

## 남 셰틀랜드 군도 북동쪽 대륙대 코어 퇴적물에 나타나는 해빙기에 대한 고해상 구조분석 연구

박영숙<sup>1,\*</sup> · 유규철<sup>2</sup> · 이종덕<sup>3</sup> · 윤호일<sup>2</sup> · 이재일<sup>2</sup> · 김향주<sup>3</sup> · 이성주<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 지질학과

<sup>2</sup>한국해양연구원 부설 극지연구소 극지기후연구부

<sup>3</sup>전북대학교 지구환경과학과

### 요 약

남 셰틀랜드 군도 북동쪽에 위치한 엘레판트 섬 북쪽 대륙대에서 채취한 GC03-C1 코어퇴적물 중 300~350 cm 구간에서 총 31속 70종의 구조를 감정하였으며, 구조 개체수 농도의 범위는  $0.7\sim 6.1\times 10^7/g$  이다. GC03-C1 코어퇴적물에서 산출된 구조 군집 조성을 살펴보면 *Fragilariopsis kerguelensis* (31.3%)와 *Eucampia antarctica* (11.4%)가 가장 많은 산출을 보였으며, 구조의 분석결과 3개의 구조 아분대를 설정하였다. 구조 아분대 I-a (350~331 cm)는 마지막 최대빙하기(Last Glacial Maximum)의 후기이며, 구조 아분대 I-b (330~313 cm)는 전이대(transition zone)로 해빙기(deglaciation)에 해당한다. 구조 아분대 II-a (312~300 cm)는 홀로세의 시작에 해당한다. 고환경 변화를 살펴보면 마지막 최대 빙하기 후기인 구조 아분대 I-a에서 해빙의 영향을 받는 추운 환경이지만, 여름철 남극순환심층수의 영향을 받았으며, 기온이 상승하면서 구조 아분대 I-b에서는 육상 빙괴가 붕괴하고 용빙수가 유입되었고, 구조 아분대 II-a에서는 따뜻한 남극 순환수의 영향을 더 많이 받는 공해환경으로 변화하였다.

**주요어:** 남 셰틀랜드 군도, 엘레판트 섬, 구조 아분대, 고환경

**Young-Suk Bak, Kyu-Cheul Yoo, Jong-Deock Lee, Ho Il Yoon, Jae Il Lee, Hyang-Ju Kim and Seong-Joo Lee, 2011, Deglacial environments in the northeastern of South Shetland Islands, Antarctica: evidence from the high resolution diatom record. Journal of the Geological Society of Korea. v. 47, no. 4, p. 363-369**

**ABSTRACT:** A total of 70 species and varieties belonging to 31 genera are identified from 300~350 cm horizons of the Core GC03-C1 in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. High number of diatom valves per gram of dry sediment was observed in core, ranging from  $0.7\sim 6.1\times 10^7/g$ . The Holocene diatom assemblages from the core are dominated by *Fragilariopsis kerguelensis* and *Eucampia antarctica* which are about 45.7% of the total. Three diatom subzones are identified on the basis of frequency of the index species throughout the section: diatom assemblage subzone I-a from 350 to 331 cm (late Last Glacial Maximum), diatom assemblage subzone I-b from 330 to 313 cm (deglaciation) and diatom assemblage subzone II-a from 312 to 300 cm (early Holocene). The paleoenvironmental conditions from the late LGM to early Holocene can be subdivided into three intervals based on diatom assemblages: 1) diatom assemblage subzone I-a condition with persistent seasonal sea-ice cover and summer upwelling of Antarctic Circumpolar Deep Water, 2) diatom assemblage subzone I-b condition with collapse of land glaciers and influx of meltwater with increasing warming, and 3) diatom assemblage subzone II-a open ocean conditions more affected by Antarctic Circumpolar Current.

**Key words:** South Shetland Islands, Elephant Island, diatom assemblage subzone, paleoenvironmental

(Young-Suk Bak and Seong-Joo Lee, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; Jong-Deock Lee and Hyang-Ju Kim, Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea; Ho Il Yoon, Kyu-Cheul Yoo and Jae Il Lee, Korea Polar Research Institute, Songdo Techno Park, 7-50 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon 406-840, Korea)

\* Corresponding author: +82-10-9740-8804, E-mail: sydin@knu.ac.kr

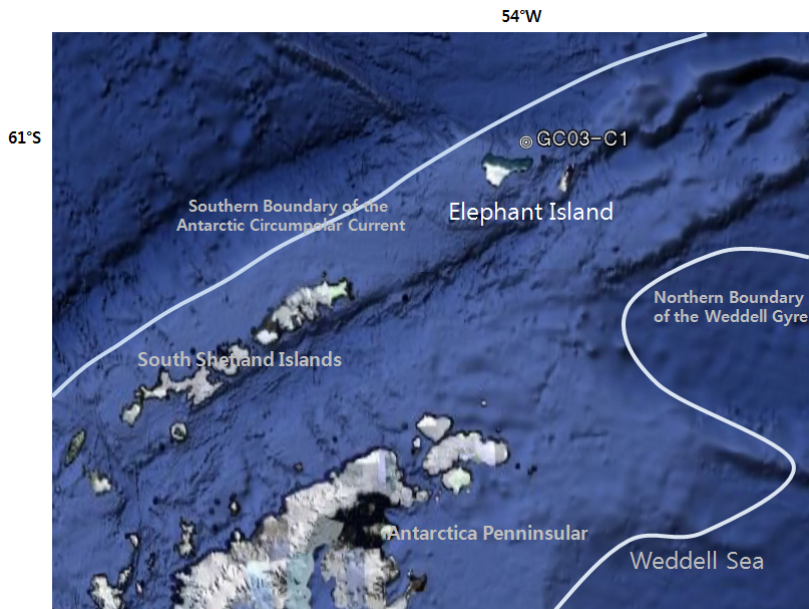
## 1. 서론

남 쉘랜드 군도 주변해역은 복잡한 지형을 이루고 있으며, 벨링스하우젠 해(Bellingshausen Sea), 브랜스필드 해협(Bransfield Strait), 웨델 해(Weddell Sea), 드레이크 해협(Drake Strait) 등 여러 해역에서 해수가 유입되기 때문에 수괴 구조가 매우 복잡하다(Nicol *et al.*, 1993). 이 지역 주변의 구조 연구는 브랜스필드 해협(이영길, 1996; 박영숙 외, 2001, 2007b, 2009), 드레이크 해협(박영숙 외, 2002, 2003), 사우스 오크니 제도(박영숙 외, 2007a), 스코티아 해(Bak *et al.*, 2007), 엘레판트 섬(박영숙 외, 2010)의 연구 등이 있다. 엘레판트 섬(Elephant Island) 주변 지역에서 채취한 GC03-C1 코어퇴적물로부터 구조 군집조성과 환경 지시종을 연구한 결과(박영숙 외, 2010), 이들을 절대연령과 비교하여 4개의 구조 분대를 설정하였으며, 특히 급격한 대자율 변화를 보이는 구간(330~313 cm)는 마지막 최대빙하기(Last Glacial Maximum)에서 홀로세(Holocene)로 들어가기 전의 전이대에 해당한다. 이번 연구는 GC03-C1 코어퇴적물에서 나타난 마지막 최대 빙하기에서 홀로세로 변화하는 전이대를 좀 더 자세하게 연구하여, 이 기간 동안에 기온이 꾸준히

상승하는지 또는 기복이 있게 변화하는지 알아보고자 하였다. 따라서 GC03-C1 코어퇴적물 전체 코어를 대상으로 하지 않고 전체 코어 퇴적물 중 전이대가 포함된 300~350 cm 층준으로부터 시료를 고해상(1 cm 간격)으로 채취하여 구조 군집의 변화를 추적함으로써 고환경 변화를 연구하였다.

## 2. 연구지역

연구지역인 엘레판트 섬은 남 쉘랜드 군도의 북동쪽에 위치하고 있으며 섬의 방향이 동서로 놓여 있다. 섬의 최고 고도는 853 m이며, 코끼리의 머리 모양을 닮았다고 해서 Elephant Island가 되었다(그림 1). 브랜스필드 해협과 드레이크 해협에 근접하고, 섬의 90%가 빙하로 덮여 있으며 두 개의 주요 지형학적 특성을 가진다. 드레이크 해협으로 들어오는 웨델 해수(Weddell Sea Water)가 통과하고 웨델-스코티아 해류가 합류하는 지점으로(Stein, 1988, 1989), 표층수의 온도는 0.9~1.3°C이며 수심 약 160 m에서 1°C 정도 내려가고 표층의 염도는 34.2‰이나 160 m 심도에서는 약간 낮아진다. 연구 시료 채취 지역은 수직적인 수괴 분포로 표층에는 남극 표층수(AASW;



**Fig. 1.** Core location map of the GC03-C1 core sediment in Antarctica. White lines are shoe fronts and boundaries of the ocean current systems: southern boundary of the Antarctic Circumpolar Current, northern boundary of the Weddell Gyre (Orsi *et al.*, 1993; Whitworth *et al.*, 1994).

Antarctic Surface Water;  $<-0.1^{\circ}\text{C}$ ,  $<34.6\%$ ), 200~800 m 깊이까지는 남극순환심층수(CDW; Circumpolar Deep Water;  $<0^{\circ}\text{C}$ ,  $<34.6\%$ ), 800 m 이상의 깊이에서는 밀도가 높은 웨델해 심층수(Weddell Sea Deep Water;  $-0.7^{\circ}\text{C}<T<0^{\circ}\text{C}$ )와 웨델해 저층수(Weddell Sea Bottom Water;  $<-0.7^{\circ}\text{C}$ )가 분포한다(Carmack and Foster, 1975; Deacon, 1979; Orsi *et al.*, 1993; Matano *et al.*, 2002).

### 3. 연구방법

연구 코어퇴적물 GC03-C1은 총 코어 길이 880 cm로서 박영숙 외(2010)의 연구결과에 따라 마지막 최대빙하기(Last Glacial Maximum)에서 홀로세(Holocene)로 넘어가는 전이대를 포함하는(300~350 cm)를 대상으로 1 cm 간격으로 51 개의 고해상 시료를 채취하였다. 규조 화석 추출 실험을 하기 위하여 박영숙 외(2007a)의 시료처리방법을 사용하였으며, 규조의 정량분석을 위한 Slide 준비를 위해서 Scherer (1994)의 연구 방법을 사용하였고 절대 개체수 농도의 계산은 계산식  $\text{Abundance} = ((A \times B) / (C \times D)) / E$  ( $A$ =number of specimens counted;  $B$ =area of settling chamber;  $C$ =number of field of view in microscope;  $D$ =area of field of view;  $E$ =mass of sample)으로 하였다. Nikon E400 현미경을 이용하여 규조를 관찰하고 사진을 촬영하였으며, 규조의 감정은 주로 400 배율에서 수행하였다. 중심규조목에 속하는 것은 중심부를 포함하고 1/2 이상 보이는 규조각을 1개체로 산정하였으며, 우상규조목의 경우 정측부를 포함하여 2/3 이상을 포함하면 1개체로 산정하였다.

## 4. 결과 및 토의

### 4.1 규조 군집

남극 엘레판트 섬 북쪽 사면으로부터 채취한 코어 퇴적물 GC03-C1의 300~350 cm로부터 고해상으로 채취한 총 51개의 시료로부터 총 31속 70종의 규조가 감정되었다. 전체적인 규조의 보존상태는 불량하였으며 부서지고 용해된 것들이 많이 산출되었으며, 규조 개체수 농도의 범위는  $0.7 \sim 6.1 \times 10^7 / \text{g}$ 으로서 전체적인 규조의 산출이 상대적으로 풍부하지는 않다.

고해상 전이대 시료 퇴적물에서 산출된 규조 군집 조성을 살펴보면 5개의 규조종 *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Rhizosolenia styliformis*, *Thalassionema nitzschioides*가 전체 군집의 63.1%를 차지한다. 그 중 가장 우점종으로서 *F. kerguelensis*가 31.3%로 풍부하게 산출되었으며, 두 번째 다산되는 종으로 *E. antarctica*가 11.4%를 차지한다.

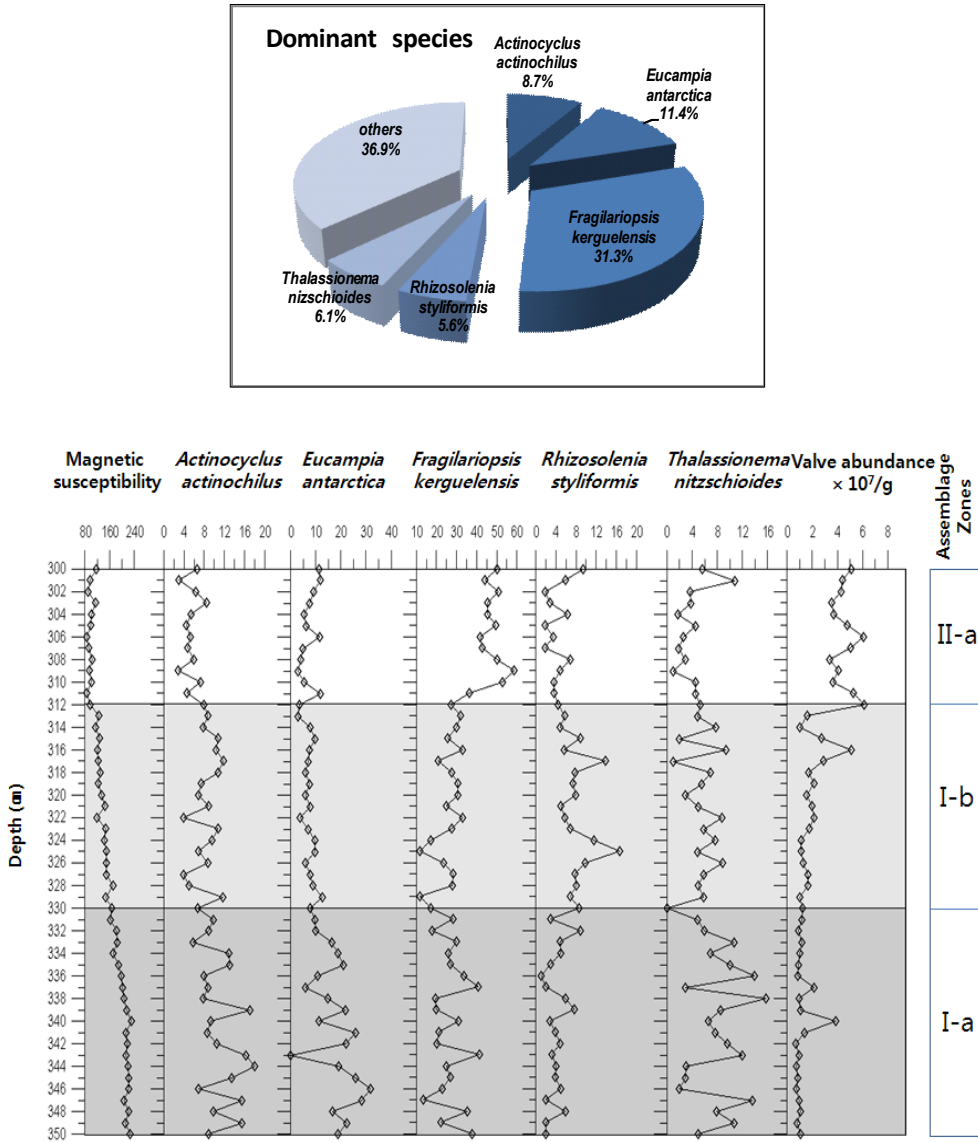
### 4.2 규조 아분대

연구 코어 퇴적물 GC03-C1의 기존의 연구결과(박영숙 외, 2010)에서 코어 층준 330 cm를 기준으로 하부 층준은 마지막 최대빙하기(LGM)에 대비하였으며, 코어 층준 312 cm를 기준으로 상부 층준은 홀로세로 설정하였다. 312~330 cm 구간은 마지막 최대빙하기 말에서 중기 홀로세 온난기로 넘어가는 전이대를 포함하며 이 구간에서 산출된 규조 종들에 대한 분석은 매우 중요한 의미를 가진다. 산출된 규조 군집을 이용하여 3개의 아분대(subzone)를 설정하였다(그림 2).

**규조 아분대 I-a (마지막 최대빙하기 후기: 350~331 cm):** 대자울의 값이 점점 감소하는 경향을 보이며, 규조의 개체수 농도는 340 cm ( $3.8 \times 10^7 / \text{g}$ )와 337 cm ( $2.1 \times 10^7 / \text{g}$ )에서 다소 증가하고 나머지 층준에서는 적다. *A. actinochilus* (6.7~18%)와 *E. antarctica* (5.8~31.7%)가 상대적으로 풍부하게 산출되며, *T. nitzschioides* (2.9~15.7%)도 역시 풍부하게 산출된다.

**규조 아분대 I-b (전이대: 330~313 cm):** 대자울 값이 규조 아분대 I-a에서부터 급속하게 감소하며, 규조 개체수 농도는 상위 층준으로 갈수록 점점 증가하는 경향을 보이다가 316 cm ( $5.1 \times 10^7 / \text{g}$ )에서는 대폭 증가하고 314 cm ( $1.0 \times 10^7 / \text{g}$ )에서는 갑자기 감소하다가 312 cm ( $6.2 \times 10^7 / \text{g}$ )에서부터 다시 증가하는 경향을 보인다. 이 구간은 *A. actinochilus* (3.9~11.9%), *E. antarctica* (2.9~12.7%)와 *T. nitzschioides* (2.0~9.4%)의 산출이 점점 감소하는 구간이며, *R. styliformis* (4.4~16.7%)의 산출은 증가하는 경향을 보인다.

**규조 아분대 II-a (홀로세 초기: 312~300 cm):** 대자울의 값이 규조 아분대 I-a에서부터 I-b까지 급속



**Fig. 2.** Assemblage subzones and down-core variations of magnetic susceptibility, relative abundance of *Actinocyclus actinochilus* (%), *Eucampia antarctica* (%), *Fragilariopsis kerguelensis* (%), *Rhizosolenia styliformis* (%), *Thalassionema nitzschioides* (%) and valve abundance.

하계 감소하는 경향을 보이다가 규조 아분대 II-a에서도 매우 적은 값을 유지한다. 규조의 개체수 농도는  $2.5 \times 10^7/g$ 에서  $6.0 \times 10^7/g$ 의 범위로 기록을 보이지만 규조 아분대 I-a과 I-b에서 보다는 상대적으로 산출이 증가한다. 특히, *F. kerguelensis*는 다른 두 개의 규조 아분대에 비해서 상대적으로 많은 증가(29.2~57.5%)를 보이며, 규조 아분대 I-b에서 증가하던 *R. styliformis* (1.8~9.4%)는 다시 감소한다.

**4.3 고환경 해석**

서남극 반도의 생태는 연안 및 대륙붕 지역과 계절적인 해빙 지역으로서 서로 다른 특징이 나타난다(Smith et al., 1996). 서남극 반도 대륙붕을 따라서 분포하는 해빙의 가장자리(MIZ: Marginal Ice Zone)는 규조의 일차적인 생산력에 매우 중요한 영향을 미친다(Holm-Hansen et al., 1989; Sturz et al., 2003). MIZ 내에서 해빙이 녹는 시기 동안의 물리적 기작들은

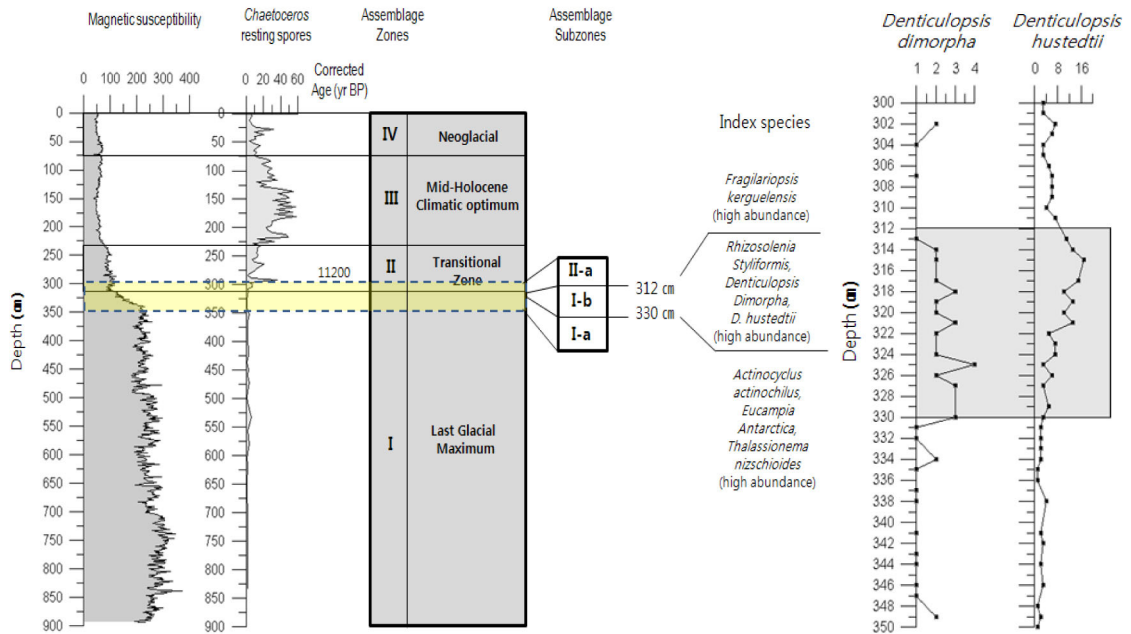


Fig. 3. Assemblage subzones, index species and relative abundance of reworked species (*D. dimorpha* and *D. hustedtii*) from diatoms in core GC03-C1.

일차적인 구조의 대변성을 조절하며, 이차적인 대변성은 해빙이 없는 여름철에 일어난다(Lancelot *et al.*, 1993). 연구지역이 엘레판트 섬의 대륙대 지역에 위치하고 있어서 오늘날에는 겨울철 일부 기간 해빙으로 덮이고 여름철에는 해빙이 없는 공해(open-sea) 환경이다. 연구 층준은 박영숙 외(2010)의 연구결과에서 보고된 것처럼 마지막 빙하기에서 홀로세로 넘어가는 전이대를 포함하는 구간을 대상으로 하여 3개의 subzone을 설정하였다(그림 3). 산출된 *A. actinochilus*는 극 수렴대 남쪽과 겨울철 최대 해빙의 가장자리에서 산출이 되며 해빙이 연중 8~9개월 이상 지속되는 지역에서는 아주 풍부하게 산출된다. *A. actinochilus*의 산출이 마지막 최대 빙하기인 구조 아분대 I에서부터 구조 아분대 II로 갈수록 점점 감소하고, 전이대인 구조 아분대 Tz까지 꾸준히 감소한다. *E. antarctica*는 근해성 종(Froneman *et al.*, 1995)으로 해빙과 빙산이 녹는 지역에서 풍부하다(Burckle, 1984). *E. antarctica*도 *A. actinochilus*와 마찬가지로 구조 아분대 I에서 가장 많은 산출을 보이다가 상부 층준으로 갈수록 점점 감소하는 경향을 보인다. 따라서 마지막 최대 빙하기 후반에 해당하는 구조 아분대 I-a에서 전이대까지 서서히 해빙이 감소하고 있음을 말해주며,

해빙과 해빙의 가장자리(MIZ)에 의해서 주로 영향을 받은 것으로 생각된다.

*R. styliiformis*는 일반적으로 여름동안 공해 환경이고 겨울 동안 해빙이 형성되지 않거나 해빙의 지속시간이 짧은 지역의 퇴적물에서 다량 산출된다(Crosta *et al.*, 2005). 서식의 범위가 0~300 m로서 비교적 표층에 가까운 *R. styliiformis*의 산출이 구조 아분대 I-a보다 구조 아분대 I-b에서 큰 증가는 보이지 않지만, 특히 317 cm와 325 cm 층준에서 커다란 증가는 연구지역에 연중 해빙이 존재하지 않을 정도로 불안정한 전이대로 뚜렷한 해빙기(deglaciation)의 특징을 보여준다.

*F. kerguelensis*는 공해종(open-water species)으로서 남극순환해수(Antarctic Circumpolar Current)와 극전선(Polar front)에서 우세하게 산출되며, 퇴적물에서의 산출은 남극 순환수의 유입을 지시한다(Bathmann *et al.*, 1997; Zielinski and Gersonde, 1997; Crosta *et al.*, 2004). *F. kerguelensis*는 마지막 최대 빙하기에 해당하는 구조 아분대 I-a과 해빙기에 해당하는 구조 아분대 I-b보다 구조 아분대 II-a에서 상대적으로 풍부하게 산출된다. *F. kerguelensis*의 산출이 구조 아분대 II-a에서 급증하는 것은 불안

정한 해빙기가 완전히 끝나면서 연구지역에 남극순환해수에 의한 영향이 더욱 커졌음을 말해준다.

*T. nitzschii*는 일반적으로 연안 용승이나 용승지역으로부터 운반된 영양염류가 풍부한 해류에서 발견되기 쉽다(Abrantes, 1988; Treppke et al., 1996). 구조 아분대 I-a에서 *T. nitzschii*가 상대적으로 풍부한 것은 연구지역의 영양염류가 풍부한 남극순환심층수(Antarctic Circumpolar Deep Water)의 용승이 빙하기에 활발하였다는 사실을 말해준다.

GC03-C1 코어퇴적물의 350~300 cm 구간에서 산출된 재이동 구조는 *Actinocyclus ingens* (0.7%), *Denticulopsis hustedtii* (4.3%), *D. dimorpha* (1%), *D. praedimorpha* (0.5%), *Rhizosolenia curvirostris* (2.8%)가 산출되었다. 그 중 Miocene-Pliocene 중인 *Denticulopsis dimorpha*와 *D. hustedtii*의 산출분포를 살펴보면 *D. dimorpha*는 330 cm 층준의 하부층준과 312 cm 층준의 상부층준에서는 산출이 거의 없으며 330~313 cm 구간에서 산출이 많은 것을 알 수 있다. *D. hustedtii*는 330 cm 층준의 하부층준에서 소량 산출되고 330~313 cm 층준에서는 점점 증가하는 경향을 보인다. 그러다가 312 cm 층준의 상부 층준에서는 산출이 감소하나 꾸준히 산출된다. 이 구간은 해빙기에 해당하는 구조 아분대 I-b이며, 당시 재이동 구조의 퇴적이 가장 활발하게 일어났음을 말해준다(그림 3). 사실 마지막 최대 빙하기 동안 엘레판트 섬 주변 대륙붕까지 확장한 육상 빙하의 존재는 현재 알려져 있지 않다(Bentley and Anderson, 1998). 하지만, 적어도 엘레판트 섬 주변의 일부 육상 빙괴의 붕괴에 따라 육원성 퇴적물이 이 시기동안 일부 연구지역으로 유입된 것으로 생각된다. 따라서 이를 종합해 보면 구조 아분대 I-a에서 구조 아분대 II-a로 가면서 점점 기온이 상승하였으며, 구조 아분대 I-a에서는 겨울철 지속적인 해빙의 영향, I-b에서는 해빙의 지속적인 감소, 육상 빙괴의 붕괴와 용빙수의 유입, II-a에서는 따뜻한 표층수인 남극순환해수의 영향이 커졌음을 알 수 있다.

## 5. 결론

남극 남 웨틀랜드 군도 북동쪽의 엘리펀트 섬 주변부에서 채취한 코어 퇴적물 GC03-C1의 전이대를 포함하고 있는 300~350 cm 구간을 1 cm 간격으로

고해상으로 채취한 총 51개의 시료로부터 총 31속 70종의 구조가 감정되었으나 보존의 상태가 매우 불량하고 구조 개체수 농도도 상대적으로 매우 낮게 산출되었다. 구조 군집의 산출양상과 환경지시종에 의하여 해석한 결과, 구조 아분대 I-a는 마지막 최대 빙하기의 후기로 연구지역에 겨울철 해빙이 지속적으로 덮혀있고 여름철 남극순환해수의 영향으로 남극순환심층수의 활발하게 용승한다. 구조 아분대 I-b는 전형적인 해빙기이며 육상 빙괴의 붕괴로 인해 재이동 구조각이 풍부해지는 시기이다. 구조 아분대 II-a는 일부 겨울 기간을 제외하고 공해 환경이 길게 지속되면서 따뜻한 남극 순환수의 유입이 활발한 시기이다. 따라서 연구지역에서는 마지막 최대빙하기 말에서 전이대로 넘어갈 때 전반적으로 급격한 변화보다는 기온 상승에 따른 점진적인 변화양상을 보이는 것을 알 수 있다.

## 사 사

이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 “서남극 빙봉 변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사 복원 기술 개발(PP11010)” 연구사업의 지원에 의하여 연구되었습니다. 논문심사 과정에서 값진 조언을 해주신 충남대학교 윤혜수 교수님과 익명의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 박영숙, 유규철, 이종덕, 윤호일, 2009, 남극 브랜스필드 해협 코어퇴적물의 고해상도 구조 분석. 지질학회지, 45(1), 1-8.
- 박영숙, 이종덕, 윤혜수, 윤호일, 2001, 남극 브랜스필드 해협 퇴적물에서 산출된 구조류에 의한 고환경 연구. 고생물학회지, 17(2), 99-111.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 유규철, 2007a, 서남극 브랜스필드 해협 동부분지 내 구조군집과 홀로세 말기 기후변동 연구. 지질학회지, 43(3), 345-352.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 유규철, 이성주, 2010, 남극 반도 엘레판트 섬 주변지역에서 구조를 이용한 홀로세 고기후 변화. 지질학회지, 46(2), 111-117.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 윤혜수, 2003, 남극 드레이크해협 극전선 부근 시추코어퇴적물(DP00-02)에서 구조화석을 이용한 고환경 연구. 지질학회지, 39(3), 337-346.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 윤혜수, 김효정, 2002, 드레이크해협 남부 코어퇴적물에서 산출된 제 4기 구조화석 연구.

- 한국지구과학회지, 23(5), 442-453.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 이재일, 2007b, 남극 사우스오크니 제도 서부 해역의 코어퇴적물에서 산출된 구조 균집. 지질학회지, 43(1), 33-42.
- 이영길, 1996, 남극 브랜스필드 해협 코어 퇴적물의 미고생물(구조)학적 연구. 고생물학회지, 12(1), 1-21.
- Abrantes, F., 1988, Diatom assemblages as upwelling indicators in surface sediments off Portugal. *Marine Geology*, 85, 15-39.
- 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.
- Bathmann, U.V., Scharek, R., Klaas, C., Dubischar, C.D. and Smetacek, V., 1997, Spring development of phytoplankton biomass and composition in major water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Deep-Sea Research II*, 44, 51-67.
- Bentley, M.J., Anderson, J.B., 1998, Glacial and marine geological evidence for the ice sheet configuration in the Weddell Sea - Antarctic Peninsula region during the Last Glacial Maximum. *Antarctic Science*, 10(3), 309-325.
- Burckle, L.H., 1984, Diatom distribution and paleoceanographic reconstruction in the Southern Ocean - present and Last Glacial Maximum. *Marine Micropaleontology*, 9, 241-261.
- Carmack, E.C. and T.D. Foster, 1975, On the flow of water out of the Weddell Sea. *Deep-Sea Research I*, 22, 711-724.
- 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., 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.
- Deacon, G.R.E., 1979, The Weddell gyre. *Deep-Sea Research I*, 26, 981-995.
- Froneman, P.W., Perissinotto, R., McQuaid, C.D. and Laubscher, R.K., 1995, Summer distribution of netphytoplankton of the Southern Ocean. *Polar Biology*, 15, 77-84.
- Holm-Hansen, O., Mitchell, B.G., Hewes, C.D. and Karl, D.M., 1989, Phytoplankton blooms in the vicinity of Palmer Station. *Polar Biology*, 10, 49-57.
- Lancelot, C., Mathot, S., Veth, C. and de Baar, H.W., 1993, Factors controlling phytoplankton ice-edge blooms in the marginal ice-zone of the Northwestern Weddell Sea during ice retreat 1988 - field observations and mathematical modelling. *Polar Biology*, 13, 377-387.
- Matano, R.P., Gordon, A.L., Muench, R.D. and Palma, E.D., 2002, A numerical study of the circulation in the northwestern Weddell Sea. *Deep-Sea Research II*, 49, 4827-4841.
- Nicol, Stephen and de la Mare, William, 1993, "Ecosystem Management and the Antarctic Krill". *American Scientist*, 81(1), 36-47.
- Orsi, A.H., Nowlin Jr., W.D. and Whitworth III, T., 1993, On the circulation and stratification of the Weddell Gyre. *Deep-Sea Research I*, 40, 169-203.
- 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.
- Smith, R.C., Dierssen, H.M., Vernet, M., 1996, Phytoplankton biomass and productivity in the western Antarctic Peninsula region. In: Ross, R.M., Hofmann, E.E., Quetin, L.B. (Eds.), *Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula*. Antarctic Research Series, vol. 70. American Geophysical Union, Washington D. C., 333-356.
- Stein, M., 1988, Variation of geostrophic circulation off the Antarctic peninsula and in the southwest Scotia Sea, 1975-1985. In: Sahrhage D. *Antarctic ocean and resources variability*. Springer, Berlin Heidelberg, 81-91.
- Stein, M., 1989, Seasonal variation of water masses in Bransfield Strait and adjacent waters. *Arch FischWiss*, 39, 15-38.
- Sturz, A.A., Gray, S.C., Duykes, K., King, A., Radtke, J., 2003, Seasonal changes of dissolved nutrients within and around Port Foster Deception Island, Antarctica. *Deep-Sea Research II*, 50, 1685-1705.
- Treppke, U.F., Lange, C.B. and Wefer, G., 1996, Vertical fluxes of diatoms and silicoflagellates in the eastern equatorial Atlantic, and their contribution to the sedimentary record. *Marine Micropaleontology*, 28, 73-96.
- Whitworth III, T., Nowlin Jr, W.D., Orsi, A.H., Locarnini, R.A. and Smith, S.G., 1994, Weddell Sea Shelf Water in the Bransfield Strait and Weddell -Scotia Confluence. *Deep-Sea Research I*, 41, 629-641.
- 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.

---

투 고 일 : 2011년 6월 16일

심 사 일 : 2011년 6월 17일

심사완료일 : 2011년 7월 25일