

남극 브랜스필드 해협 코어퇴적물의 고해상 구조 분석

박영숙^{1,*} · 유규철² · 이종덕¹ · 윤호일³¹전북대학교 지구환경과학과²서울대학교 지구환경과학부³한국해양연구원 부설 극지연구소 극지기후센터

요 약

고온·저염의 벨링스하우젠 해수와 저온·고염의 웨델 해수의 영향을 받는 남극반도의 브랜스필드 해협 내 동 부분지에서 박스 코어 BC02-EB03을 획득하였다. 이 코어에 나타난 고해상의 엽충리 퇴적물을 채취하여 정량 구조분석을 한 결과 $8.6\sim 22.0\times 10^7/g$ 이 산출되었다. 구조 군집의 산출양상과 대자율에 의하여 연구 코어를 상부 (0~22 cm)와 하부 퇴적상(22~60 cm)으로 나누었으며, 하부 퇴적상에서 *Chaetoceros* resting spores, *Rhizosolenia styliformis*, *Corethron criophilum*과 *Odontella weissflogii* 등의 대변성을 인지하였다. 이는 남극 여름과 가을 사이에 빙봉 주변 용빙수의 유입에 의한 표층수의 성층화와 연관된 특정 구조종이 엽충리를 형성하는 것으로 생각된다. 상부 퇴적상에서는 상대적으로 특정 구조종과 개체수 농도가 감소하는데, 이는 최근 남극반도의 급격한 지역 온난화로 육성 퇴적물이 상대적으로 감소하고 특정종이 감소하는 것으로 사료된다.

주요어: 브랜스필드 해협, 구조군집 분석, 대변성, 온난화

Young-Suk Bak, Kyu-Cheul Yoo, Jong-Deock Lee and Ho Il Yoon, 2009, High-resolution diatom analysis of a core sediment in the Bransfield strait, Antarctica. Journal of the Geological Society of Korea. v. 45, no. 1, p. 1-8

ABSTRACT: A box core BC02-EB03 obtained in the eastern basin of the Bransfield Strait (West Antarctica) shows high-resolution laminated layers of diatom ooze sediments. The basin is influenced by the warm and less saline Bellingshausen Sea water and the cold and saline Weddell Sea water. The range of diatom valves per gram of dry sediment was from 8.6 to 22.0×10^7 in quantitative diatom assemblage analysis. Two facies (upper and lower units) are divided upon the basis of frequency of the diatom taxa and magnetic susceptibility values. The lower unit (22~60 cm) is characterized by the lower magnetic susceptibility and higher number of diatom valves per gram sediment. It contains diatom mass influx of *Chaetoceros* resting spores, *Corethron criophilum*, and *Rhizosolenia styliformis* which are associated with the stratification of surface water of ice-shelf's edge by the increased meltwater between austral summer and fall. Meanwhile, the upper unit (0~22 cm) displays relative decrease of critical species and lower diatom abundances according to the relative increase of terrigenous supply during modern warming which reflects the rapid regional warming of the Antarctic Peninsula.

Key words: Bransfield Strait, diatom assemblage analysis, diatom mass influx, regional warming

(Young-Suk Bak and Jong-Deock Lee, Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea; Kyu-Cheul Yoo, School of Earth and Environmental Sciences, Ho Il Yoon, Korea Polar Research Institute, Songdo TechnoPark, 7-50 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon 406-840, Korea)

1. 서 론

남극반도의 브랜스필드 해협(Bransfield Strait)은 기후와 해양의 변화에 매우 민감하며, 계절적으로 봄과 여름동안 식물성 플랑크톤의 대변성이 일어나는 높은 생산력을 가진 곳이다, 지난 3000년 동안 이 지

역에서의 일차생산력은 일반적으로 감소하는 경향을 보이며, 이러한 일차 생산력의 변화는 주로 해빙의 분포와 표층수의 안정성, 성층화에 의해 영향을 받는다(Bárcena *et al.*, 1998, 2002; Domack, 2001). 브랜스필드 해협에서 식물성 플랑크톤의 대변성은 주로 겔라쉬 해협(Gerlache Strait)과 벨링스하우젠

* Corresponding author: +82-010-9740-8804, E-mail: sydin@chonbuk.ac.kr

해(Bellingshausen Sea)로부터 운반된 북동 표층수에 의해 영향을 받는다 (Basterretxea and Artistegui, 1999). 여름동안의 일차 생산력은 빈영양 상태에서부터 높은 클로로필 농도를 가진 용승류에 이르기까지 다양한 해수 환경에 영향을 받는다(Holm-Hansen and Mitchell, 1991; Basterretxea and Artistegui, 1999; Figueiras *et al.*, 1999).

Karsten (1905-07)과 Van Heurck (1909), Heiden and Kolbe (1928)의 연구를 선두로 브랜스필드 분지를 포함한 남극 반도의 여러 지역에서 구조에 대한 연구가 계속되어 왔다. 구조 군집의 분포 및 구조 종과 해빙의 관계, 퇴적기록에서의 구조에 대한 연구(Hasle 1965, 1969; Kozlova, 1966; Hargraves, 1968; Fenner *et al.*, 1976; Gersonde, 1986; Fryxell *et al.*, 1988; Klöser, 1990; Abelmann and Gersonde, 1991; Leventer, 1991; Scharek, 1991; Zielinski and Gersonde, 1997; Bárcena *et al.*, 1998; Bárcena *et al.*, 2006)가 매우 다양하게 이루어졌으며, 이들의 연구에 의하여 구조 군집이 고해양학적 변화(해빙의 확장, 일차 생산력 및 수괴의 변화)를 지시하는데 매우 유용하게 사용되어 왔다. 따라서 본 연구는 브랜스필드 해협에서 채취한 박스코어 퇴적물 BC02-EB03을 고해상도로 구조의 군집 분석 실시하여 층준에 따른 화학군의 변화양상을 연구함으로써, 퇴적층서에 기록된 환경 변동의 징후를 파악하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구 방법

브랜스필드 해협은 크기가 50,000 km² 로서 남으로는 남극반도와 북쪽으로는 남쉐틀랜드 군도에 의해 경계가 지워지며, 지형적 특성에 의해 남서-북동 방향으로 세 개의 소분지가 존재한다(Lopez *et al.*, 1999). 이들 분지는 수심 1,000 m 이하의 얇은 해저실(submarine sill)에 의해서 각각 분리되어 있으며 북동쪽으로 갈수록 깊어지는 경향을 보인다(Bahk *et al.*, 2003)(그림 1). 브랜스필드 해협의 표층수 순환은 벨링스하우젠 해로부터 유입되어 분지의 북동쪽으로 흐르는 비교적 고온·저염의 해류와 웨델 해로부터 유입되어 남극반도의 해안선을 따라 남서쪽으로 흐르는 저온·고밀도의 해류에 의해 주로 영향을 받는다(Niiler *et al.*, 1991; Lopez *et al.*, 1999). 또한 드레이크 해협(Drake Passage)로부터 브랜스필드 해협으로 유입되는 남극순환수(Antarctic Circumpolar Current)와 남극순환심층수(Circumpolar Deep Water)가 분포하는 지역이다(Whitworth *et al.*, 1994). 연구 대상인 BC02-EB03 박스 코어 퇴적물은 브랜스필드

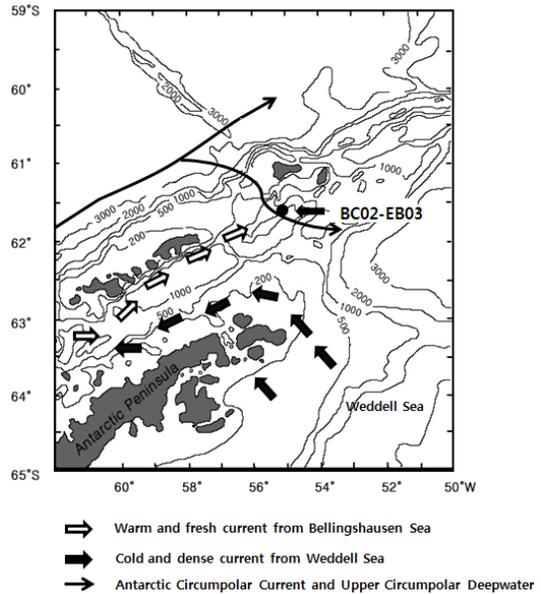


Fig. 1. Location map of the study area with coarse-scale bathymetry in Bransfield Strait, Antarctica.

동부분지 내 수심 2,200 m에서 채취되었다. 주로 검정색의 구조연니층(pelagic sediment)과 암회색의 육성기원 퇴적물(hemipelagic sediment)이 교호하는 퇴적양상을 보이며, 고해상으로 구조를 분석하기 위하여 전체 코어 길이 총 60 cm인 BC02-EB03 박스 코어 퇴적물을 각 2 cm 간격으로 총 30개의 시료를 채취하였다. 이들 코어 퇴적물로부터 구조 화학 추출 실험을 하기 위하여 박영숙 외(2007)의 시료처리방법을 사용하였으며, 절대량의 계산은 아래의 계산식을 사용하였다(Scherer, 1994).

$$\text{Abundance} = ((A \times B) / (C \times D)) / E$$

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

3. 결 과

3.1 구조군집분석

남극 브랜스필드 해협으로부터 획득한 박스 코어 퇴적물 BC02-EB03로부터 총 29속 62종의 구조가 감정되었으며, 구조 개체수 농도는 건조 중량 1 g당 8.6~22.0×10⁷의 범위로 관찰되었다. 산출된 구조미

화석 군집 조성을 살펴보면 우점종으로서 *Actinocyclus actinochilus*, *Corethron criophilum*, *Fragilariopsis curta*, *F. kerguelensis*, *Odontella weissflogii*, *Rhizosolenia styliformis*와 *Thalassiosira antarctica*가 전체 군집의 65%를 차지하였다. 부수적으로 수반되는 종으로서 *Thalassiosira gracilis*, *T. lentiginosa*와 *Thalassionema nitzschioides* 등이 전 층준에 걸쳐서 꾸준히 산출되었으며 전체 군집의 11%를 차지하고 있다. *Chaetoceros resting spores*의 산출은 전체적인 산출 개수에 산정하지 않았으며 전체 층준에서 풍부하게 산출이 되었으나 25 cm 층준에서 가장 폭발적으로 산출이 되었으며 43 cm 이하의 하부 층준에서는 상부 층준보다 상대적으로 더 풍부하게 산출되었다(그림 2).

또한, 전체적인 산출이 꾸준하면서도 특정한 층준에서 폭발적으로 증가하는 산출양상을 보이는 종으로서 *C. criophilum* (23 cm), *F. curta* (25 cm), *O. weissflogii* (19 cm)와 *R. styliformis* (47 cm)가 산출되었다. 특히, *C. resting spores*는 하부 퇴적상의 25 cm 층준에서 가장 폭발적으로 증가하였으며 43 cm, 47 cm, 51 cm와 55 cm 층준에도 매우 풍부하게 산출이 된다(그림 3).

3.2 X-선 촬영, 대자율 및 구조 개체수 농도

X-선 사진 관찰, 대자율 및 구조군집 분석을 통해 크게 상부 퇴적상(upper unit: 0~22 cm)와 하부 퇴적상(lower unit: 22~60 cm)으로 구분된다. X-선 촬영 결과, 전체 코어에서 22 cm 층준을 경계로 하부 퇴적상에 구조연니층(흰색)과 육원성퇴적물(검정색)의 교호층이 뚜렷하며, 상부 퇴적상은 거의 검정색의 육원성 퇴적물로 구성되어 있다. 대자율 값은 상부 퇴적상(79.4~112.3 cgs)보다 하부 퇴적상에서 상대적으로 낮은 값(17.9~98.5 cgs)을 보이고 값의 변동이 매우 심하게 나타난다. 구조 개체수 농도는 대자율 변화와는 반대로 하부 퇴적상에서 산출율(8.6~22.0 × 10⁷/g)이 상대적으로 높았으며, 상부 퇴적상에서는 낮은 산출율(8.7~12.0 × 10⁷/g)을 보인다(그림 3).

3.3 퇴적상과 구조종의 특성

Chaetoceros resting spores: 일반적으로 *C. resting spores*는 용빙수의 유입에 의해 이루어진 안정되고 성층화된 해수에서 풍부하게 산출이 되며, 염분이나 질소의 부족에 의해서 해빙단(sea-ice edge) 부근에서 휴면포자를 형성하게 된다(Leventer, 1991, 1992; Crosta *et al.*, 1997). 또한 해빙에서 겨울을 나고, 봄

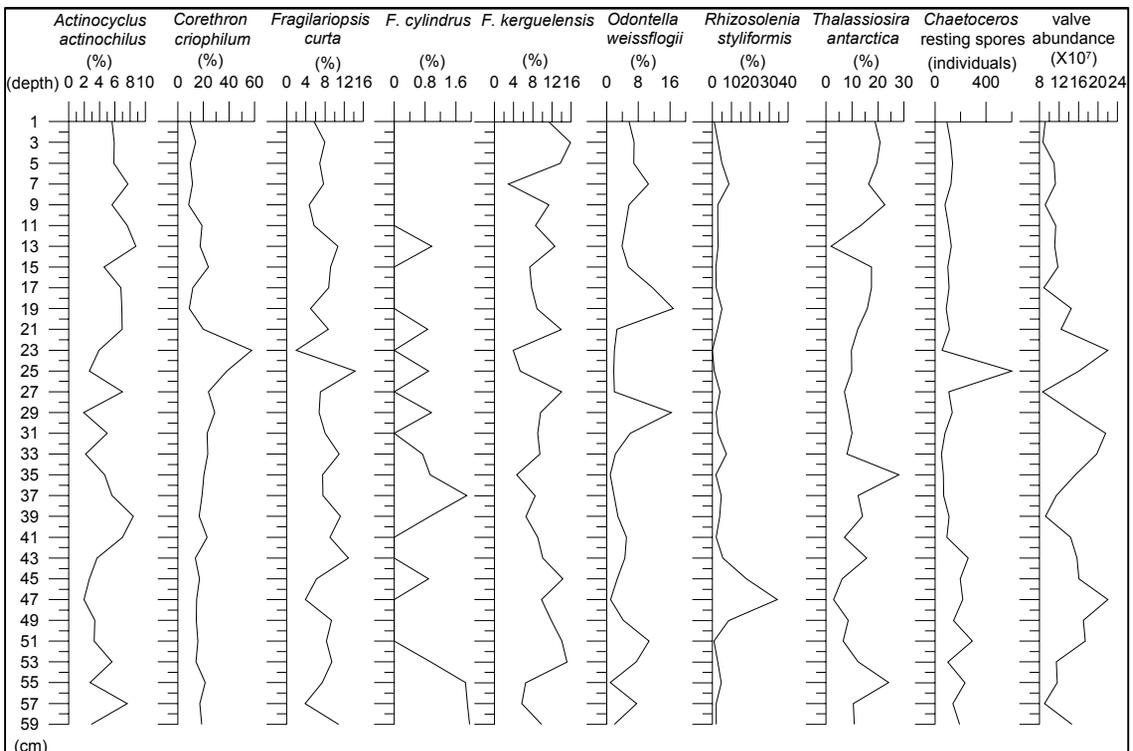


Fig. 2. Vertical distribution of the dominant taxa from BC02-EB03.

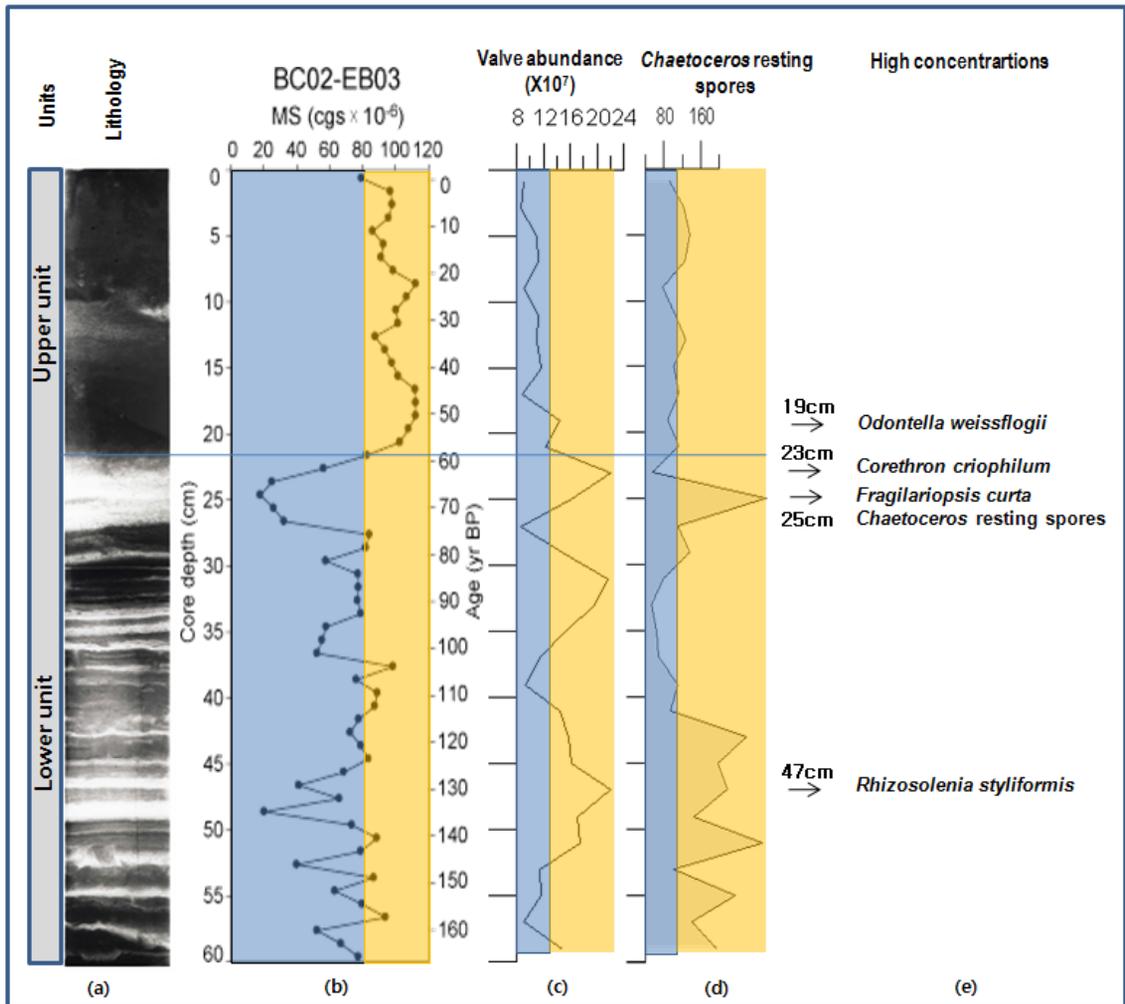


Fig. 3. Diatom analysis of core BC02-EB03. (a) Units and Lithology. (b) Magnetic susceptibility. (c) Number of valves per gram of sediment. (d) individuals of *Chaetoceros* resting spores. (e) High concentrations of the species.

철 용융이 일어나서 성장에 좋은 환경이 형성될 때 용융대에서 봄철 번성이 일어난다. 하부 퇴적상에서 BC02-EB03 코어 퇴적물 전반에서 다량 산출되는 *C. resting spores*가 25 cm 층준에서 폭발적인 대변성을 일으키고 43 cm 이하의 하부 층준에서 상부보다 상대적으로 풍부하게 산출된다.

Corethron criophilum: 하부 퇴적상의 23 cm 층준에서 최대변성을 보이는 *C. criophilum*은 해빙과 관계없는 공해(open water)를 선호한다. 남대서양의 극전선(polar front) 지역에서 1992년 봄철동안 *C. criophilum*의 번성을 기록하였으며, *C. resting spores*의 번성 후에 따라오는 *C. criophilum*의 번성은 따뜻한 외해수의 유입을 제시해준다(Crawford *et al.*,

1997).

Rhizosolenia styliiformis: 하부 퇴적상의 47 cm 층준에서 폭발적인 번성을 보이는 *R. styliiformis*는 $-1 \sim +12^\circ\text{C}$ 까지 생존 온도범위가 넓으며, 공해에서 풍부하여 해빙 환경과는 연관이 없는 종이다(Zielinski and Gersond, 1997). 또한, *R. styliiformis* 산출은 여름철동안 성장한 규조들의 가을철 대량 퇴적을 의미한다(Bahk *et al.*, 2003).

Fragilariopsis cylindrus: 연구 코어에서 *F. cylindrus*은 하부 층준에서 적지만 꾸준히 산출 되다가 22 cm 이상의 상부 층준에서는 13 cm 층준을 제외하고는 발견되지 않는다. *F. cylindrus*는 양극종으로서, 남극에서는 연안에서 근해까지 넓게 분포한다(Zielinski

and Gersonde, 1997). 특히, 해빙의 영향을 받는 연안지역과 겨울철 해빙단 부근에서 풍부하게 산출된다. 최근 Von Quillfeldt (2004)는 *F. cylindrus*가 해빙이 존재하지 않는 차가운 해수에서도 풍부하게 산출된다고 보고 하였다.

Fragilariopsis curta: 공해역 퇴적물에서 산출되는 *F. curta*는 과거 해빙의 범위를 지시해 주지만(Burckle et al., 1987; Pichon et al., 1992), 정착빙(fast ice)과 유빙(pack ice)에서 풍부하게 산출되며 성층화된 해역에서 용빙수 공급의 지시자로서도 매우 유용하다(Garrison et al., 1987, Leventer and Dunbar 1987, 1988, 1996, Cunningham and Leventer, 1998). 연구 코어의 전 구간에서 연속적으로 산출이 되나 하부 퇴적상에서 상대적으로 약간 풍부하며 25 cm 층준에서 가장 많이 산출된다.

Odontella weissflogii: *O. weissflogii*는 전형적인 여름철 남극종(Pike et al., 2008)으로서 연구 코어에서는 19 cm, 29 cm와 51 cm 층준에서 번성을 이룬다.

Thalassiosira antarctica: *T. antarctica*는 일반적으로 해빙(sea-ice)과는 밀접한 관계가 없다고 보고되어 있지만 때로는 대륙주변부 해빙단(marginal ice edge) 환경의 공해에서 일차 생산자로서 매우 중요하며(Leventer and Dunbar, 1987, 1988, 1996; Fryxell and Kendrick, 1988; Leventer, 1992; Leventer et al., 1993; Taylor et al., 1997), 연안 해빙과 소규모 판상 빙하(platelet ice)들이 떠다니는 환경에서도 산출이 된다(Hasle and Heimdal, 1968; Villareal and Fryxell, 1983; Smetacek et al., 1992; Gleitz et al., 1996). *Thalassiosira antarctica*의 산출이 전체 층준에서 풍부하게 산출이 되지만, 13 cm 층준을 제외한 상부 퇴적상에서 하부 퇴적상보다 상대적으로 약간 높은 산출량을 보인다.

4. 토 의

코어 퇴적물 BC02-EB03이 퇴적되는 동안 계절적인 변화가 계속되어 왔지만 하부 퇴적상에서 상부 퇴적상보다 그 변화의 폭이 다양하게 나타난다. 이를 보면 봄철 대번성을 나타내는 *C. resting spores*가 하부 퇴적상에서 상대적으로 많이 산출되고 해빙종인 *F. cylindrus*가 꾸준히 산출된다. *C. resting spores*, *C. criophilium*, *R. styliformis*와 *O. weissflogii* 등이 하부 퇴적상의 특정한 층준에서 높은 증가를 보이는 것은 계절적인 변화에 따라 이 특정종들이 빙봉 주변에서 대번성하고 용빙수의 유입으로 잘 성층화된 수괴(well-stratified water column)에서 응집에 의하여 해저로 빠르게 침전되어 엽층리(laminations)를

형성하는 것으로 보인다. 특히, 번성종들의 산출이 규질 연니층에서 잘 나타나는 것은 이를 뒷받침해준다. 또한 *C. resting spores* (25 cm 층준)의 대번성 후에 나타나는 *C. criophilium* (23 cm 층준)의 대번성은 공해에서 따뜻한 해류(open water current)의 유입을 지시해 주므로 22 cm 층준을 경계로 하부 퇴적상보다 상부 퇴적상이 좀 더 따뜻한 환경으로 변화했음을 알 수 있다. 이는 그림 3에서 나타난 절대 연령 값과 비교 해볼 때 약 59년 전 정도에 해당한다. 그러나 상부 퇴적상의 경우 구조균집에 미치는 기후 변동이 하부 퇴적상보다 미약하게 나타나는데 이는 따뜻해지는 기후로 인하여 퇴적물의 유입이 증대됨에 따라 구조 균집의 농도가 약해지고 계절변화에 따른 폭발적인 대번성이 줄어들었기 때문으로 생각된다(그림 4).

브랜스필드 해협의 동부 분지에 기록된 최근 온난화 경향은 최근 지역온난화의 대표적인 남극반도의 환경 변화(식생 분포의 확장, 빙하 후퇴 및 계절적인 적설량의 감소 등)와 일치한다. 남극반도의 패러데이 기지(Faraday Station)의 기상 관측 결과 지난 50년간 약 2.5°C의 증가를 보여주는데, 이는 지구 평균의 약 6 배에 해당한다(Jone et al., 1993). 남극반도의 빙하 코어에서도 지난 50년 동안 기온의 증가를 보여주는데, 지난 500년 동안의 어떤 시기와 비교해도 최근 온난화는 드문 결과이다(Thompson et al., 1994). 이는 연구 결과와도 잘 일치하나 남극반도 주변의 여러 기상 자료들의 기간(최장 103년의 오카다스 기지 자료)이 짧고 종합적인 기상 관측은 수십 년에 불과하기 때문에 이러한 변화에 대한 원인을 추정하기는 어렵다.

하부 퇴적상에 비해 상부 퇴적상의 상대적인 육성기원 퇴적물의 증가(그림 3의 X-선 촬영 사진)는 기후 변동과 연관되어있는 것으로 보인다. 생산력과 용빙수 퇴적의 상대적인 역할이 기후 변동에 의해 유도되었는지 아닌지는 여전히 의문이 남아있을지라도 연직 퇴적량이 증가하는 추세이다. 상부 퇴적상의 해빙종의 감소는 연간 해빙 분포의 감소 경향(Jacobs and Comiso, 1993)과 일치한다. 최근 온난화에 따른 해양 환경을 잘 이해하기 위해서는 남동위원소 분석을 통한 정확한 연대 추정이 절대적으로 필요하며, 이 지역온난화의 원인을 밝히기 위해서는 다른 프록시 자료의 추가적인 분석도 필요하다.

5. 결 론

남극 브랜스필드 해협 내 동부분지에서 채취한 코어 퇴적물 BC02-EB03으로부터 총 29속 62종의 구조 미화석을 감정하였으며, 구조 개체수 농도는 건조 중

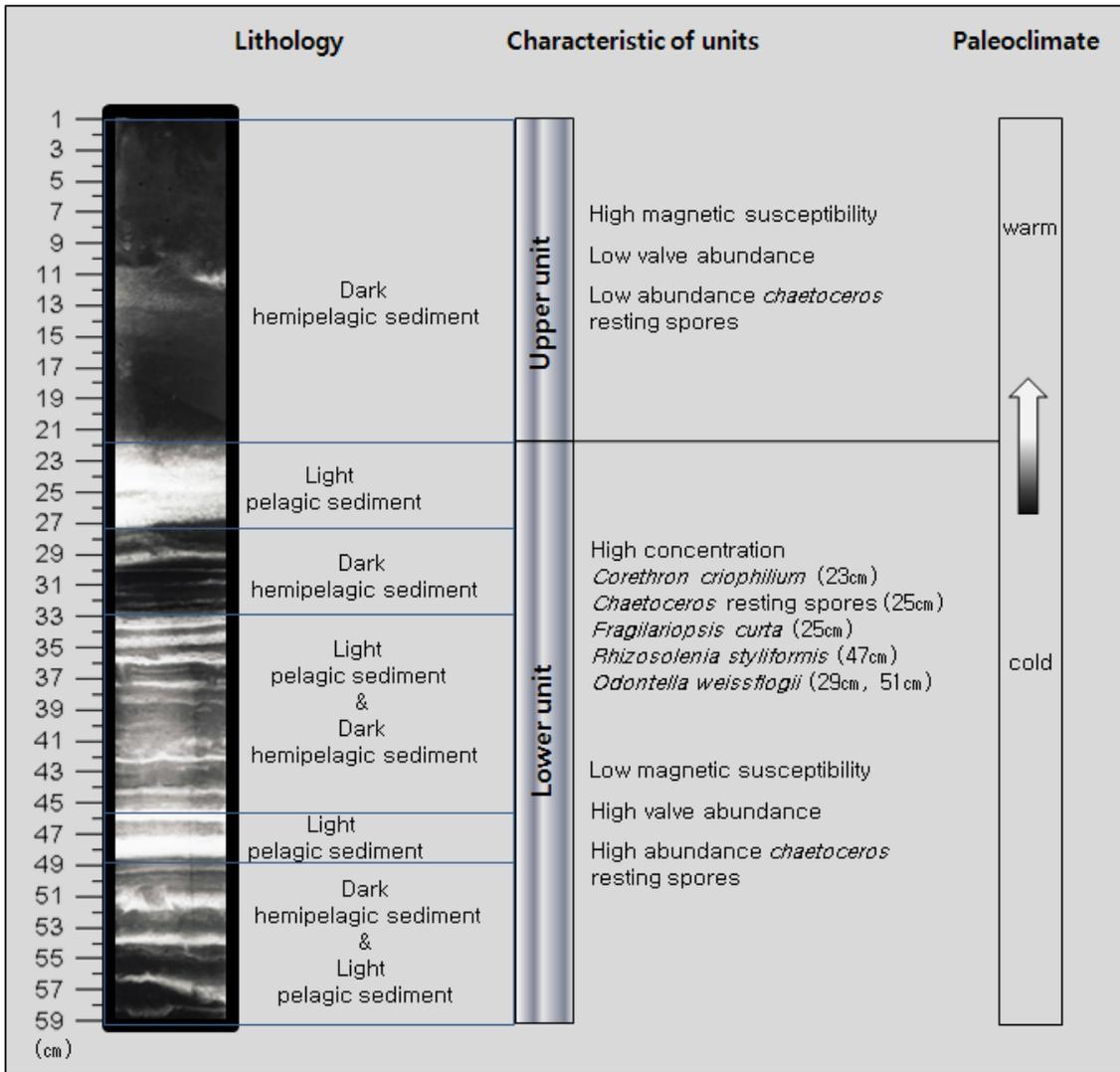


Fig. 4. The high-resolution characteristic of units and paleoclimate for the BC02-EB03, based on the diatom signals.

량 1 g당 $8.6 \sim 22.0 \times 10^7$ 의 범위로 관찰되었다.

규조 군집의 산출양상, 퇴적양상 및 대자율에 의하여 연구 코어를 상부 퇴적상(0~22 cm)와 하부 퇴적상(22~60 cm)으로 나누었으며, 하부 퇴적상에서는 흰색의 육성기원 퇴적물과 교호되는 검정색의 규질 연니층에서 *Chaetoceros* resting spores, *Rhizosolenia styliformis*, *Corethron criophilum*과 *Odontella weissflogii* 등의 대변성을 인지하였다. 이는 빙봉 주변 용빙수의 유입에 의한 계절적인 변화에 의한 표층수의 성층화 때문에 특정 규조종이 엽층리를 형성하는 것으로 생각되며, 상부 퇴적상에서는 규질 연니층이 뚜렷하게 나타나지 않고 규조 개체수 농도가 낮아지며, 하부 퇴

적상보다 *Thalassiosira antarctica*가 약간 증가하는 것으로 보아 하부 퇴적상에서 좀 더 따뜻한 기후로 변화하면서 계절적인 대변성이 줄어든 것으로 생각된다. 이는 최근 남극반도의 지역온난화 경향과 일치한다.

사 사

이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 "지구온난화 대응책 마련을 위한 극지역 고기후 및 고해양 변화 복원기술 개발(PE08010, PE09010)" 연구사업의 지원에 의하여 연구되었습니다. 논문심사 과정에서 값진 조언을 해주신 경북대학교의 이성주

교수님과 익명의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 이재일, 2007, 남극 사우스 오크니 제도 서부 해역의 코어퇴적물에서 산출된 구조 군집. 지질학회지, 43, 33-42.
- Abelmann, A. and Gersonde, R., 1991, Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*, 35, 503-536.
- Bahk, J.J., Yoon. H.I., Kim, Y., Kang, C.H. and Bae, S.H., 2003, Microfabric analysis of laminated diatom ooze (Holocene) from the eastern Bransfield Strait, Antarctic peninsula. *geosciences journal*, 7, 135-142.
- Bárcena, M.Á., 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, 269-285.
- Bárcena, M.Á., 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 Research II*, 49, 935-950.
- Bárcena, M.Á., Fabres, J., Isla, E., Flores, Sierro, F.J., Canals, M. and Palanques, A., 2006, Holocene neoglacial events in the Bransfield Strait (Antarctica). *Paleoceanographic and palaeoclimatic significance. Scientia Marina*, 70, 607-619.
- Basterrechea, G. and Aristegui, J., 1999, Phytoplankton biomass and production during late austral spring (1991) and summer (1993) in the Bransfield Strait. *Polar Biology*, 21, 11-22.
- 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., J.-J. Pichon and M. Labracherie, 1997, Distribution of Chaetoceros resting spores in modern peri-Antarctic sediments. *Marine Micropaleontology*, 29, 283-299.
- Crawford, R.M., Hinz, F. and Rynearson, T., 1997, Spatial and temporal distribution of assemblages of the diatom Corethron Criophilum in the Polar Frontal region of the South Atlantic. *Deep-Sea Research II*, 44, 479-496.
- 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.
- Domack, E.W., 2001, Holocene record from the Antarctic Peninsula: 200 to 1800 year oscillations. *GSA Annual Meeting*, November 5-8.
- Fenner, J., Schrader, H.J. and Weinig, H., 1976, Diatom phytoplankton studies in the Southern Pacific Ocean, composition and correlation to the Antarctic Convergence and its paleoecological significance. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 35, 757-813.
- Figueiras, F.G, Arbones, B and Estrada, M., 1999, Implications of bio-optical modelling of phytoplankton in Antarctic waters: further evidence of no light limitation in the Bransfield Strait. *Limnology and Oceanography*, 44, 1599-1608.
- Fryxell, G.A. and Kendrick, G.A., 1988, Austral spring microalgae across the Weddell Sea ice edge; spatial relationships found along a northward transect during AMERIEZ 83. *Deep-Sea Research Part A - Oceanographic Research Papers*, 35, 1-20.
- Fryxell, G. A., Reap, M. E. and Kang S. H., 1988. Antarctic phytoplankton-dominants. life stages and indicators. *Antarctic journal of the United States*. 25, 129-131.
- Garrison, D.L., Buck, K.R. and Fryxell, G.A., 1987, Algal ice edge assemblages in Antarctic pack ice and in ice-edge plankton. *Journal of Phycology*, 23, 564-572.
- Gerson, R., 1986, Siliceous microorganism in sea ice and their record in sediments in the southern Weddell Sea (Antarctica). *Proceedings of the VIIIth Symposium on Living and Fossil Diatoms*, 549-566.
- Gleitz, M., Grossmann, S., Scharek, R. and Smetacek, V., 1996, Ecology of diatom and bacterial assemblages in water associated with melting summer sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. *Antarctic Science*, 8, 135-146.
- Hargraves, P.E., 1968, Species composition and distribution of the net plankton diatoms in the Pacific sector of the Antarctic Ocean. Ph.D. thesis, College of William and Mary, Virginia, 171 pp.
- Hasle, G.R., 1965, Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron microscopes. III. The genus Fragilariopsis. *Skriptor Utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi Oslo Mat.-Naturv. Klasse, Ny Serie*, no. 21.
- Hasle, G.R., 1969, An analysis of the phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: Abundance, composition and distribution during the "Bratigg" Expedition, 1947-1948. *Hvalråd. Skr.*, 52, 1-168.
- Hasle, G.R. and Heimdal, B.R., 1968, Morphology and distribution of the marine centric diatom Thalassiosira antarctica Comber. *Journal of the Royal Microscopical Society* 88, 357-369.
- Heiden, H. and Kolbe, R.W., 1928, Die marinen Diatomeen der Deutsch Sudpolar-Expedition 1901-1903. *Deutsch Sudpolar-Expedition 1901-1903*, 8, 450-714.

- Holm-Hansen, O. and Mitchell, B.G., 1991, Spatial and temporal distribution of phytoplankton and primary production in the western Bransfield Strait region. *Deep-Sea Research*, 38, 961-9811.
- Jacobs, S.S. and Comiso, J.C., 1993, A recent sea-ice retreat west of the Antarctic Peninsula. *Geophysical Research Letters*, 20, 1171-1174.
- Jones, P.D., Marsh, R., Wigley, T.M.L. and Peel, D. A., 1993, Decadal timescale links between Antarctic Peninsula ice-core oxygen-18, deuterium and temperature. *The Holocene*, 3, 14-26.
- Karsten, G., 1905-07, Das Phytoplankton des Antarktischen Meeres. In Chun, C., ed. *Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer "Albatros"*, 1898-1899. Jena:Fischer, 1-126.
- Klöser, H., 1990, Distribution of microplankton organisms north and west of the Antarctic Peninsula according to changing ecological conditions in autumn. *Berichte zur polarforschung*, 77, 1-255.
- Kozlova, O.G., 1966, Diatoms of the Indian and Pacific sectors of the Antarctic. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 191pp.
- Leventer, A., 1991, Sediment trap diatom assemblages from the northern Antarctica 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 Dunbar, R., 1987, Diatom flux in McMurdo Sound, Antarctica. *Marine Micropaleontology*, 12, 49-64.
- Leventer, A. and Dunbar, R., 1988, Recent diatom record of McMurdo Sound, Antarctica: implications for history of sea ice extent. *Paleoceanography*, 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. and DeMaster, D.J., 1993, Diatom evidence for Late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography*, 8930, 373-386.
- Lopez, O., Garcia, M.A., Gomis, D., Rojas, P., Sospedra, J. and Sanchez-Arcilla, A., 1999, Hydrographic and hydrodynamic characteristics of the eastern basin of the Bransfield Strait. *Deep-Sea Research I*, 45, 1755-1777.
- Niiler, P., Amos, A. and Hu, J.-H., 1991, Water masses and 200m relative geostrophic circulation in the western Bransfield Strait region. *Deep-Sea Research*, 38, 943-959.
- Pichon, J.J., Labeyrie, L.D., Bareille, G., Labracherie, M., Duprat, J. and Jouzel, J., 1992, Surface water temperature changes in the high latitudes of the southern hemisphere over the last glacial-interglacial cycle. *Paleoceanography*, 7, 289-318.
- Pike, J., Allen, C.S., Leventer, A., Stickley, C.E. and Pudsey, C.J., 2008, Comparison of contemporary and fossil diatom assemblages from the western Antarctic Peninsula shelf. *Marine Micropaleontology*, 67, 274-287.
- Scharek, R., 1991, Development of phytoplankton during the late-winter/spring transition in the eastern Weddell Sea (Antarctica). *Berichte zur Polarforschung*, 94, 1-195.
- Scherer, R.P., 1994, A new method for determination of absolute abundance of diatoms and other siltsized sedimentary particles. *Journal of Paleolimnology*, 12, 171-179.
- Smetacek, V., Scharek, R., Gordon, L.I., Eicken, H., Fuhtbach, E., Rohardt, G. and Moore, S., 1992, Early spring phytoplankton blooms in ice platelet layers of the southern Weddell Sea, Antarctica. *Deep-Sea Research Part A -Oceanographic Research Series*, 39, 153-168.
- Taylor, F., McMinn, A. and Franklin, D., 1997, Distribution of diatoms in surface sediments of Prydz Bay, Antarctica. *Marine Micropaleontology*, 32, 209-230.
- Thompson, L.G., Peel, D.A., Mosley-Thompson, E., Mulvaney, R., Dai, J., Lin, P.N., Davis, M.E. and Raymond, C.F., 1994, Climate since AD 1510 on Dyer plateau Antarctic Peninsula: evidence for recent climate change. *Annals of Glaciology*, 20, 420-426.
- Van Heurck, H., 1909, Diatomees Expedition Antarctique Belge. *Resultats du Voyage de la "Belgica" en 1897-1899. Rapport Scientifiques. Botanique*, 128pp.
- Villareal, T. A. and G. A., Fryxell, 1983, Temperature effects on the valve structure of the bipolar diatoms *Thalassiosira antarctica* and *Porosira glacialis*, *Polar biology*, 2, 163-169.
- Von Quillfeldt, C.H., 2004, The diatom *Fragilariopsis cylindrus* and its potential as an indicator species for cold water rather than sea ice. *Vie Milieu*, 54, 137-143.
- Whitworth, T., Nowlin, 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 : 2008년 12월 9일

심 사 일 : 2008년 12월 12일

심사완료일 : 2009년 1월 8일