

남극 반도 엘레판트 섬 주변지역에서 규조를 이용한 홀로세 고기후 변화

박영숙^{1,*} · 이종덕² · 윤호일³ · 유규철³ · 이성주¹

¹경북대학교 지질학과

²전북대학교 지구환경과학과

³한국해양연구원 부설 극지연구소 극지기후연구센터

요 약

남극반도 엘레판트 섬 북쪽 사면으로부터 채취한 GC03-C1 코어퇴적물로부터 총 37속 84종의 규조를 감정하였으며, 규조 개체수 농도의 범위는 $0.2 \sim 17.0 \times 10^7/g$ 이다. GC03-C1 코어퇴적물에서 산출된 규조 군집 조성을 살펴보면 *Fragilariopsis kerguelensis* (36.6%)와 *Eucampia antarctica* (11.1%)가 가장 많은 산출을 보였으며, 재이동 규조로서 *Actinocyclus ingens*, *Rhizosolenia curvirostris*, *Denticulopsis praedimorpha*, *D. dimorpha* 등이 산출되었다. 규조의 분석결과 4개의 규조 분대를 고환경에 대비하였으며, 규조 군집대 I (880~312 cm)은 마지막 최대빙하기(Last Glacial Maximum)를 포함하는 말기 플라이스토세, 규조 군집대 II (312~232 cm)는 전이대(transition zone), 규조 군집대 III (232~92 cm)은 중기 홀로세 온난기(mid-Holocene climatic optimum), 규조 군집대 IV (92~0 cm)는 신빙하기(Neoglacial)이다.

주요어: 남극반도, 엘레판트 섬, 규조 분석, 재이동 규조, 고환경

Young-Suk Bak, Jong-Deock Lee, Ho Il Yoon, Kyu-Cheul Yoo and Seong-Joo Lee, 2010, Holocene paleoclimate change in the area around Elephant Island, Antarctica: evidence from the diatom record. Journal of the Geological Society of Korea. v. 46, no. 2, p. 111-117

ABSTRACT: A total of 84 species and varieties belonging to 37 genera are identified from the Core GC03-C1 in the Elephant Island, Antarctic Peninsula. High number of diatom valves per gram of dry sediment was observed in core, ranging from $0.2 \sim 17 \times 10^7/g$. The Holocene diatom assemblages from the core are dominated by *Fragilariopsis kerguelensis* and *Eucampia antarctica* which are about 47.7% of the total. The reworked diatoms include taxa such as *Actinocyclus ingens*, *Rhizosolenia curvirostris*, *Denticulopsis praedimorpha*, and *D. dimorpha*. Holocene paleoenvironmental history in the Elephant Islands was reconstructed through the diatom assemblage analysis from sediment core GC03-C1. Four diatom zones are identified on the basis of frequency of the critical taxa throughout the section: diatom assemblage zone I from 880 to 312 cm (late Pleistocene including Last Glacial Maximum), diatom assemblage zone II from 312 to 232 cm (transition zone), diatom assemblage zone III from 232 to 92 cm (mid-Holocene climatic optimum), and diatom assemblage zone IV from 92 to 0 cm (Neoglacial).

Key words: Antarctic Peninsula, Elephant Island, diatom assemblage analysis, reworked diatom, paleoenvironmental

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

1. 서 론

남극에서 규조는 주요한 일차 생산자이며 규질의

각의 보존이 용이 하기 때문에 해양 퇴적물에서 매우 풍부하게 산출이 된다. 따라서 규조를 이용하여 고해양학적 복원을 시도하는 연구가 매우 활발하게

* Corresponding author: +82-63-270-2804, E-mail: sydin@jbnu.ac.kr

이루어져 왔으며(Leventer and Dunbar, 1988; Leventer *et al.*, 1993, 1996; Cunningham *et al.*, 1998; Taylor *et al.*, 2001), 제4기 동안 남극 반도 주변의 기후와 해양학적 변화를 알기 위한 연구도 꾸준히 수행되었다(Deflice and Wise, 1981; Burckle and Cirilli, 1987; Leventer, 1992; Leventer and Dunbar, 1996; Leventer *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 1997; Armand *et al.*, 2005; Crosta *et al.*, 2005; Gersonde *et al.*, 2005; Stickley *et al.*, 2005).

연구지역인 엘레판트 섬(Elephant Island)은 남쉐틀랜드 군도의 북동쪽에 위치하고 있으며 브랜스필드 해협과 드레이크 해협에 근접하고, 섬의 90%가 빙하로 덮여 있으며 최근에는 약 100 m 정도 융기하였다. 본 연구는 엘레판트 섬 북부 심해의 퇴적체(sediment drift)에서 채취한 코어퇴적물 GC03-C1을 대상으로 구조의 균질분석을 실시하여 층준에 따른 균질 변화양상을 연구함으로써 홀로세 동안의 기

후 변화를 해석하는데 목적이 있다.

2. 연구지역

연구지역인 엘레판트 섬 주변의 물리해양학적 특징은 여러 수괴들의 혼합, 여러 섬들의 영향, 대륙붕에서 심해에 이르는 복잡한 지형구조 때문에 수괴구조가 매우 복잡하다(Nicol and de la Mare, 1993). 이 해역은 베링스하우젠해, 브랜스필드해협, 웨델해, 드레이크해협 등 여러 해역에서 해수가 유입되기 때문에 수층의 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 다양하게 변화한다(Holm-Hansen *et al.*, 1997). 주요 수괴로서 남극 표층수와 남극순환심층수가 주를 이루는 지역이며, 수직적인 수괴 분포는 표층에서 약 200 m 깊이까지는 차갑고($<0.1^{\circ}\text{C}$) 저염($<34.6\text{‰}$)인 남극 표층수(AASW; Antarctic Surface Water)가 존재한다(Carmack and Foster, 1975). 그 밑으로

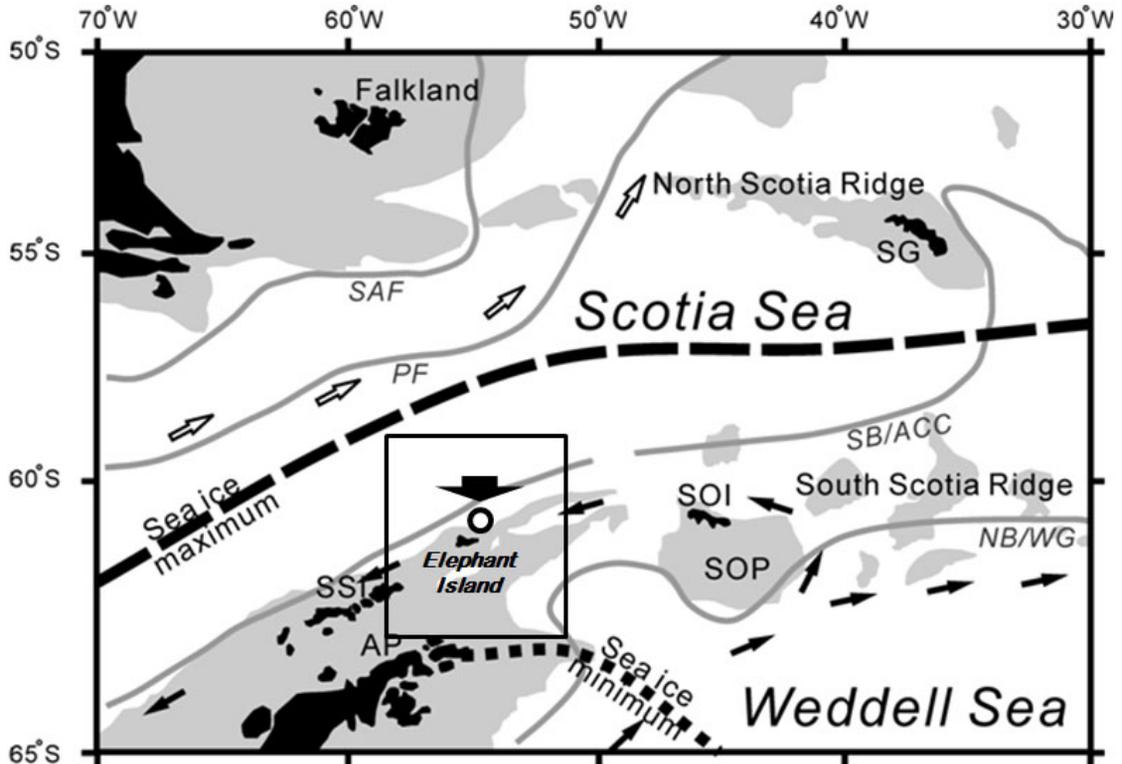


Fig. 1. Core location map of the GC03-C1 core sediment in Antarctica. Grey lines show fronts and boundaries of the ocean current systems: SAF, Sub-Antarctic Front; PF, Polar Front; SB/ACC, Southern Boundary of the Antarctic Circumpolar Current; NB/WG, Northern Boundary of the Weddell Gyre (Orsi *et al.*, 1993, 1995; Whitworth *et al.*, 1994).

200~800 m 깊이까지는 북반구의 북대서양 기원의 심층수괴로써 북쪽으로부터 유입된 남극순환심층수(CDW; Circumpolar Deep Water)가 놓인다 ($<0^{\circ}\text{C}$, $<34.6\%$; Deacon, 1979). 또한 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 존재한다 (Orsi *et al.*, 1993; Matano *et al.*, 2002) (그림 1).

3. 연구방법

GC03-C1 코어 퇴적물은 총 코어 길이 880 cm로서 규조 화석을 이용한 퇴적환경의 변화를 알아보기 위해서, 대자율 값이 높은 하부구간(880~328 cm)에서는 각 12 cm 간격으로 47개의 시료를 채취하였으며 대자율 값이 급격하게 감소하는 구간인 316 cm 층준부터 최상부(0 cm)까지는 각 4 cm 간격으로 80

개의 시료를 채취하였다.

연구 코어 GC03-C1에서 채취한 총 127개의 시료로부터 규조 화석 추출 실험을 하기 위하여 박영숙 외(2007)의 시료처리방법을 사용하였으며, 현미경 관찰을 위해서 제작된 슬라이드를 400~1000배의 Nikon E400 현미경을 이용하여 규조를 감정하였다. 각 슬라이드의 규조의 전체 개체수는 *Chaetoceros resting spores*를 제외하고 산정하였으며 절대적인 산출 값을 측정하기 위한 개체수 농도는 Boden (1991)공식을 사용하여 계산하였다.

4. 결과

4.1 규조 군집

남극반도 엘레판트 섬 북쪽 심해 퇴적체에서 채취한 코어 퇴적물 GC03-C1로부터 규조를 감정한 결과 총 127개의 시료로부터 총 37속 84종의 규조가

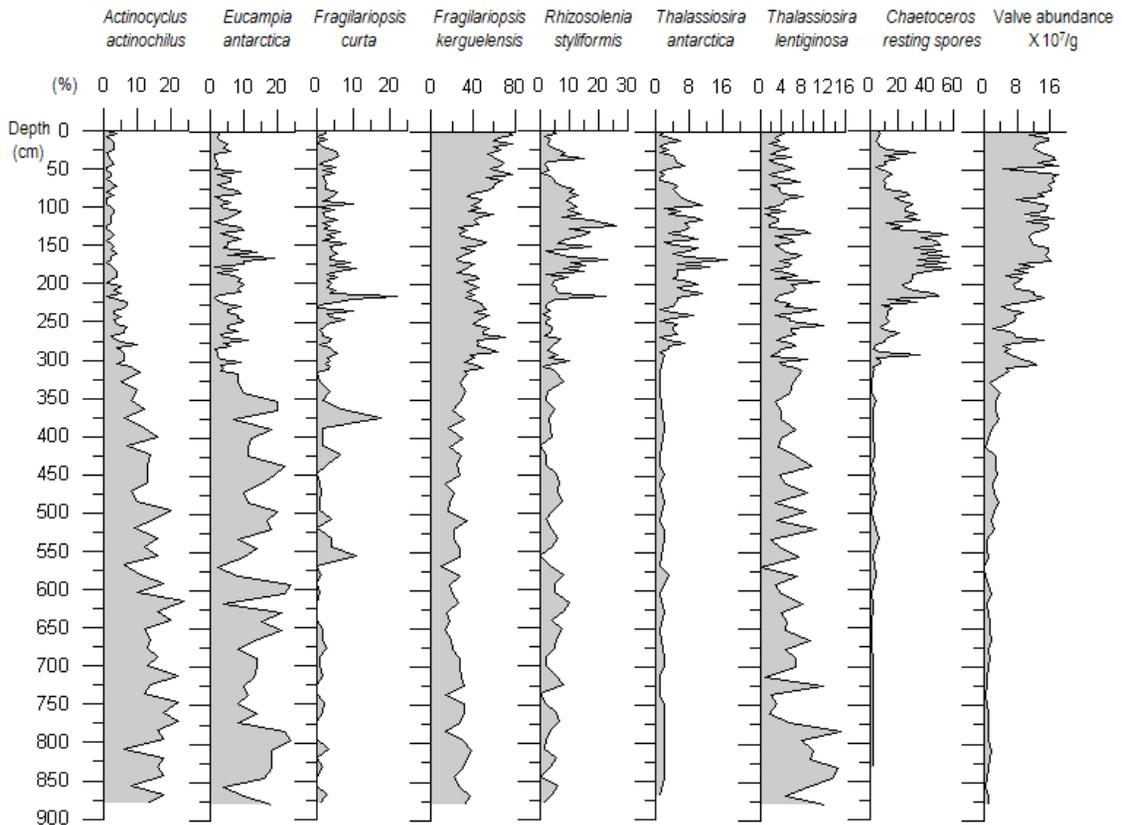


Fig. 2. Vertical distribution of dominant species from GC03-C1 core sediment.

감정되었다. 전체적인 구조의 보존상태가 양호하였으며, 구조 개체수 농도의 범위는 0.2 ~ 17.0×10⁷/g 으로서 412 cm, 568 cm, 580 cm, 736 cm, 856 cm 층에서 개체수 농도가 1이하로 매우 낮았으며 나머지 구간에서는 상대적으로 풍부하게 산출되었다.

GC03-C1 코어 퇴적물에서 산출된 구조군집 구성을 살펴보면 312 cm 층준 이상의 상부구간에서 다량 산출되는 *C. resting spores*를 제외하고 우점종으로서 *Fragilariopsis kerguelensis*가 36.6%로서 가장 풍부하게 산출되었으며, 뒤를 이어 *Eucampia antarctica*가 11.1%를 차지하였다. 부수적으로 수반되는 종으로서 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis curta*, *Rhizosolenia styliiformis*, *Thalassiosira antarctica* 와 *T. lentiginosa* 등이 전체 군집의 24.8% 정도로 산출되었다(그림 2).

4.2 구조 분대 및 고기후

GC03-C1 코어 퇴적물에서 산출된 구조 종들의 구성과 대자율 값의 변화를 토대로 4개의 구조 군집대를 설정하고 고기후를 대비하였다(그림 3).

4.2.1 구조 군집대 I (880~312 cm)

전형적으로 남극과 남극수렴대(Polar Front Zones)에서 풍부한 *Eucampia antarctica*는 형태에 따라서 *E. antarctica* var. *antarctica*와 *E. antarctica* var. *recta*의 두 개 변종으로 나누어지며 *E. antarctica* var. *recta*는 해빙단(ice edge)에서 풍부하게 산출이 되는 종으로(Fryxell and Prasad, 1990; Fryxell, 1991) 구조 군집대 I에서 꾸준히 풍부하게 산출되는 경향을 보인다. 반대로 드레이크 해협 표층 퇴적물에서 우세하게 산출되고 남극 순환수의 영향을 강하게 지시하는 *F. kerguelensis* (Zielinski and Gersonde, 1997)

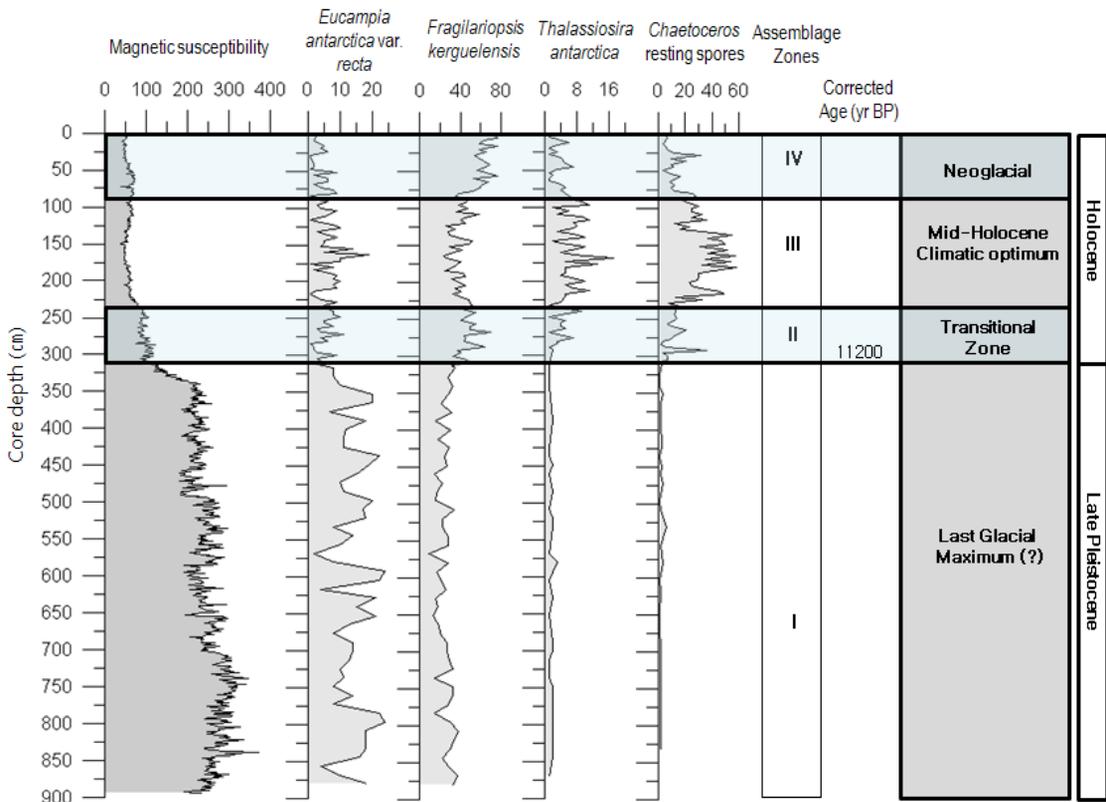


Fig. 3. Down-core variations of relative abundance of *Eucampia antarctica* var. *recta* (%), *Fragilariopsis kerguelensis* (%), *Thalassiosira antarctica* (%), *Chaetoceros* resting spores (%) and Magnetic susceptibility. Major climatic events during the Holocene and Late Pleistocene are indicated.

Table 1. Age of selected diatom species from GC03-C1. LO, last occurrence; LCO, last common occurrence.

Datums	species	Age (Ma)	Reference
LO	<i>Rhizosolenia curvirostris</i>	0.25	Koizumi, 1975
LO	<i>Actinocyclus ingens</i>	0.62	Kellogg and Kellogg, 1986
LCO	<i>Denticulopsis dimorpha</i>	10.1	Baldauf and Barron, 1991
LO	<i>D. praedimorpha</i>	10.5	Ciesielski, 1983

와 웨델 해 및 스코티아 해에서 해빙이 없는 공해 환경을 지시해주는 *T. antarctica* (Abelmann and Gersonde, 1991)의 산출은 상대적으로 낮다. 이 구간은 해빙에서 겨울을 나고, 봄철 용융이 일어나서 성장에 좋은 환경이 형성될 때 용융대에서 봄철 번성이 일어나는 *C. resting spores*의 산출이 매우 적은 구간으로서 해빙이 우세한 추운환경이다. 퇴적물에서 대자울 값은 육원성퇴적물의 변화와 빙하기와 간빙기의 순환을 반영한다. 대자울 값의 증가는 일반적으로 빙하기를 나타내는데 규조 군집대 I에서의 대자울 값이 매우 높게 나타나므로 이 시기가 추운 환경이었음을 뒷받침해준다. 따라서 규조 군집대 I은 해빙종이 풍부하게 나타나고, 낮은 개체수 농도로 일차생산력이 매우 적으며 대자울 값이 높게 나타나므로, 이 시기는 해빙이 오래 지속되는 시기 였고 탄소동위원소 절대 연령 값과 비교해 볼 때 마지막 최대빙하기(Last Glacial Maximum)를 포함하는 플라이스토세 말기(Late Pleistocene)로 생각된다.

4.2.2 규조 군집대 II (312~232 cm)

규조 군집대 I에서 다량 산출되던 *E. antarctica* var. *recta*의 산출이 감소된 구간이며, 반대로 공해종인 *F. kerguelensis*와 *T. antarctica*의 산출은 점점 증가하는 구간이다. *C. resting spores*도 마찬가지로 산출이 증가하는 경향을 보인다. 이 시기는 공해종이 점차 증가하는 경향을 보이며, 대자울 값이 급감하는 것으로 보아 추운 기후에서 약간 따뜻한 기후로 변화하는 구간으로 생각된다. 따라서 빙하기가 끝나고 점차 온난해지는 전이대(Transition Zone)에 해당된다.

4.2.3 규조 군집대 III (232~92 cm)

규조 군집대 II에서 감소하던 *E. antarctica* var. *recta*는 증가와 감소를 반복하는 구간이다. 남극 순환수의 영향을 지시해주는 *F. kerguelensis*의 산출이

군집대 II에서 보다 약간 감소하는 경향을 보이나 웨델 해의 유입을 지시해주는 *T. antarctica*의 산출은 매우 증가하는 경향을 보인다. 대자울 값은 규조 군집대 II에 비해 감소하며 전체적으로 큰 변화가 없이 낮은 값을 보인다. 또한, 규조의 개체수 농도가 4개의 군집대 중에서 가장 높은 구간이다. 이러한 높은 일차 생산력은 여름철 낮은 염분의 용빙수(meltwater)의 유입에 의해 성층화된 표층 환경임을 말해준다 (Buffen *et al.*, 2007). 이 구간에서 *C. resting spores*의 증가된 산출량은 이러한 사실을 뒷받침한다. *C. resting spores*는 일반적으로 안정적이고 성층화된 해수에서 풍부하게 산출이 되며(Leventer, 1991, 1992; Crosta *et al.*, 1997), 규조 대변식의 마지막 단계에서 최대 산출치를 보이고 간빙기 동안에 산출이 증가하는 경향을 보인다(Leventer, 1991; Barcena *et al.*, 1998). 따라서 군집대 III가 퇴적되는 시기에는 기후의 온난화로 인하여 해빙의 규모가 줄어들고 계절적인 규조의 대변성이 잘 일어났던 시기로 생각된다. 따라서 중기 홀로세 온난기(mid-Holocene climatic optimum)에 대비 된다.

4.2.4 규조 군집대 IV (92~0 cm)

E. antarctica var. *recta*의 산출은 군집대 III 보다 감소하며 규조 군집대 II와 비슷한 양상을 보여준다. *F. kerguelensis*가 규조 군집대 III에 비해 증가하고 *T. antarctica*는 상대적으로 감소하는 경향을 보이며 *C. resting spores*의 산출도 줄어들면서 규조 군집대 II의 산출과 유사한 경향을 보인다. 따라서 군집대 IV가 퇴적되는 동안은 군집대 III의 퇴적시기 보다 좀 더 추운 환경으로 변화한 것으로 생각되어 신빙하기(Neoglacial)에 대비하였다.

4.3 재이동 규조

GC03-C1 코어퇴적물로부터 산출된 재이동 규조로는 *Actinocyclus ingens*가 전체적으로 꾸준히 산출

이 되었으며 *Rhizosolenia curvirostris*는 240 cm 이하의 층에서 지속적 산출을 한다. 또한 Miocene-Pliocene 종인 *Denticulopsis praedimorpha* 와 *D. dimorpha* 가 간헐적으로 산출 된다. 이들 재이동 구조들이 제 4기 퇴적물에서 산출이 되는 것은 퇴적물이 퇴적될 당시에 용빙수의 유입이나 기후변화에 따른 와류의 발생에 의해서 재동된 주변의 고기 퇴적물이 유입된 것으로 생각된다.

5. 결 론

남극반도 엘레판트 섬 북쪽 대륙대에서 얻은 주 상 시료 GC03-C1의 구조분석을 실시한 결과, 환경 지시종인 *E. antarctica* var. *recta*, *F. kerguelensis*, *T. antarctica*와 *C. resting spores*와 대자을 값에 근거하여 4 개의 구조 분대를 설정하였다. 이들을 탄소동위원소 절대 연령값과 비교하여 구조 군집대 I (880~312 cm; 마지막 최대빙하기를 포함하는 말기 플라이스토세), 구조 군집대 II (312~232 cm; 전이대), 구조 군집대 III (232~92 cm; 중기 홀로세 온난기) 및 구조 군집대 IV (92~0 cm; 신빙하기)에 대비하였다.

사 사

이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 "지구온난화 대응책 마련을 위한 극지역 고기후 및 고해양 변화 복원기술 개발(PE10010)" 연구사업의 지원을 받았습니다. 논문심사과정에서 세심하고 값진 조언을 해주신 충남대학교 윤혜수 교수님과 익명의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

박영숙, 이종덕, 윤호일, 이재일, 2007, 남극 사우스 오크니 제도 서부 해역의 코어퇴적물에서 산출된 구조 군집. 지질학회지, 43(1), 33-42.

Abelmann, A. and Gersonde, R., 1991, Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*, 35, 503-536.

Armand, L., Crosta, X., Romero, O., Pichon, J.J., 2005, The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments. 1. Sea ice related species. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 223, 93-126.

Baldauf, J.G. and Barron, J.A., 1991, Diatom biostratigraphy:

Kerguelen Plateau and Prydz Bay regions of the Southern Ocean. In Barron, J., Larsen, B., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, 119. Ocean Drilling Program, College Station, TX, 547-598.

Barcena, M.A., Gersonde, R., Ledesma, S., Fabres, J., Calafat, A.M., Canals, M., Sierro, F.J. and Flores, J.A., 1998, Record of Holocene glacial oscillations in Bransfield Basin as revealed by siliceous microfossil assemblages. *Antarctic Science*, 10(3), 269-285.

Boden, P. 1991. Reproducibility in the random settling method for quantitative diatom analysis. *Micropaleontology*, 37, 313-319.

Buffen, A., Leventer, A., Rubin, A. and Hutchins, T., 2007, Diatom assemblages in surface sediments of the northwestern Weddell Sea, Antarctic Peninsula. *Marine micropaleontology*, 62, 7-30.

Burckle, L.H., and J. Cirilli. 1987. Origin of diatom ooze belt in the Southern Ocean; implications for late Quaternary paleoceanography. *Micropaleontology*, 33, 82-86.

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.

Ciesielski, P.F., 1983, The Neogene and Quaternary diatom biostratigraphy of subantarctic sediments, Deep Sea Drilling Project Leg 71. In W. J. Ludwig & V. A. Krasheninnikov (Eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 71, 635-666. Washington: U. S. Government Printing Office.

Crosta, X., Pichon, J.J., and Labracherie, M., 1997, Distribution of *Chaetoceros* resting spores in modern peri-Antarctic sediments. *Marine micropaleontology*, 29, 283-299.

Crosta, X., Romero, A., Armand, L. and Pichon, J.J., 2005, The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments. 2. Open Ocean related species. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 223, 66-92.

Cunningham, W.L. and Leventer, A., 1998, Diatom assemblages in surface sediments of the Ross Sea; Relationship to present oceanographic conditions. *Antarctic Science*, 10, 134-146.

Deacon, G.R.E., 1979, The Weddell gyre. *Deep-Sea Research I*, 26, 981-995.

Defelice, D.R. and Wise, S.W., 1981, Surface lithofacies, biofacies and diatom diversity patterns as models for delineation of climatic change in the south east Atlantic Ocean. *Marine micropaleontology*, 6, 29-70.

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, A.K.S.K., 1990, *Eucampia antarctica* var. *recta* (Mangin) stat. nov. (Biddulphiaceae, Bacillariophyceae): life stages at the Weddell Sea ice edge. *Phycologia*, 29, 2738.
- Gersonde, R. Crosta, X. Abelmann, A., and Armand, L., 2005, Sea surface temperature and sea ice distribution at the EPILOG last glacial maximum - a circum-Antarctic view based on siliceous microfossil records. *Quaternary Science Reviews* 24, 869-896.
- Holm-Hansen O., Hewes, C.D., Villafane, V.E., Helbling, E.W., Silva, N., Amos, T., 1997, Distribution of phytoplankton and nutrients in relation to different water masses in the area around Elephant Island, Antarctica. *Polar biology*, 18(2), 145-153.
- Kellogg, D.E. and Kellogg, T.B., 1986, Diatom biostratigraphy of sediment cores from beneath the Ross Ice Shelf. *Micropaleontology*, 32(1), 74-94.
- Koizumi, I., 1975, Late Cenozoic diatom biostratigraphy in the Circum-North Pacific region. *Journal of Geological Society of Japan*, 81, 611-627.
- Leventer, A., 1991, Sediment trap diatom assemblages from the northern Antarctic Peninsula region. *Deep Sea Research*, 38, 1127-1143.
- Leventer, A., 1992, Modern distribution of diatoms in sediments from the George V Coast, Antarctica. *Marine micropaleontology*, 19, 315-332.
- Leventer, A. and R. B. Dunbar, 1988, Recent diatom record of McMurdo Sound, Antarctica: implications for history of sea ice extent. *Paleoceanography*, 3(3), 259-274.
- 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., Dunbar, R., DeMaster, D.J., 1993, Diatom evidence for Late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography*, 8(3), 373-386.
- Leventer, A., Domack, E., Ishman, S.E., Brachfeld, S., McClennen, C.E. and 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 American Bulletin*, 108(12), 1626-1644.
- Leventer, A., Domack, E. Barkoukis, A. McAndrews, B. and Murray, J., 2002, Laminations from the Palmer Deep: a diatom-based interpretation. *Paleoceanography*, 17(2) 10.1029/2001PA000624.
- 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, S. and de la Mare, W., 1993, Ecosystem management and the Antarctic krill. *America Science*, 81, 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.
- Orsi, A.H., Whitworth III, T. and Nowlin Jr., W.D., 1995, On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Res*, 42, 641-673.
- 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.
- Taylor, F., McMinn, A. and Franklin, D., 1997, Distribution of diatoms in surface sediments of Prydz Bay, Antarctica. *Marine Micropaleontology*, 32(3/4), 209-230.
- 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.
- 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 : 2010년 2월 17일

심 사 일 : 2010년 2월 18일

심사완료일 : 2010년 3월 15일