







































수 농도 범위가 크게 변화하지는 않으며 하부층준(560 - 420 cm)에서 상대적으로 풍부하게 산출된다. 규조의 산출은 하부층준에서 상부층준에 이르기 까지 계속적으로 산출이 되며 전체적으로는 점점 감소하는 추세를 보인다.

규조 화석 군집 구성을 살펴보면 우세하게 산출된 종으로서, *Fragilariopsis curta* 가 23.3 %로 가장 많이 산출되었다. 뒤를 이어 *Thalassiosira antarctica* (16.9 %), *F. kerguelensis* (13.1 %)등이 산출되었다(Fig. 2). 특히, *Chaetoceros resting spores*의 산출은 560 ~ 420 cm 구간에서는 점점 상승하는 경향을 나타내나 그 이후 층준에서는 점점 감소하는 추세를 보여준다.

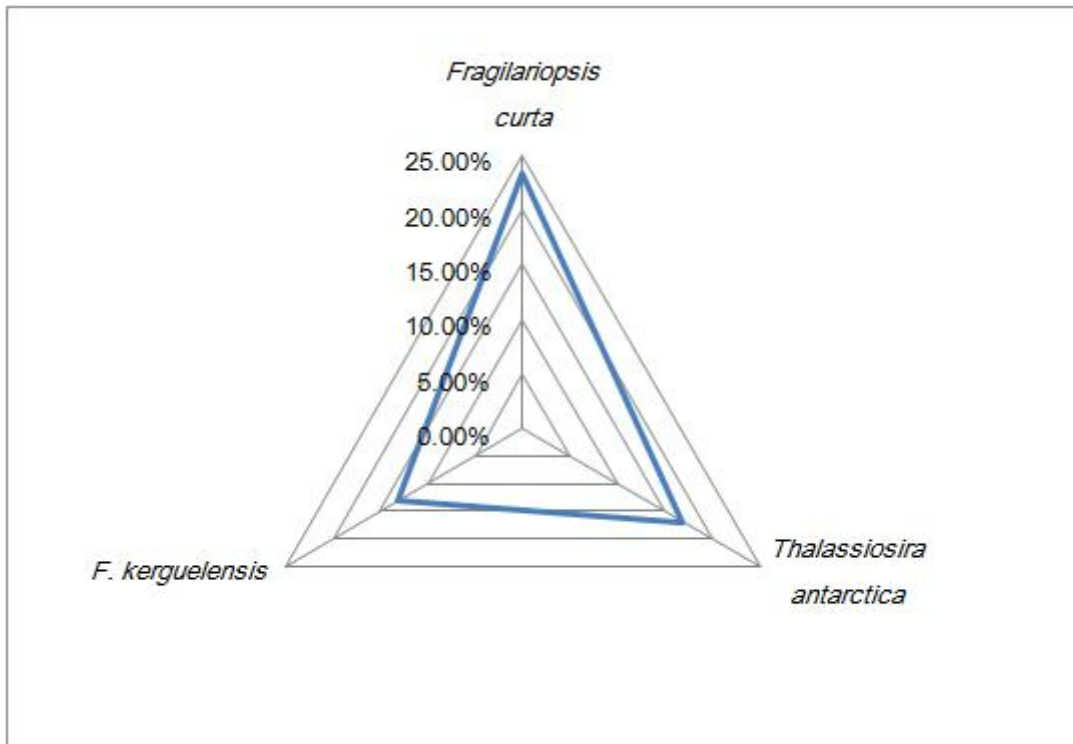


Fig. 2. Occurrence ratio of diatoms in the WAP13-GC47.

## 2. 규조 군집대

WAP13-GC47 코어퇴적물로부터 산출된 규조의 종조성과 선택 종들의 수직 산출 분포 변화에 따라 총 3개의 규조 군집대를 설정하였다 (Fig. 3).

가. 규조 군집대 I: 560 ~ 420 cm

규조 개체수 농도가  $3.4 - 8.1 \times 10^7/g$  으로 상부 층준에 비하여 개체수 농도가 풍부하게 산출되는 구간이며, 공해종인 *F. kerguelensis*와가 상대적으로 다량 산출이 된다. *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 I의 최하부 구간에서 공해에서 산출되는 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*의 산출이 상대적으로 풍부하게 나타난다. 또한 이 구간에서는 *Chaetoceros* RS의 산출이 점차 증가하는 경향을 보여 준다.

나. 규조 군집대 II: 420 ~ 160 cm

규조 개체수 농도가  $2.7 - 7 \times 10^7/g$  으로 규조 군집대 I의 개체수 농도 보다 감소하였으며 220 cm 층준에서는 급감하는 경향을 보인다. 규조 군집대 II에서는 *F. curta*의 산출이 규조 군집대 I에서 보다 증가하며 해빙과 관계있는 *Eucampia antarctica* var. *recta*의 산출이 300 cm 층준에서 급증하는 경향을 보인다. 이에 반해 280 -240 cm 구간에서는 공해종인 *F. kerguelensis* 와 *Eucampia antarctica* var. *antarctica* 가 급격히 증가한다. 규조 군집대 I에서 점차 증가하던 *Chaetoceros* RS가 규조 군집대 II에서는 점차 감소하는 경향을 보인다.

다. 규조 군집대 III: 160 ~ 0 cm

규조 개체수 농도가  $3 - 5.7 \times 10^7/g$  으로 규조 군집대 II에 비해서 좀 더 감소한 경향을 보여 준다. 규조 군집대 II에서 증가하던 *F. curta*의 산출이 감소하는 추세를 보이고 *Eucampia antarctica* var. *recta*의 산출도 매우 적게 나타난다. 또한 공해종인 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*의 산출이 거의 보이지 않는다. *F. kerguelensis*의 산출은 약간 감소한 상태에서 꾸준히 나타나며 *Chaetoceros* RS도 매우 적게 산출된다.

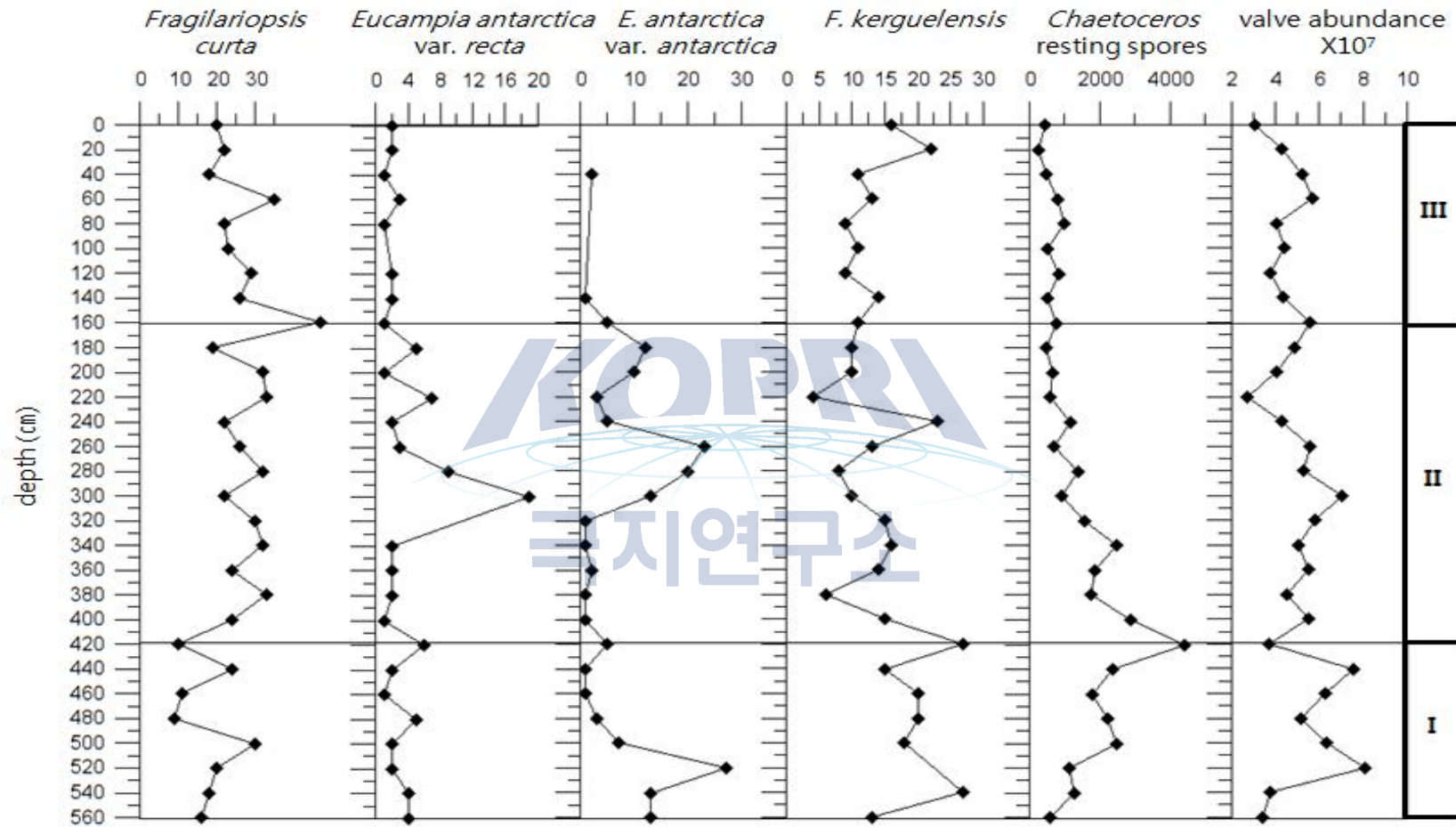


Fig. 3. Down-core variations of relative abundance of the characteristic species and diatom assemblage zones from WAP13-GC47.

### 3. 토의

WAP13-GC47 코어퇴적물의 퇴적 연대와 Magnetic susceptibility 값은 극지연 구소로부터 제공 받았으며, 이를 규조 연구 결과와 비교분석하여 고환경을 해석하였다(Fig. 4).

규조 군집 분석결과, 3개의 군집대를 설정하였다. 규조 군집대 I (560 ~ 420 cm)에서는 하부 층준에서 공해종인 *Eucampia antarctica* var. *antarctica* 와 *F. kerguelensis*의 산출이 매우 높은 구간이 존재하고, *F. kerguelensis*의 경우 규조 군집대 II와 규조 군집대 III에서는 상대적으로 규조 군집대 I보다 낮게 나타난다. 또한, *Chaetoceros* RS의 산출이 점차적으로 증가하는 경향을 보여주는데 이는 이 시기의 기온이 점차 따뜻해졌음을 의미한다. *Chaetoceros* RS의 경우 용빙수의 유입에 의해 성층화된 표층수에서 매우 풍부하기 때문에(Leventer et al., 1993; Leventer et al., 1996) 여름철에도 해빙으로 유지되는 시기 보다는 겨울철에는 해빙으로 여름철에는 용빙이 되는 지역에서 산출율이 높다. MS 값은 규조 군집대 I 전체에 걸쳐 매우 낮게 나타난다. 따라서, 규조 군집대 I의 퇴적시기는 WAP13-GC47이 퇴적되는 기간 중 가장 온난한 시기라 할 수 있다.

규조 군집대 II (420 ~ 160 cm)는 규조 군집대 I에서 보다 *F. kerguelensis* 와 *Eucampia antarctica* var. *antarctica* 산출이 적어지는 경향을 보이거나 280 -240 cm 구간에서는 급격히 증가한다. 그러나 *Chaetoceros* RS의 산출은 점점 감소하는 경향을 보여주며 280 -240 cm 구간에서도 큰 변화는 없다. MS값은 규조 군집대 II의 하부에서는 점차 증가하는 경향을 보이며 280 -240 cm 구간을 포함해서 320 cm 이상 상부 층준에서는 변화의 폭이 매우 크며, 220 cm 부근에서는 MS값이 매우 증가하는 경향을 보이고 다시 급감한다. 이는 이시기에 큰 기온의 변화를 나타내 주는 것으로 해석할 수 있으나, 이시기의 퇴적연대가 약 8000년경으로 나타남에 따라 연속적인 퇴적층준이라기 보다는 주변의 퇴적물이 대량 유입되어 나타나는 변화라고 할 수 있다. 약 8000년 경에는 온난한 시기 였기 때문에 이 부근에서 공해종의 산출이 급증하는 경향을 보인 것으로 생각된다. 이 층준을 제외하고는 전체적으로 규조 군집대 II는 I이 퇴적 될 때보다 기온이 점점 하강하여 추운시기로

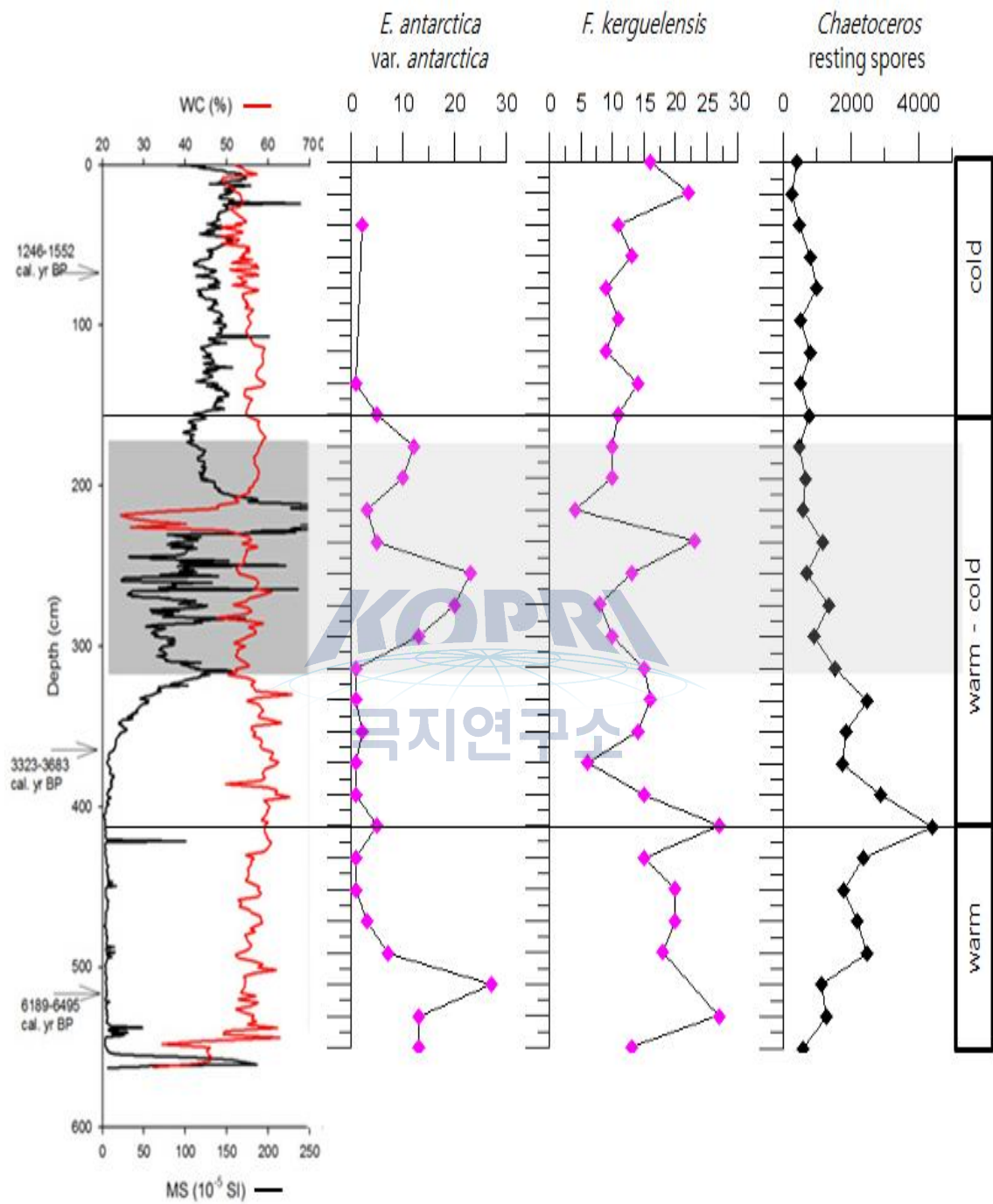


Fig.4. Comparative analysis of MS, Open water species and *Chaetoceros* resting spores for the WAP13-GC47.

생각된다.

규조 군집대 III (160 ~ 0 cm)은 규조 군집대 II와 마찬가지로 추운 시기를 유지하고 있는 것으로 보인다. *Eucampia antarctica* var. *antarctica* 산출이 거의 없고 *F. kerguelensis* 의 산출이 규조 군집대 II와 상대적으로 비슷한 경향을 보인다. *Chaetoceros* RS의 산출은 전층준에 걸쳐서 가장 적은 산출을 보이므로 규조 군집대 III은 규조 군집대 I과 II보다 더 추운 환경에서 퇴적되었음을 알 수 있다. 따라서, WAP13-IGC47 코어퇴적물이 퇴적되는 동안 온난 - 온난→한랭 - 한랭으로 고기후가 변화하였음을 알았다.

## 제 4절 결론

서남극 Bigo Bay 바깥쪽에서 채취한 코어퇴적물 WAP13-GC47로부터 각각 23속 48종의 규조 화석이 감정되었으며, 규조 개체 수 농도는  $2.7 \sim 7.5 \times 10^7/g$  범위에 해당한다. Bigo Bay 인근에서의 규조 연구는 국내에서 처음 수행되는 것이며, 규조 화석 군집 조성을 살펴보면 주로 *Eucampia antarctica* var. *antarctica*, *E. antarctica* var. *recta*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *F. curta*, 와 *Thalassiosira antarctica*등이 주로 산출되었다. 이들 규조 군집의 산출양상에 의해 규조 군집대를 3개 설정하였다. 규조 군집대 I은 560-420 cm구간에 해당하며 전반적으로 온난한 시기(warm)에 퇴적되었고, 규조 군집대 II는 420-160 cm구간에 해당하며 온난한 시기(warm)에서 한랭한 시기(cold)로 변화한다. 또한, 280 -240 cm 구간에서는 한랭한 시기임에도 불구하고 공해종들의 산출이 증가하는데 이는 주변의 퇴적물들이 유입된 결과로 생각된다. 규조 군집대 III은 160-0 cm구간에 해당하며 한랭한 시기(cold)에 퇴적되었다.

## 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 퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 연구의 본 과제인 서남극 빙붕 변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사(deglaciation history) 복원 기술 개발에 관한 연구의 일환으로 수행되었다. 연구개발의 최종 목표가 첫째, 남극 퇴적물로부터 규조 군집분석을 실시하여 규조 생층서를 확립 둘째, 규조의 bioevent를 추적하여 퇴적물이 퇴적되는 동안에 일어난 고환경변화를 해석하는데 있다. 따라서, WAP13-GC47 코어퇴적물을 대상으로 규조 분석을 실시한 결과 규조 군집대 I: 560-420 cm, 규조 군집대 II: 420-160 cm, 규조 군집대 III: 160-0 cm로 총 3개의 규조 군집대를 설정하였다. 고환경 변화를 해석하기 위해 환경지시종을 분석한 결과 WAP13-GC47 코어 퇴적물이 퇴적되는 동안 적어도 3번의 기후변화의 시기가 있었음을 알 수 있었다. WAP13-GC47 코어 퇴적물의 퇴적시기가 약 6500년경 이후로 추정되었으나 규조 군집대 II에서 약 8000년경의 퇴적연대가 추정되었기 때문에 그 기간의 퇴적물은 주변에서 유입된 것으로 생각된다. 따라서, 이 구간의 변화를 배제하고 고환경변화를 분석하면 규조 종들의 분석에 의하여 warm - warm → cold - cold로 변화하였음을 알았다. 이상의 결과를 2017년 4월에 개최되는 대한지질학회 학술대회에서 발표할 것이며, 연구 세부목표는 100% 달성하였고 서남극 지역에서 일어난 제4기 해빙사를 복원하는데 있어 귀중한 자료로 활용될 수 있다.



## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

그린란드와 남극대륙의 빙상은 해수면에 영향을 줄 수 있는 주요한 요인이다. 강설로 형성된 얼음은 중력에 의해 해안으로 확산되고, 그곳에서 녹거나 분리되어 바다로 유출되면서 빙산을 형성한다. 2001년 이후 빙봉의 붕괴속도가 빨라지고, 떠있는 빙하의 확산속도가 급속도로 변화함에 따라 남극지역에 대한 연구가 매우 중요해 졌다. 빙봉의 붕괴가 일어나는 지역과 해빙이 감소되는 지역의 해양 시추코어 퇴적물은 퇴적되는 동안 일어났던 기후의 변화를 더욱 뚜렷하게 기록하고 있는 곳이다.

지난 34년간의 위성기록 중 남극의연해빙면적은 10년당 약 1.5%씩 증가했다. 그러나 벨링스하우젠 해(Bellingshausen sea)와 아문센 해(Amundsen sea)해에서 나타난 감소 경향과는 다르게 지역적 차이가 있지만, 로스 해에서 해빙면적이 더 크게 증가하기도 하였다. 남극 해빙면적은 해마다, 대륙 주변의 장소마다 너무 많이 달라지기 때문에 남극 해빙면적이 종합적으로 더 적게 증가한 것이 기후의 지표로서 의미가 있는지 여부는 좀 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

최근 연구결과는 빙하면적의 이 상반된 경향이 지역적 풍속과 바람 패턴의 경향 때문일 수 있음을 시사한다. 그러나 빙하두께와 빙하부피의 더 정확한 추정치 없이는 남극 해빙면적이 기후변화에 어떻게 반응 중인지 또는 어떤 기후 변수가 가장 영향력이 큰지 특징짓기 어렵다. 따라서, 지구환경의 변화양상을 구체적으로 관측하고 원인을 연구하기 위해서는 고기후 및 고해양 변화에 대한 활발한 연구가 필요하며 선진국 과학자들에 의해 남극 반도 일원에서 수 천년동안 일어났던 고기후 및 고해양 변화에 대한 새로운 사실이 밝혀지고 있다. 본 연구 역시 세계적인 연구추세에 발맞춰 서남극 반도의 고기후 변화에 대한 기초적인 연구 자료로서, 퇴적학적 및 지화학적 연구 자료, 대기 및 해양의 연구 자료와 종합적으로 연구한다면 보다 상세한 고환경변화양상을 이끌어 낼 수 있을 것으로 생각된다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

2000년 이후 남극 빙하 질량에 대한 추정치에 의하면, 가장자리에서 질량손실이 최대로 나타난다. 서쪽 대서양에서 떨어져 나와 부유하는 빙붕의 하부에 대한 관측을 분석한 결과, 이 지역의 해양온난화와 해양순환에 의한 열수송 증가가 빙하녹음 비율의 가속화에 큰 영향을 미쳤다. 남극 질량손실에 대한 관측 기록이 짧고 빙상의 내부변동성에 대한 이해가 부족하다. 접지면 후퇴는 빙붕 아래의 온난한 해양으로 인한 빙붕 쇠퇴에 의해 유발되어 해저 빙붕의 녹음 또는 빙붕 지표의 해빙수를 강화하고 빙붕 균열을 촉진할 수 있다. 빙상의 증가는 느린 과정이기 때문에, 그러한 변화는 여기서 채택한 정의에 따라 비가역적일 수 있다. 이는 주로 남극대륙의 서쪽과 동쪽, 그린란드 일부 지역에 적용된다.

현재보다 따뜻했던 지난 수백 만년 동안 그린란드와 남극의 서쪽의 빙상 규모가 감소했다는 사실의 신뢰도는 높다. 빙상모델 모의결과와 지질학적 자료에 의하면 남극 서쪽의 빙상은 아표층 온난화에 매우 민감하다. 기존의 증거에 의하면 임계값 이상의 전지구 온난화는 1000년 이상에 걸친 그린란드 빙상의 전소에 가까운 감소로 이어질 수 있으며, 이로 인해 전지구 평균 해수면이 약 7 m 상승할 수 있다. 그린란드 빙상이 완전히 사라지려면 1,000년 이상이 걸릴 수 있기 때문에 그린란드 빙상의 감소는 불가피한 것이 아니다. 빙상이 완전히 사라지기 전에 온도가 하강할 경우, 빙상이 재 성장할 수 있다. 따라서 남극에서의 고기후 및 고환경 변화를 추적 연구하는 것은 전 지구적인 온난화 현상의 원인을 알아내고자하는 국제적인 동향에 발맞추어 나갈 수 있는 귀중한 자료가 될 수 있다.

## 제 7 장 참고문헌

- 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 코어 퇴적물에서 산출된 규조 군집. 지질학회지, 43(1), 33-42.
- 박영숙, 이종덕, 윤호일, 유규철, 2007b, 서남극 브랜스필드 해협 동부분지 내 규조 군집과 홀로세 말기 기후변동 연구. 지질학회지, 43(3), 345-352.
- 박영숙, 유규철, 이종덕, 윤호일, 2009, 남극 브랜스필드 해협 코어퇴적물의 고해상도 규조 분석. 지질학회지, 45(1), 1-8.
- 박영숙, 윤호일, 유규철, 이영엽, 2015, 남극 엽층리 퇴적물로부터 규조 종을 이용한 고기후 변화 연구. 한국 지구과학회지, 36(2), 190-197.
- 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 웨틀랜드 군도 북동쪽 대륙대 코어퇴적물에 나타나는 해빙기에 대한 고해상도 규조 분석 연구. 지질학회지, 47(4), 363-369.
- 이영길, 1996, 남극 브랜스필드 해협 코어 퇴적물의 미고생물(규조)학적 연구. 고생물학회지, 12(1), 1-21.
- Abelmann, A. and Gersonde, R., 1991. Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*, 35, 503-536.
- 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.
- 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.
- 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.
- Clark, M.P., Serreze, M.C. and Robinson, D.A., 1999. Atmospheric controls on Eurasian snow extent. *International Journal of Climatology*, 19, 27-40.
- 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.
- Ding, Z.L., Derbyshire, E., Yang, S.L., Yu, Z.W., Xiong, S.F. and Liu, T.S., 2002. Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea  $\delta^{18}\text{O}$  record. *Paleoceanography*, 17(3), 1033.
- Domack, E., Leventer, A., Burnett, A., Bindschadler, R., Convey, P., Kirby, M. (Eds.), 2003. *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Paleoenvironmental Perspective*, 79. American Geophysical Union, Washington, DC.
- 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.
- EPICA community members, 2004, Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429(6992), 623-628.
- 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.
- Heiden, H. and Kolbe, R.W., 1928, Die marinen Diatomeen der deutschen Siidpolar-Expedition 1901-1903. In: E. Drygalski (Editor), Deutsche Stidpolar-Expedition 1901-1903, Bd. 8. Botanik, Berlin, Leipzig, 450-715.
- Hustedt, F., 1930-1966. Die Kieselalgen Deutschlands, Oster reichs 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 Sfidatlantik. 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., Abdalati, W. and Fahnestock, M., 2004. Large fluctuations in speed on Greenland's Jakobshavn Isbrae glacier. *Nature*, 423, 608-610.
- King, J.C., 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula. *International Journal of Climatology* 14 (4), 357 - .369.
- King, J.C., Harangozo, S.A., 1998. Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Annals of Glaciology* 27, 571 - 575.
- Leventer, A., 1991, Sediment trap diatom assemblages from the northern Antarctic Peninsula region. *Deep Sea Research*, 38, 1127-1143.
- Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E., A pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records. *Paleoceanography*, 20, PA1003.
- 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.
- Oerlemans, J., 2005. Extracting a climate signal from 169 glacier records. *Science*, 308, 675-677.
- Parkinson, C.L., 2002. Trends in the length of the Southern Ocean sea ice season, 1979 - 1999. *Annals of Glaciology* 34, 435 - 440.
- Peragallo, M., 1921. Deuxième Expédition Antarctique Française 1908 - 1910 Commandé e par le Dr. Jean Charcot. Botanique. Diatomées d'eau douce et diatomé es d'eau salé e. Masson, Paris, 1-98.
- Pre'zelin, B.B., Hofmann, E.E., Mengelt, C., Klinck, J.M. 2000. The linkage between Upper Circumpolar Deep Water(UCDW) and phytoplankton assemblages on the west Antarctic Peninsula continental shelf. *Journal of Marine Research* 58, 165 - 202.
- Pre'zelin, B.B., Hofmann, E.E., Moline, M., Klinck, J.M., 2004. Physical forcing of phytoplankton community structure and primary production in continental shelf waters of the Western Antarctic Peninsula. *Journal of Marine Research* 62, 419 - 460.
- Ross, R.M., Hofmann, E.E., Quetin, L.B. (Eds.), 1996. Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. Antarctic Research Series 70, vol. 70. American Geophysical Union, Washington, DC, 448 pp.
- Scambos, T., Hulbe, C., Fahnestock, M., 2004. Climate-induced ice-shelf disintegration in the Antarctic Peninsula. *Antarct. Res. Ser.* 79, 335 - 347.
- 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.
- Simonsen, R., 1992. The diatom types of Heinrich Heiden in Heiden & Kolbe 1928. *Bibliotheca Diatomoologica*, 24, 1-99.
- Smith, R.C., Stammerjohn, S.E., 2001. Variations of surface air temperature and sea ice extent in the western Antarctic Peninsula (WAP) region. *Annals of*

- Glaciology 33, 493 - 500.
- Smith, R.C., Baker, K.S., Fraser, W.R., Hofmann, E.E., Karl, D.M., Klinck, J.M., Quetin, L.B., Prezelin, B.B., Ross, R.M., Trivelpiece, W.Z., Vernet, M., 1995. The Palmer LTER: a long-term ecological research program at Palmer Station, Antarctica. *Oceanography* 8 (3), 77 - 86.
- Smith, R.C., Stammerjohn, S.E., Baker, K.S., 1996. Surface air temperature variations 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 70. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 105 - 121.
- Smith, D.A., Hofmann, E.E., Klinck, J.M., Lascara, C.M., 1999. Hydrography and circulation of the West Antarctic Peninsula Continental Shelf. *Deep-Sea Res. Pt. I* 46, 925 - 949.
- Smith, R.C., Fraser, W.R., Stammerjohn, S.E., Vernet, M., 2003. Palmer long-term ecological research on the Antarctic marine ecosystem. In: Domack, E.W., Leventer, A., Burnett, A., Convey, P., Kirby, M., Bindschadler, R. (Eds.), *Antarctic Peninsula Climate Variability: a Historical and Paleoenvironmental Perspective*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 131 - 144.
- Stammerjohn, S.E., Martinson, D.G., Smith, R.C., Iannuzzi, R.A., 2008. Sea ice in the Western Antarctic Peninsula region: spatio-temporal variability from ecological and climate change perspectives. *Deep-Sea Research II*, this issue [doi:10.1016/j.dsr2.2008.04.026].
- Stark, P., 1994. Climatic warming in the central Antarctic Peninsula area. *Weather* 49 (6), 215 - 220.
- Thomas, R., Rignot, E., Casassa, G., Kanagaratnam, P., Acuna, C., Akins, T., Brecher, H., Frederick, E., Gogineni, P., Krabill, W., Manizade, S., Ramamoorthy, H., Rivera, A., Russell, R., Sonntag, J., Swift, R., Yungel, J., Zwally, J., 2004. Accelerated sea-level rise from West Antarctica. *Science*, 306(5694), 255-258.
- 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 the 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.
- Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.D., Iagovkina, S., 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Climatol.* 25, 279 - 294.
- 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.
- Vaughan, D.G., Marshall, G.J., Connolley, W.M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D.A., King, J.C., Pudsey, C.J., Turner, J., 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Clim. Change* 60, 243 - 274.
- Zwally, H.J., Comiso, J.C., Parkinson, C.L., Cavalieri, D.J., Gloersen, P., 2002. Variability of Antarctic sea ice 1979 - 1998. *Journal Geophysical Research, Oceans* 107 (C5).







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