemical record. *Marine Micropaleontology*, 41, 25-43.
- Tolotti, R., Salvi, C., Salvi, G. and Bonci, M.C., 2013. Late Quaternary climate variability as recorded by micropaleontological diatom data and geochemical data in thw western Ross

Sea, Antarctica. *Antarctic Science* 25(6), 804–820.

Treguer, P., Nelson, D.M., van Bennekom, A.J., DeMaster, D.J., Leynaert, A. and Queguiner, B., 1995, The silica balance in the world ocean: a re-estimate. *Science*, 268, 375–379.

Tucholke B.E., Wright W.R. and Hollister, C.D., 1973. Abyssal circulation over the Greater Antilles Outer Ridge. *Deep-Sea Research* 20, 973–975.

Velicogna, I. and Wahr, J., 2006, Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica. 311, 1754.

Yoon, H.I., Yoo, K.-C., Bak, Y.S., Lim, H.S., Kim, Y. and Lee, J.I., 2010, Late Holocene cyclic glaciomarine sedimentation in a subpolar fjord of the South Shetland Islands, Antarctica, and its paleoceanographic significance: Sedimentological, geochemical, and paleontological evidence. *Geological Society of America Bulletin* 122, 1298–1307.

Zielinski, U. and Gersonde, R., 1997, Diatom distribution in Southern Ocean surface sediments (Atlantic sector): implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129, 213–250.







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