

서남극 브랜스필드 해협 동부 분지 내 규조군집과 홀로세 말기 기후 변동 연구

박영숙^{1,*} · 이종덕¹ · 윤호일² · 유규철²

¹전북대학교 자연과학대학 지구환경과학과

²한국해양연구원 부설극지연구소

요 약

서남극 브랜스필드 해협 동부분지에서 채취한 코어 GC00-13의 퇴적물은 주로 엽층상규조연니와 생물적으로 교란된 함규조니로 구성되어 있다. 연구 코어 퇴적물에서 채취한 59개의 시료로부터 총 28속 59종의 규조 화석을 감정하였으며, 건조 퇴적물 1 g당 산출된 규조 개체수 농도는 $0.2 \times 10^8 \sim 10.4 \times 10^8$ 로 산출되었다. 규조 개체수 농도와 *Chaetoceros* resting spores와 *Rhizosolenia styliformis*의 수직분포가 증가하는 경향을 보이는 3 구간은 온난기, 이들의 수직 분포가 감소하는 경향을 보이며 (*Fragilariopsis curta* + *F. cylindrus*)/*Thalassiosira antarctica*의 비가 증가하는 3 구간은 한랭기에 해당되어, 연구 코어 퇴적물에서는 총 퇴적 시기 동안 6 번의 기후 변동 기록을 감지하였다.

주요어: 남극, 브랜스필드 해협, 기후 변동, 엽층상규조연니

Young-Suk Bak, Jong-Deock Lee, Ho Il Yoon and Kyu-Cheul Yoo, 2007, Diatom assemblages from the eastern Bransfield Strait basin, West Antarctica: study on the late Holocene paleoclimatic fluctuations. Journal of the Geological Society of Korea. v. 43, no. 3, p. 345-352

ABSTRACT: A gravity core (GC00-13) from the eastern basin of the Bransfield Strait consists mainly of laminated diatom ooze and bioturbated diatomaceous mud. A total of 59 species and varieties belonging to 28 genera are identified from the Core GC00-13 in the eastern subbasin of the Bransfield Strait, Western Antarctica. A large number of diatom valves per gram of dry sediment is observed in GC00-13 core sediments, ranging between 0.2×10^8 and 10.4×10^8 . High concentration of the number of diatom valves per gram of dry sediment, *Chaetoceros* resting spores and *Rhizosolenia styliformis* in vertical distribution indicates open water environment with little sea-ice during the late Holocene (warm periods). The ratio of (*Fragilariopsis curta* + *F. cylindrus*)/*Thalassiosira antarctica* increase in horizons, suggesting increased sea-ice cover in the study area during the late Holocene (cold periods). As a result, six climatic fluctuations are identified on the basis of frequencies of the critical taxa throughout the GC00-13 core section.

Key words: Antarctica, Bransfield Strait, climatic fluctuations, laminated diatom ooze

(Young-Suk Bak and 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

남극반도의 브랜스필드 해협은 기후와 해양의 변화에 매우 민감하며, 지난 3,000년 동안 이 지역에서의 일차생산력은 일반적으로 감소하는 경향을 보인

다(Barcena *et al.*, 1998, 2002; Domack, 2001). 특히, 대자율, 유기탄소, 유기질소와 규질미화석의 데이터를 해석하여 보면 약 250년을 주기로 규조 산출량의 변동 폭이 매우 높았음을 알 수 있다(Leventer *et al.*, 1996; Barcena *et al.*, 1998, 2002; Domack, 2001). 브

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

랜스필드 해협에서 해빙의 분포는 계절적인 영향이 매우 강하다. 겨울철 최대 해빙의 분포는 남극반도의 57°S 까지 확장이 되고, 여름 동안에는 완전히 녹는다(NOCD, 1985). 또한, 브랜스필드 해협의 계절적인 해빙의 변화는 이 지역에 서식하는 구조류의 일차 생산 및 종조성에 커다란 영향을 미친다(Kang and Fryxell, 1993; Smith *et al.*, 1992). 구조의 분포는 수온, 염도, 광량, 영양염류 등과 해빙의 변화와 같은 환경적 요인들에 의해서 좌우되며(Defelice and Wise, 1981; Dunbar *et al.*, 1985; Leventer and Dunbar, 1996; Zielinski and Gersonde, 1997; Cunningham and Leventer, 1998), 남극 코어 퇴적물에서 풍부하게 산출되기 때문에 고위도 지역에서 제4기 말의 고기후와 고해양학적 연구에 유용하게 사용된다(Medlin and priddle, 1990; Stoermer and Smol, 1999). 따라서 본 연구는 브랜스필드 해협에서 채취한 코어퇴적물 GC00-13에서 산출된 구조미화석의 군집분석을 통하여 층준에 따른 화석군의 변화양상을 연구함으로써 퇴적 당시 고환경의 변화를 해석하고 엽층상 구조연니층에 기록된 환경 변동의 징후를 파악하고자 한다.

2. 연구지역

브랜스필드 해협은 남으로는 남극반도와 북쪽으로는 남 쉘랜드 군도(South Shetland Islands)에 의해 경계 지워진 분지 구조로서 북서 웨델 해(Weddell Sea)와 남 스코티아 해(South Scotia Sea) 사이에 있는 웨델-스코티아 수렴대(Weddell-Scotia Confluence Zone)에 위치하고 있다(Barcena *et al.*, 2006). 브랜스필드 해협 분지는 신생대 후기 동안 남 쉘랜드 군도가 남쪽의 남극반도 북단으로부터 분리되면서 생성된 배후분지(깊이 2,500 m 이상)로서 극히 짧은 지질역사(약 4백만년 전)를 가진 퇴적분지이다(Barker 1982, Barker & Dalziel 1983, Gonzalez-Ferran 1985, Parra *et al.* 1988, Gamboa and Maldonado 1990, Birkenmajer 1992, Jeffers *et al.* 1994, Maldonado *et al.* 1994). 브랜스필드 해협은 지형적 특성에 의해 SW-NE 방향으로 세 개의 소분지로 나뉜다. 서부 분지는 불규칙한 모양으로 리빙스턴 섬(Livingston Island)과 디셉션 섬(Deception Island)의 남서쪽에 놓여 있으며, 깊이가 1,000 m로

비교적 얇다. 중앙 분지는 넬슨 섬(Nelson Island)과 킹조지 섬(king George Island)의 남쪽에 위치하며 깊이가 2,000 m에 해당한다. 동부 분지는 남동쪽으로 연장되어 있으며 중앙 분지보다 좁고 깊이가 약 2,500 m에 달한다(Barcena *et al.*, 2002). 본 연구지역은 브랜스필드 해협 내 동부 분지에 속하며, 남극 수렴대(58-63°S) 내에 위치하는데 표층해류로서 벨링스하우젠 해(Bellingshausen Sea)로부터 유입되어 분지의 북동쪽으로 흐르는 비교적 따뜻한 저역의 해류와 웨델 해로부터 유입되어 남극반도의 해안선을 따라 남서쪽으로 흐르는 차고 밀도가 높은 해류, 드레이크 해협(Drake Passage)로부터 브랜스필드 분지로 유입되는 남극심층수(Circumpolar Deep Water) 등이 영향을 미치고 있다(Gordon and Nowlin, 1978; 그림 1).

3. 연구방법

연구 시료인 코어 GC00-13은 브랜스필드 동부 분지의 수심 2,200 m에서 획득되었으며, 전체 코어 길이는 약 9 m이다. 이 코어 퇴적물은 주로 엽층상구조연니(laminated diatom ooze)와 생물적으로 교란된 함구조니로 구성되어 있다. 전체 코어 GC00-13의 고환경 복원과 코어 퇴적물 내에서 구조화석의 고생물학적 분석을 위해 코어 길이 약 5 m에서 총 59개의 퇴적물 시료를 채취하였다. 이들 코어 퇴적물로부터 구조 화석 추출 실험을 하기 위하여 박영숙 외(2007)의 시료처리방법을 사용하였으며, 제작된 슬라이드를 Nikon E400 현미경을 이용하여 구조 미화석을 관찰하고 사진 촬영하였다. 또한 미세 표면 구조를 자세히 관찰하기 위해서는 시료를 만들어 Topcon ABT-32 전자주사현미경으로 관찰하였다. *Chaetoceros* resting spores의 경우 각 시료에서 200 개체만을 산정하였고 각 시료의 개체수에는 포함시키지 않았다. 그러나 특정 층준에서 폭발적으로 산출되는 구조 종의 경우에는 전체 산출 개체수에 포함시켰다.

4. 결과 및 토의

4.1 연대측정

코어 GC00-13의 표층이 시추작업 과정에서 손실되지 않았으며, 코어 채취 해역에는 퇴적물의 집적률

이 높고 안정된 퇴적환경을 보여준다. 코어 퇴적물 내에 3개 층준에서 패각 조각을 얻어 가속질량분석기(Accelerated Mass Spectrometer)를 이용한 방사선 탄소연대 측정 결과는 표 1과 같다. 남극의 해양 퇴적물에서 측정된 ^{14}C 연령은 변화폭이 크고 지역적으로 차이가 나기 때문에 절대연령을 측정하기가 쉽지 않다(Omoto, 1983; Domack *et al.*, 1989, 1995). 남극반도에서 지금까지 알려진 표층 연대는 1,200~1,300 yr B.P.이다(Berkman *et al.*, 1998). 실제로 남극해의 살아있는 생물을 대상으로 탄소연대를 측정해도 1,200~1,300 년의 연대값을 보인다(Gordon and Harkness, 1992). 따라서 일반적으로

남극해 코어퇴적물의 연대 결정을 위해 대부분 측정 연대에서 보정값인 1,200~1,300 년을 소거한 나머지 값으로 퇴적물의 연대를 결정한다. 이 코어 퇴적물에는 1,300 년의 표층 연대를 측정 연대에서 소거하여 보정된 연대를 결정하였다.

4.2 구조 군집

남극 브랜스필드 해협 분지에서 얻은 퇴적물 시료를 화학 처리하여 59개의 시료로부터 총 28속 59종의 구조화석을 감정하였다. 코어 GC00-13의 퇴적물에서 산출된 구조미화석 군집 조성을 살펴보면, *Corethron criophilum*, *Fragilariopsis kerguelensis*,

Table 1. Results of AMS ^{14}C datings of the examined cores.

Depth (cm)	Age (^{14}C yr B.P.)		Material	Lab code
	Uncorrected	Corrected ^a		
37	1,370±55	70±55	Micro-Shell	R26618/09
221	1,775±55	475±55	Micro-Shell	R26618/13
313	2,051±55	751±55	Micro-Shell	R26618/15

^a A 1300-yr correction was applied to all ages of core GC00-13. This correction appears to be justified because all of the radiocarbon ages in core CB1 increase progressively downward. This correction is also based upon the fact that the Antarctic marine reservoir effect averages 1,300 yr (Berkman *et al.*, 1998).

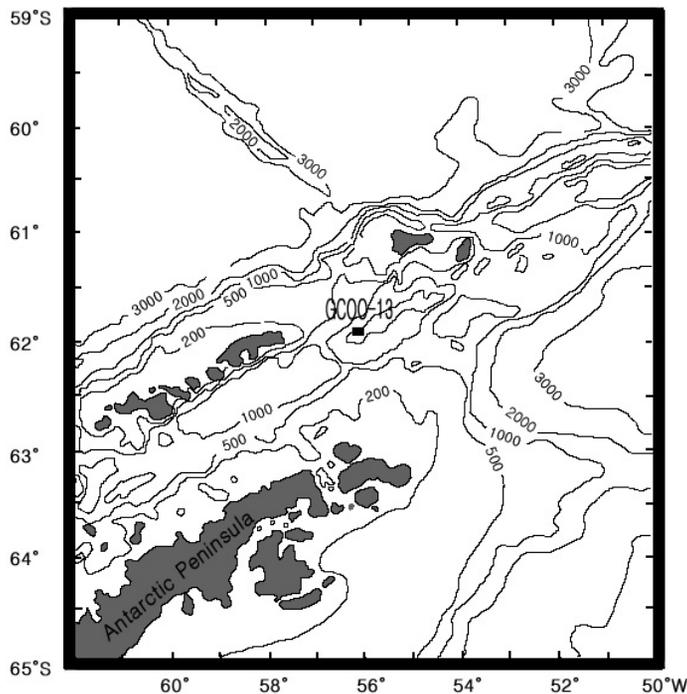


Fig. 1. Index map of Bransfield Strait in Antarctica showing the location of the core GC00-13.

Rhizosolenia spp.와 *Thalassiosira antarctica*가 전체 군집의 약 61%를 차지하여 우점하는 것으로 나타났다. 부수적으로 수반되는 종으로서 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis curta*와 *Odontella weissflogii* 등이 전 층준에 걸쳐서 꾸준히 산출되었으며 전체 군집의 약 11%를 차지하고 있다(그림 2).

일반적으로 규조 산출량의 절대값은 표층수의 생산력을 반영한다(Leventer, 1992; Scherer, 1992, 1994; Leventer *et al.*, 1993, 1996; Sjunneskog and Taylor, 2002). 연구 코어 퇴적물에서 건조 퇴적물 1 g 당 산출된 규조 개체수 농도는 $0.2 \times 10^8 \sim 10.4 \times 10^8$ 로 산출되었다. 웨델 해 지역에서 일차 생산력은 주로 해빙의 크기와 지속기간에 의해 크게 영향을 받으며 (Kang *et al.*, 2001), 해빙끝단(marginal ice edge) 외 양 환경에서 높은 일차 생산력을 보이고 여름철에 낮은 염도의 용빙수(meltwater)의 유입에 의해 안정된

수층 특성을 보인다(Buffen *et al.*, 2007; 그림 3).

Chaetoceros resting spores

특정 층준에서 폭발적인 산출을 보이는 *C. resting spores*의 산출빈도는 표층 해양의 일차 생산력의 정도를 나타낸다(Donegan and Schrader, 1972; Leventer, 1991; Stockwell, 1991). 또한 *C. resting spores*는 광량과 영양염류가 적거나 안정한 수괴에서 형성이 되며, -1℃에서 1℃의 온도범위를 갖는 해수와 연안 퇴적물에서 가장 풍부하게 산출된다. 또한 이들은 규조 대변성의 마지막 단계에서 최대 산출치를 보이며, 간빙기 동안에 산출이 증가하는 경향을 보여 준다(Leventer, 1991; Barcena *et al.*, 1998). *C. resting spores*는 연구 코어 퇴적물에서 대자울 값이 낮은 구간에서 풍부하게 산출되는 경향을 보이며, 특정 층준에서는 매우 폭발적으로 산출된다(15 cm, 2

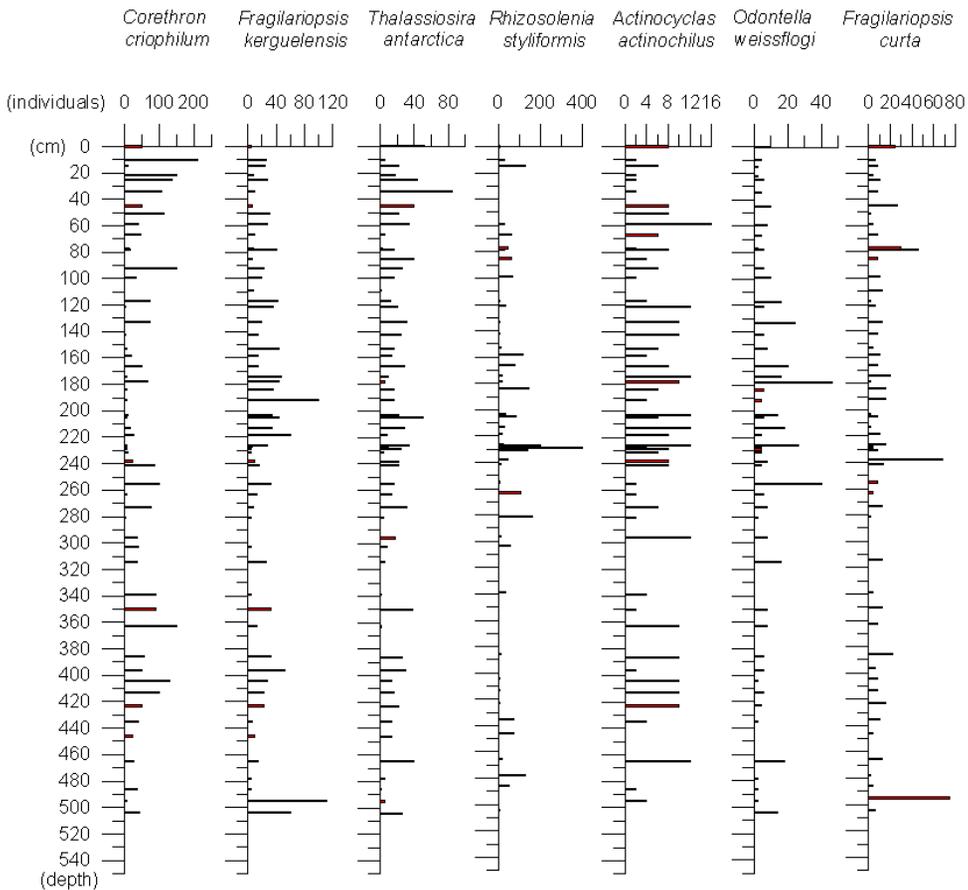


Fig. 2. Relative abundance of dominant diatoms.

5~34 cm, 51 cm, 78 cm, 192 cm, 205~226 cm, 238~241 cm, 263~273 cm, 486~504 cm)(그림 3).

(*Fragilariopsis curta*+*F. cylindrus*)/*Thalassiosira antarctica* 비

*F. curta*와 *F. cylindrus*는 일반적으로 남빙양 극전선(Polar Front)의 남쪽 지역에 제한되어 산출이 되며, 해빙의 영향을 직, 간접적으로 받는 환경에서 발견된다(Zielinski and Gersond, 1997). 또한 *F. curta*가 풍부하게 산출되는 곳은 해빙의 영향을 받은 연안지역이라고 보고되기도 하였다(Truesdale and Kellogg, 1979; Leventer and Dunbar, 1988; Leventer, 1992; Tanimura, 1992). *F. curta*의 산출 온도 범위는 -2~2°C이고 *F. cylindrus*는 -0.5~1°C에서 가장 풍부하게 산출되며, 이 두 종의 분포는 겨울철 해빙 확장에 의해서 강하게 영향을 받는다. 해빙 종인 *F. curta*는 78 cm, 238 cm, 495 cm 층준에서 다량 산출되며 *F. cylindrus*의 산출 분포는 296cm 층준에서 증가하였다. 이들은 여름동안에도 계속적으로 해빙의 영향을 받는 곳에서 다량 산출된다(Taylor et

al., 1997; Cunningham and Leventer, 1998). *T. antarctica*는 남북극 구조류로서 해빙 내에서는 발견되지 않으며, 남극해 전역에 분포하고 특히 남빙양의 공해에서 우세한 일차 생산력을 가지는 종이다(Leventer and Dunbar, 1988). 연구 코어에서는 77 cm, 109 cm, 363 cm, 495 cm 층준에서 다량 산출된다(그림 3).

Rhizosolenia styliformis

*R. styliformis*는 외양 환경에서 풍부하고 해빙환경과는 연관이 없는 종들이다(Zielinski and Gersond, 1997). *R. styliformis*가 풍부하게 산출되는 것은 높은 일차 생산력과 빠른 퇴적이 오랜 기간 동안 반복된 결과이다(Tang and Stott, 1993; Sancetta, 1994). 연구 코어 GC00-13의 전 층준에 걸쳐서 꾸준히 산출되는 종으로 15 cm, 67 cm, 85 cm, 99 cm, 158~166 cm, 184 cm, 205 cm, 227~231 cm, 263 cm, 281 cm, 303 cm, 435~446 cm, 478~486 cm 층준에서 다량 산출한다(그림 3).

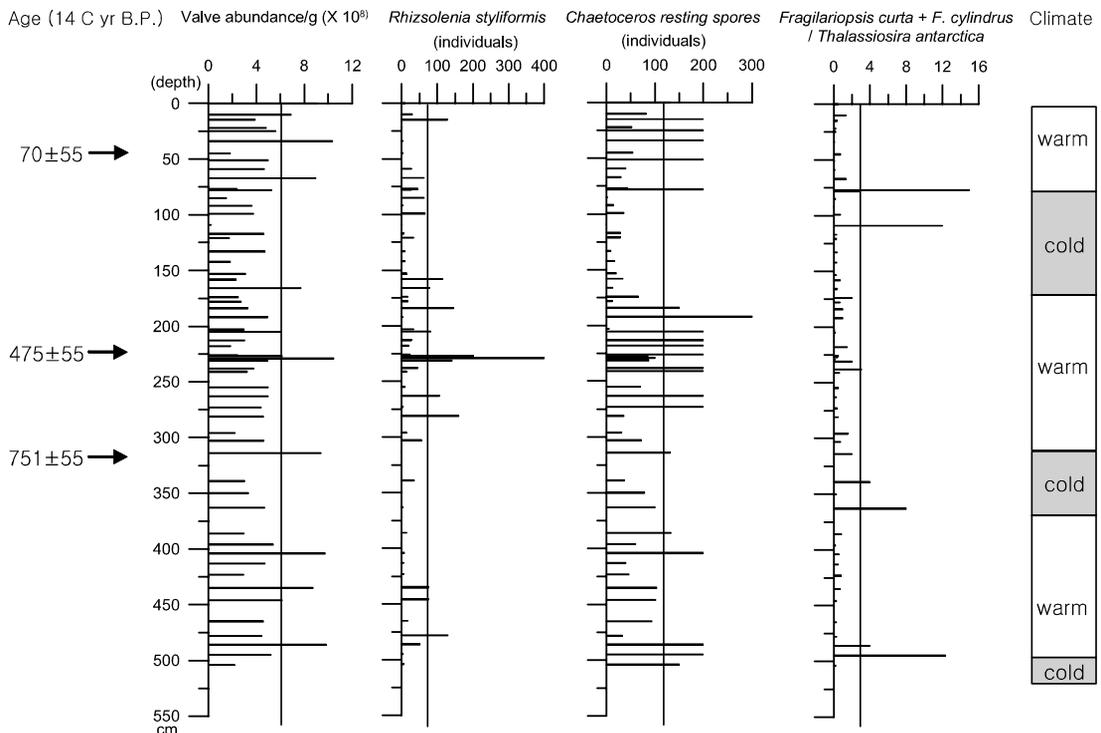


Fig. 3. Vertical distribution of diatom species indicating paleoclimate changes.

4.3 규조 군집과 고기후 변동

규조 개체수 농도와 *C. resting spores*, (*F. curta*+*F. cylindrus*)/*T. antarctica* 비, *R. styliformis*의 산출량을 비교한 결과 6번의 기후 변동을 알 수 있었다 (그림 3). 코어 구간 0~77 cm, 166~314 cm 및 386~495 cm은 온난기에 해당한다. 이 시기는 규조 개체수 농도, *R. styliformis*와 *C. resting spores*의 산출이 증가하는 구간으로서 규조의 고생산력(high-productivity)은 따뜻한 기후환경과 해빙의 축소를 의미하며, 상대적인 광량의 증가로 인해 해빙의 면적이 감소함에 따라 *R. styliformis*가 대번식을 일으키게 되어 개체수가 증가하고, 연구지역의 기후적인 변화를 퇴적물에 기록하게 되었음을 의미한다. 또한 화석 기록에서 *C. resting spores*의 풍부한 산출은 매우 높은 일차 생산력을 지시하는 것으로 해석된다 (Leventer *et al.*, 1996). 온난기 구간과 대조적인 한랭기는 코어 구간 77~166 cm, 314~386 cm 및 495~504 cm에서 나타난다. (*F. curta*+*F. cylindrus*)/*T. antarctica* 비가 폭발적으로 증가하는 구간으로서 규조 개체수 농도, *R. styliformis*와 *C. resting spores*의 산출이 상대적으로 감소한다. (*F. curta*+*F. cylindrus*)/*T. antarctica* 비의 증가는 해빙 용빙수의 감소를 나타내므로(Leventer *et al.*, 1996), 이들 구간에서는 해빙의 용빙수 유입보다는 여름철에도 해빙이 확장되었던 추운 환경이었던 것으로 해석된다.

Barcena *et al.* (1998)은 브랜스필드 해협에서 규조와 방산충 미화석을 이용하여 홀로세의 빙기 주기를 연구한 결과, *F. curta*와 *F. cylindrus*와 같은 해빙종이 증가하고 외양종인 *T. antarctica* 등이 감소하는 경향을 보이는 가장 추운 신빙하기(Neogacial Period) 동안에는 해빙이 넓게 확장되어 있었으며, 이 시기에는 웨델 해, 벨링스하우젠 해와 브랜스필드 해협 분지 사이의 소통이 제한되어 있을 것이라고 제안하였다. 또한 이러한 주기는 태양 활동주기(200년)와 관련된 약 200~300 년의 주기를 나타내며, 전 지구적인 기후 변동으로 해석할 수 있다고 하였다. 코어 GC00-13의 퇴적물 분석 결과 거의 천년 사이에 6 번의 기후 변동이 있었으나, Barcena *et al.* (1998)의 제안처럼 약 200 년을 주기로 관찰하여 볼 때 규조 종들의 산출 패턴이 규칙적으로 나타나지는 않았다. 또한, 이와 같은 연구 결과를 소빙하기(Little Ice Age)와 중세온난기(Medieval warm period)와 같은 홀

로세 후기의 신빙하기와 비교 해석을 하기 위해서는 보다 많은 자료의 축적이 필요하다.

5. 결 론

남극 브랜스필드 해협의 동부 분지에서 채취한 코어 GC00-13의 퇴적물로부터 규조 미화석을 연구한 결과, 총 28속 59종이 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 0.2×10^8 - 10.4×10^8 로 보존상태가 매우 양호 하였다. 규조 개체수 농도와 *C. resting spores*, (*F. curta*+*F. cylindrus*)/*T. antarctica* 비, *R. styliformis*의 수 직분포 변화를 살펴보면, 3 번의 온난기(0~77 cm, 166~314 cm 및 386~495 cm)와 3 번의 한랭기(77~166 cm, 314~386 cm 및 495~504 cm)로 총 6 번의 기후 변동 기록을 보여준다. 특히 한랭기 동안에 증가하는 (*F. curta*+*F. cylindrus*)/*T. antarctica* 비는 해빙의 확장으로 웨델 해, 브랜스필드 해협, 벨링스하우젠 해 사이의 소통이 원활하지 못해서 상대적으로 해빙종의 산출이 증가하였기 때문에 나타난 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 기본과제 사업(PE07010)의 일환으로 연구비를 지원받아 수행되었다. 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 규조 군집. 지질학회지, 43(1), 33-42.
- 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
- Barcena, M.A., Isla, E., Plaza, A., Flores, J.A., Sierro, F.J., Masque, P., Sanchez-Cabeza, J.A. and Palanques, A., 2002, Bioaccumulation record and its relation with paleoclimatic evolution in the western Bransfield Strait. Deep-Sea Reserch II, 49(4-5), 935-950.

- Barcena, M.A., Fabres, J., Isla, E., Flores, Sierro, F.J., Canals, M. and Palanques, A., 2006, Holocene neoglacial events in the Bransfield Strait (Antarctica). Paleooceanographic and palaeoclimatic significance. *Scientia Marina*, 70(4), 607-619.
- Barker, P.F., 1982, The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula. Ridge crest-trench interactions. *Journal of Geological Society of London*, 139, 787-801.
- Barker, P.F. and Dalziel, I.W.D., 1983, Progress in geodynamics in the Scotia Arc region. Caribbean and Scotia Arcs. AGU, Denver, 137-170.
- Berkman, P.A., Andrew, J.T., Bjorck, S., Colhoun, E.A., Emslis, S., Goodwin, I.D., Hall, B.L., Hart, C.P., Hirakawa, K., Igarashi, A., Ingolfson, O., Lopez-Martinez, J., Lyons, W.B., Mabin, M.C.G., Quilty, P.G., Taviani, M. and Yoshida, Y., 1998, Circum-Antarctic coastal environmental shifts during the Late Quaternary reflected by emerged marine deposits. *Antarctic Science* 10, 345-362.
- Birkenmajer, K., 1992, Evolution of the Bransfield basin and rift, west Antarctica. Recent progress in Antarctic Earth Sciences. TERRAPUB, Tokyo, 405-410.
- 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(1), 7-30.
- 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.
- 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.
- Domack, E.W., 2001, Holocene record from the Antarctic Peninsula: 200 to 1800 year oscillations. GSA Annual Meeting, November 5-8.
- Domack, E.W., Jull, A.J.T., Anderson, J.B., Linick, T.W. and Williams, C.R., 1989, Application of tandem accelerator mass-spectrometer dating to Pleistocene-Holocene sediments of the East Antarctic continental shelf: *Quaternary Research*, 31, 277-287.
- Domack, E.W., Ishman, S.E., Stein, A.B., McClennen and Jull, A.J.T., 1995, Late Holocene advance of the Muller Ice Shelf, Antarctic Peninsula: Sedimentologic, Paleontologic and Geochemical evidence. *Antarctic Science*, 7, 159-170.
- Donegan, D. and Scharader, H., 1972, Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the central Gulf California. *Marine geology*, 48; 215-237.
- Dunbar, R.B., Anderson, J.A., Domack, E.W. and Jacobs, S.S., 1985, Oceanographic influences on sedimentation along the Antarctic continental shelf, in *Oceanology of the Antarctic Shelf*, Antarctic Research Series, 43, edited by Jacobs, S.S., 291-312, AGU. Washington, D.C.
- Jeffers, J.D., Anderson, J.B. and Lawver, L.A., 1994, Evolution of the Bransfield basin, Antarctic Peninsula. In: M. R.A. Thomson, J. A. Crame and J.w. Thomson (Editors), *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge, 481-485.
- Gamboa, L.A. and Maldonado, R., 1990, Geophysical investigations in the Bransfield Strait and in the Bellingshausen Sea-Antarctica. *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology*, 31, 127-141.
- Garcia, M.A., Castro, C.G., Rios, A.F., Doval, M.D., Roson, G., Gomis, D. and Lopez, O., 2002, Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Research II*, 49, 585-602.
- Gonzalez-Ferran, O., 1985, Volcanic and tectonic evolution of the northern Antarctic Peninsula-Late Cenozoic to Recent. *Tectonophysics*, 144, 389-409.
- Gordon, A.L. and Nowlin, W.D., 1978, The basin waters of the Bransfield Strait. *Journal of Physical Oceanography*, 8, 258-264.
- Gordon, J.E. and Harkness, D.D., 1992, Magnitude and geographic variation of the radiocarbon content in Antarctic marine life: Implications for reservoir corrections in radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews*, 11, 696-708.
- Kang, S.H. and Fryxell, G.A., 1993, Phytoplankton in the Weddell Sea, Antarctica: Composition, abundance and distribution in the water-column assemblages of the marginal ice-edge zone during austral autumn. *Marine Biology*, 116, 335-348.
- Kang, S.H., Kang, J.S., Lee, S., Chung, K.H., Kim, D. and Park, M.G., 2001, Antarctic phytoplankton in the marginal ice zone of the northwestern Weddell Sea. *Journal of Plankton Research*, 23(4), 333-352.
- 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, 18,489-18,500.
- Leventer, A., Dunbar, R., DeMaster, D.J., 1993, Diatom evidence for Late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography*, 8, 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.
- Maldonado, A., Larter, R.D. and Aldaya, F., 1994, Forearc tectonic evolution of the South Shetland Margin, Antarctic Peninsula. *Tectonic*, 13, 1345-1370.
- Medlin, L. and Priddle, J., 1990. *Polar Marine Diatoms*. British Antarctic Survey, Cambridge. 214.
- NOCD (National Oceanography Command Detachment), 1985, Naval Oceanography Command Detachment, Asheville. *Sea Ice Climatic Atlas 1: Antarctic*.
- Omoto, K., 1983, The problem and significance of radiocarbon geochronology in Antarctica. in Oliver, R.L., James, P.R. and Jago, J.B., eds, *Antarctic Earth Sciences*: Canberra, Australia Academy of Science, 450-452.
- Parra, J. C., Yanez, G. and USAC working Group, 1988, Aeromagnetic survey of the Antarctic Peninsula and surrounding seas: integration of the data obtained at different altitudes. *Serie Cientifica del Instituto Antartico Chileno*, 38, 118-131.
- Sancetta, C., 1994, Mediterranean sapropels: Seasonal stratification yields high production and carbon flux: *Paleoceanography*, 9, 195-196.
- Scherer, R.P., 1992, Diatom paleoproductivity and sediment transport in Western Antarctic basins and the Neogene history of the West Antarctic Ice Sheet. Ph.D. dissertation, Ohio State University, 272pp.
- 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, 171-179.
- Sjunneskog, C. and Taylor, F., 2002, Postglacial marine diatom record of the Palmer Deep, Antarctic Peninsula (ODP LEG, 178, Site 1098)I: total diatom abundance. *Paleoceanography*, 17(3), 8003.
- Smith, R. C., Prezelin, B., Baker, K.S., Bidigare, R., Boucher, N.P., Coley, T., Karentz, D., MacIntyre, S., Matlick, H.A., Menzies, D., Ondrusek, M., Wan, Z. and Waters, K.J., 1992, Ozone depletion: Ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters. *Science*, 255, 952-959.
- Stockwell, D.A., 1991. Distribution of *Chaetoceros* resting spores in the Quaternary sediments from Leg 119. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 119:599-610.
- Stoermer, E.F. and Smol, J.P., 1999. *The Diatom: Application for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, 469.
- Tang, C.M. and Stott, L.D., 1993, Seasonal salinity changes during Mediterranean sapropel deposition 9000 years B.P.: Evidence from isotopic analyses of individual planktonic foraminifera: *Paleoceanography*, 8, 473-493.
- 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.
- Tanimura, Y., 1992, Distribution of diatoms in surface sediments of Lutzow Holm Bay, Antarctica. In: Ishizaki, K., Saito, T.(eds.), *Centenary of Japan Micropaleontology*, 399-411.
- Truesdale, R.S. and Kellogg, T.B., 1979, Ross Sea diatoms: modern assemblage distribution and their relationship to ecologic, oceanographic and sedimentary conditions. *Marine Micropaleontology*, 4, 13-31.
- 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 : 2007년 8월 13일

심 사 일 : 2007년 8월 21일

심사완료일 : 2007년 9월 14일