

남극 드레이크 해협 극전선 부근 시추 퇴적물(DP00-02)에서 규조 화석을 이용한 고환경 연구

박영숙^{1,*} · 이종덕¹ · 윤호일² · 윤혜수³

¹전북대학교 지구환경과학과

²한국해양연구원 극지연구소

³충남대학교 지질학과

요 약

드레이크 해협 시추 퇴적물 DP00-02로부터 총 21속 56종의 규조 화석이 산출되었으며 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Thalassiosira rentiginosa*와 *Thalassiothrix longissima* 등이 전체 군집의 56%를 차지하는 우점종으로 나타났다. 규조 화석군집에 의하여 고환경을 분석해 보면 층준 144 cm를 경계로 남쪽으로 극전선의 유동이 있었으며 이 시기(144 cm)이후에는 빙기(glacial periods)에도 해빙의 영향을 매우 적게 받은 것으로 생각된다. 또한 연안종(*Stephanopyxis* spp., *Odontella weisflogii* 와 *Cocconeis costata*)과 재이동 규조화석(*Denticulopsis hustedtii*, *D. dimorpha*, *Fragilariopsis aurica*와 *Thalassiosira striata*) 들이 전층준에 걸쳐 계속적으로 산출되는 것은 순환 심층수(Circumpolar Deep Water)와 강한 남극 저층수(Antarctic Bottom Current)의 영향하에 있었음을 알려 준다.

주요어: 시추 퇴적물, 남극전선, 규조 화석군집, 순환 심층수, 남극 저층수

Young-Suk Bak, Jong-Deock Lee, Ho-Il Yoon and Hyesu Yun, 2003, Paleoenvironmental research of the Antarctic Core Sediment from the Antarctic Polar Front in Drake Passage, based on Diatom assemblage. Journal of the Geological Society of Korea. v. 39, no. 3, p. 337-346

ABSTRACT: 56 diatom species belonging to 21 genera were identified from the core DP00-02, drilled in Drake Passage. *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Thalassiosira rentiginosa* and *Thalassiothrix longissima* are the dominant species (56% of the total assemblage) in DP00-02 core sediments. The abundance pattern of diatom assemblages and paleoindicator species at the horizon of 144 cm suggests the position of Antarctic Polar Front migrated to the south of the modern site. Above this horizon, we believe that there is little effect by the sea-ice even in the glacial periods. The presence of neritic species (*Stephanopyxis* spp., *Odontella weisflogii* and *Cocconeis costata*) and reworked species (*Denticulopsis hustedtii*, *D. dimorpha*, *Fragilariopsis aurica* and *Thalassiosira striata*) due to strong current activity, i.e. Circumpolar Deep Water and Antarctic Bottom Current.

Key words: core sediments, Antarctic Polar Front, diatom assemblages, Circumpolar Deep Water, Antarctic bottom current

(Young-Suk Bak and Jong-Deock Lee, Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea; Ho-Il Yoon, Polar Research Institute, KORDI, Ansan P.O. Box 29, 425-600, Korea; Hyesu Yun, Department of Geology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

1. 서 론

규조류는 고위도 지역의 퇴적물에서 풍부하게

산출되고 환경 변화에 민감하기 때문에 제4기의 고기후와 고해양학 연구에 유용하며(Medlin and Priddle, 1990; Stoermer and Smol, 1999), 퇴

* Corresponding author: Tel. +82-63-270-2804, E-mail. sydin@hanmail.net

적물로부터 산출된 규조 군집은 그 지역 수괴의 물리 화학적 특징을 잘 나타내므로 규조에 의한 표층퇴적 군집과 해양 환경사이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Defelice and Wise, 1981; Gersonde, 1986; Zielinski and Gersonde, 1997). 드레이크 해협(Drake Passage)은 남극 반도와 남미 대륙사이에 위치하고 있으며 태평양과 대서양을 잇는 유일한 통로로서 이 해협을 통하여 남극순환해류(Antarctic Circumpolar Current)가 대서양 쪽으로 흐르고 있다. 연구지역은 드레이크 해협에 있는 남극전선(Antarctic Polar Front) 근처에 위치하고 있으며 APF는 빙하로 덮여 있는 Polar water와 상대적으로 따뜻한 Subantarctic Water 사이에 존재한다(Fig. 1). 빙기와 간빙기의 기후변화에 따라서 Polar water의 흐름에 영향을 받으며 Antarctic Polar Front의 유동도 변화한다. 연구지역에서 APF의 남쪽으로는 차고 영양염이 풍부한 Antarctic Surface water가 북쪽으로는 따뜻하고 영양염이 풍부하지 않은 Subantarctic

Suface Water가 분포한다(Pudsey and Howe, 1998). 또한 용승류로서 따뜻하고 고염의 순환 심층수(Circumpolar Deep Water, CPDW)가 존재하며 상대적으로 차가운 남극 표층수(Antarctic Surface Water)의 아래 놓여 있다. 저층수(Bottom Water)로서는 Weddell 해 기원의 차고 저염의 남극 저층수(Antarctic Bottom Water)가 분포한다(Fig. 2). APF에서는 규조류의 고생산성(High Productivity)이 특징적으로 나타나며 여름동안에 평균적으로 4-5℃정도를 유지한다(Burckle and Cirilli, 1987). 따라서 본 연구는 드레이크 해협의 APF에 위치하는 시추퇴적물 DP00-02에서 산출된 규조 화석의 군집분석을 통하여 층준에 따른 화석군의 변화양상을 연구함으로써 퇴적 당시의 고환경의 변화를 해석하고자 한다.

2. 시료채취

시료 채취지역은 드레이크 해협 북서 중심부에 있는 해산의 정상부에 위치하고 있으며(60°59.8'S, 65°21.4'W)(Fig. 1), 시추 퇴적물의 채취 수심은 약 2,710 m이다. 코아 채취 지점은 탄산염보상심도 보다도 비교적 수심이 얕으며 퇴적에 안정된 환경이므로 고해양과 고기후 변화를 연구하기 위해 좋은 시추 퇴적물로 이루어져 있다. DP00-02

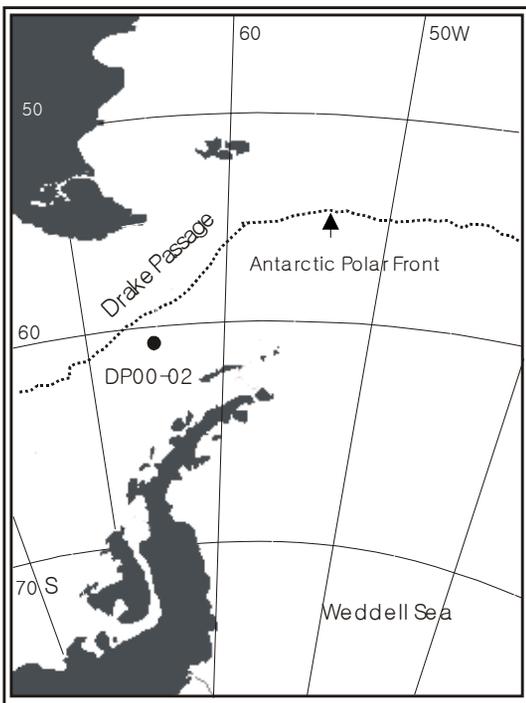


Fig. 1. Location map of core DP00-02 in the Drake Passage.

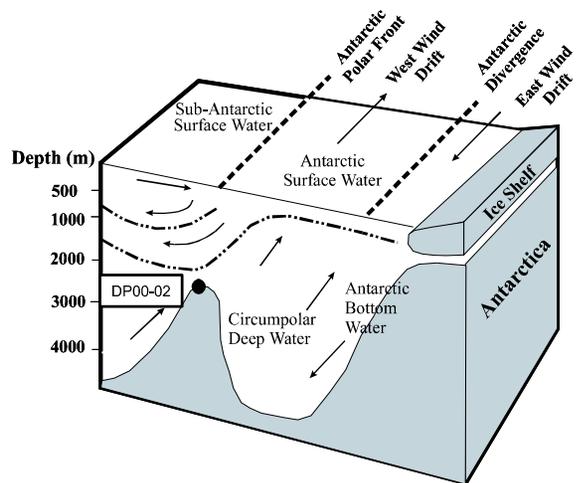


Fig. 2. Schematic diagram showing water mass distribution and location of the core DP00-02 (modified after Bae et al., 2003).

시추 퇴적물은 주로 회색내지 암회색의 사질이암과 회갈색의 생교란 이암층(bioturbated massive mud)가 교호하는 2가지 암상으로 구성되어 있으며 몇 층에서는 큰 역들이 포함되어 있다(Fig. 3). 코어 길이 총 286 cm에서 8 cm 간격으로 36개의 시료를 채취하였으며 시추 퇴적물로부터 규조 화석을 산출하기 위하여 Boden(1991)의 시료 처리방법을 사용하였다.

퇴적물 DP00-02로부터 총 36개의 시료에서 21속 56종의 규조 화석이 감정되었다(Table 1). 연구지역에서 산출된 규조 화석들은 보존이 좋지 않았으며, 이는 연구 시추 퇴적물의 채취지점이 2,710 m의 수심에 높게 솟아 있는 해산의 중심 부근이므로 주변을 흐르고 있는 표층수와 강한 저층수의 영향을 많이 받았으며 인근의 대륙으로부터 퇴적물들이 ice-rafted 되어 올 때 부서지고 용해된 것으로 생각된다.

규조 화석 군집 조성을 살펴 보면 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Thalassiosira rentiginosa*와 *Thalassiothrix longissima*가 전체 군

3. 결과 및 토의

드레이크 해협의 극전선 부근에서 채취한 시추

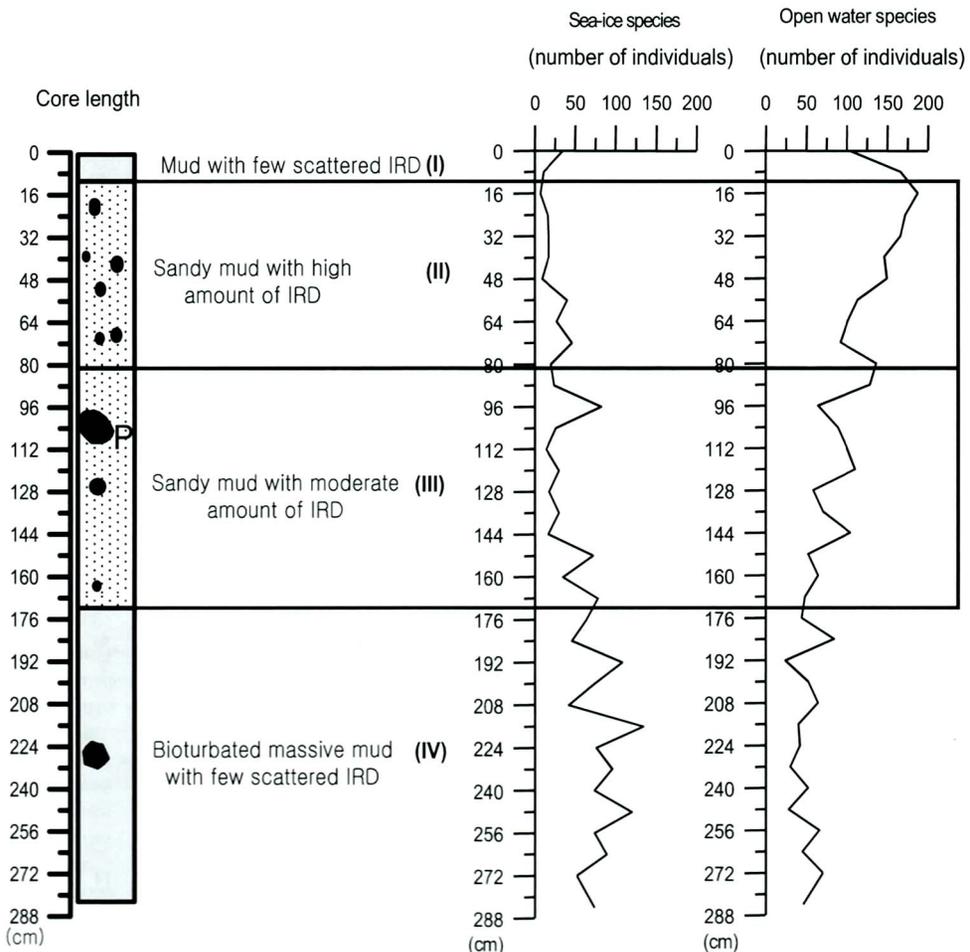


Fig. 3. The lithologic features (Ice Rafted Debris) records of core DP00-02 correlated to curve of sea-ice and open water species. P: Large pebbles (pebble size: 1~6 cm), I: Mud with few scattered IRD, II: Sandy mud with high amount of IRD, III: Sandy mud with moderate amount of IRD, IV: Bioturbated massive mud with few scattered IRD.

Table 1. Occurrence chart of the diatom taxa from the core DP00-02 .

species	depth	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136
<i>Actinocyclus actinochilus</i>		15	2	2	5	6	10	5	26	17	30	8	22	42	20	8	26	18	22
<i>A. curvatulus</i>																		2	
<i>A. ingens</i>		6			3	2	7	2	2	6	6	4	8	6	6	6	8	12	4
<i>A. octonarius</i>					3		1	4	6	18	6	16	6	6	18	12	8		4
<i>A. sp.</i>									2										
<i>Asteromphalus hookeri</i>		2					1	1	4		2		2		4		2	4	2
<i>A. parvulus</i>			1							2									
<i>Chaetoceros resting spores</i>											2								
<i>Cocconeis costata</i>		1												2					
<i>C. sp.</i>																			
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>																			
<i>C. endoi</i>							7	6											
<i>C. jonesianus</i>																			
<i>C. nobilis</i>																			
<i>C. radiatus</i>																			
<i>C. sp.</i>															2			2	
<i>Dactyliosolen antarcticus</i>		3	8	9	7	6	1	5	2	4			2		4	2	2		2
<i>Denticulopsis dimorpha</i>		2																	
<i>D. hustedtii</i>		3		1	1		8		2	6	4			2	8	14	6		16
<i>D. sp.</i>											2								
<i>Diploneis sp.</i>																			
<i>Eucampia antarctica</i>		7	2	5	7	4	4	2	2		10		2	6	2	2	2		4
<i>Fragilariopsis curta</i>		4					2			3									
<i>F. cylindrus</i>									4			4							
<i>F. fossilis</i>							1	2		4			2		10	4	2		6
<i>F.kerguelensis</i>		87	146	179	155	135	116	122	93	67	68	108	106	46	56	86	96	46	54
<i>F. lineata</i>															2				
<i>F. obliquecostata</i>																			
<i>F. ritscheri</i>																			
<i>F. separanda</i>		8	7			2	1	2	2	3						2			
<i>F. sublineata</i>		1			3	3			2		2								
<i>Grammatophora sp.</i>											2			4			2		
<i>Hemidiscus sp.</i>							1	2		1									
<i>Melosira sol</i>																			
<i>M. sp.</i>				1			2				1		2						
<i>Odontella weissflogii</i>																			
<i>Rhizosolenia setigera</i>					1	1	2	3		2	2	4	2		6	2	2	2	2
<i>R. sp.</i>																			
<i>Schimperiella antarctica</i>		3			1	5	2	4	2	2	6		4	2	10	4	6	2	8
<i>Stellarima microtrias</i>					1	2			4	4	4	8		34	2	2	2		4
<i>Stephanopyxis spp.</i>							1	1					2						
<i>Synedra sp.</i>		1	9			1				2									
<i>Thalassiosira antarctica</i>		1			5	5	2			2	2				2				
<i>T. burckliana</i>						1							2						
<i>T. eccentrica</i>		1		1		2		1			2								2
<i>T. elliptipora</i>		3	1		2	1													2
<i>T. glacialis</i>		2	11							2	6		2						
<i>T. lentiginosa</i>		15	20	8	12	26	28	27	20	32	22	28	22	18	30	14	14	12	16
<i>T. lineata</i>		2	2	1	1		1			2			4		2				
<i>T. oestrupii</i>											1							4	
<i>T. praeconvexa</i>										1									
<i>T. ritscheri</i>		2	2			2	2	2	2	3	4								
<i>T. striata</i>																			
<i>T. anguste-lineata</i>		2				4	6	5	10	4		12	12	6	2	2	2	6	
<i>Thalassiothrix longissima</i>		34	3		2	3	11	14	16	16	16	12	10	28	22	44	22	96	56
<i>Trinacria sp.</i>														2					

Table 1. Continued.

species	depth	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	248	256	264	272	284
<i>Actinocyclus actinochilus</i>		5	20	16	56	36	32	72	56	24	48	34	32	58	32	62	24	38	66
<i>A. curvatulus</i>							8			4									
<i>A. ingens</i>			16	2	4	2	2		2	20	6	8	2	6	4	14	4	4	8
<i>A. octonarius</i>		6	20	2	20	14	6	18	12	14	8	10	4	4	10	10	15	12	8
<i>A. sp.</i>										2									
<i>Asteromphalus hookeri</i>				2			2	2	2	2		2							
<i>A. parvulus</i>									2										
<i>Chaetoceros resting spores</i>																			
<i>Cocconeis costata</i>			2							2			4						
<i>C. sp.</i>					2														
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>								2	2				2						
<i>C. endoi</i>																			
<i>C. jonesianus</i>							6	2											
<i>C. nobilis</i>																			6
<i>C. radiatus</i>																			2
<i>C. sp.</i>																			
<i>Dactyliosolen antarcticus</i>		2		2	4	4			6	4		2	2					8	2
<i>Denticulopsis dimorpha</i>							2					2							
<i>D. hustedtii</i>		2	6	16	10	6		6	8	4	8	16	22	10	2	4	6	8	6
<i>D. sp.</i>																			
<i>Diploneis sp.</i>													2						
<i>Eucampia antarctica</i>			4		4		2	6	6	4	2	2	8	2	2	2			
<i>Fragilariopsis curta</i>		6	2	2					2										2
<i>F. cylindrus</i>							2		2										4
<i>F. fossilis</i>		8		6		2	2		4	2	2	6		4		2			2
<i>F.kerguelensis</i>		100	12	48	32	8	50	12	28	26	12	26	10	28	6	48	24	58	22
<i>F. lineata</i>						2							4			4	3		
<i>F. obliquecostata</i>													4						
<i>F. ritscheri</i>									2										2
<i>F. separanda</i>						2													
<i>F. sublineata</i>		6		2	2				2										2
<i>Grammatophora sp.</i>													2		6		3		4
<i>Hemidiscus sp.</i>																			
<i>Melosira sol</i>						4	2		2				2						
<i>M. sp</i>																			
<i>Odontella weissflogii</i>			6	2					2									2	
<i>Rhizosolenia setigera</i>				4	2		2	4	6	2	2		6	6		2	6	2	2
<i>R. sp.</i>										2									
<i>Schimperella antarctica</i>		4		8	6	8	12	6	12	4	2	12	4	8		10	5	12	2
<i>Stellarima microtrias</i>		46	15	16	24	10	30	6	14	84	36	52	14	86	6	62	8	6	
<i>Stephanopyxis spp.</i>				4	4		6			2	4								
<i>Synedra sp.</i>							2		2										2
<i>Thalassiosira antarctica</i>			6			2	2						4	2				5	2
<i>T. burckliana</i>																			
<i>T. eccentrica</i>																			2
<i>T. elliptipora</i>		4			2								4		2				
<i>T. glacialis</i>			2							2									
<i>T. lentiginosa</i>		4	34	16	16	34	32	12	24	38	28	16	16	22	22	18	16	10	24
<i>T. lineata</i>			8		4	4			2	2			2			2			
<i>T. oestrupii</i>																			
<i>T. praeconvexa</i>																			
<i>T. ritscheri</i>							2						2						
<i>T. striata</i>									2	2									
<i>T. anguste-lineata</i>			2	4	4	8	4		6		10	4	6	2	6	4			12
<i>Thalassiothrix longissima</i>		54	22	54	16	36	26	34	12	36	10	18	14	34	22	22	25	30	24
<i>Trinacria sp.</i>																			2

집의 56%를 차지하여 우점적으로 산출되고 있으며, 그 외에 *Actinocyclus ingens*, *A. octonarius*, *Denticulopsis hustedtii*, *Schimperiella antarctica*, *Stellarima microtrias* 등이 전 층준에 걸쳐서 꾸준히 산출되며 전체 군집의 20%를 차지하고 있다.

코어 퇴적물 DP00-02에서 산출된 규조 화석의 종조성을 분석 해보면 해빙종(sea-ice taxa)과 공해종(open water taxa)들의 혼합 군집 양상이 나타난다. 해빙종으로는 *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica*, *Fragilariopsis curta*, *F. cylindrus*, *F. sublineata*와 *Stellarima microtrias* 등이 산출되었고 공해종으로서 *Fragilariopsis kerguelensis*와 *Thalassiosira lentiginosa*가 다량 산출되었다(Taylor et al., 2001). 빙산이나 해빙에 의해서 주로 운반이 되는 육성기원의 IRD(ice rafted detritus) 퇴적물 유입과 해빙종과 공해종의 산출 분포를 비교하여 보면 IRD의 유입이 많아지는 II와 III구간에서 상부로 갈수록 해빙종이 감소하는 경향을 보이고 반대로 공해종은 점점 증가하며 IRD의 유입이 적은 I과 IV구간에서는 상대적으로 해빙종이 증가하고 공해종이 감소하는 경향을 보인다(Fig. 3).

특히 전형적인 남극 연안종으로서 ice edge zone에서 산출되는 *Actinocyclus actinochilus*와 온도 -2°C~1°C인 해수에서 Polar Front의 남부 Antarctic Zone 에 제한되어 분포하며 해빙에 의해서 유입된 물이나 해빙 내에서도 발견되는 *Stellarima microtrias*의 산출이 144 cm 층준 에서 감소한다(Kozlova, 1966; Medline and Priddle, 1990; Zielinski and Gersonde, 1997). 또한 공해환경(open water environment)의 지시자 이면서 오늘날 여름철 표층수의 온도가 0°C 이상인 53과 63°S 사이에서 다량 서식하는 *Fragilariopsis kerguelensis*(Burckle et al., 1987; Krebs et al., 1987)가 144 cm 층준 에서 상부로 갈수록 산출량이 증가하는 것으로 보아 층준 144 cm부근에서 APF가 좁다 남쪽으로 이동하였음을 알 수 있다. 또한 해빙종으로서 *Fragilariopsis curta*는 일반적으로 ice edge와 ice 내에서 산출되고(Scott et al., 1994; Leventer and Dunbar, 1996) 빙하의 후퇴로 melt water가 형성되는 곳에서 산출되며

(Garrison et al., 1987), *Fragilariopsis cylindrus*는 pack ice나 fast ice(Garrison and Buck, 1989; Scott et al., 1994), ice edge blooms(Kang and Fryxell, 1992)가 있는 곳에서 발견되는 종이다. 이 두 종의 산출을 배성호 외(2002, 2003)의 Marine Isotope Stages(MISs)와 비교해 볼 때 간빙기인 Isotope stage 1, 3, 5구간에서 산출된다. 빙기인 2와 4구간(4구간중 144 cm 층준 까지 제외)에서는 산출되지 않고 간빙기에 산출되는 것은 빙기에도 해빙의 영향을 거의 받지 않았으며 간빙기에는 남극 반도로부터 meltwater가 유입되었음을 의미한다(Fig. 4). 따라서 위의 결과를 종합해 보면 연구지역은 퇴적 기간동안 144 cm 층준을 경계로 APF의 유동이 있었으며 상부에서는 빙기에도 해빙의 영향이 매우 적은 환경이었다.

DP00-02 시추퇴적물에서 산출된 규조 중 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis curta*, *F. kerguelensis*와 *T. lentiginosa* 등은 제 4기(Pleistocene - Holocene)를 지시한다. 그러나 마이오세 에서부터 플라이오세를 지시하는 *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *D. dimorpha*, *Fragilariopsis aurica*와 *Thalassiosira striata* 등이 같이 산출되고 *Stephanopyxis* spp, *Odontella weisflogii* 와 *Cocconeis costata*와 같은 연안성 규조류들이 산출되는 것은 순환 심층수(Circumpolar Deep Water)의 용승과 남극 저층수(Antarctic Bottom Current)에 의해 남극 반도로부터 운반되어 왔음을 의미한다(Barron, 1996)(Table 2).

4. 결 론

드레이크 해협 Antarctic Polar Front 부근의 시추퇴적물 DP00-02로부터 총 21속 56종의 규조 화석을 감정하였으며 시추퇴적물로부터 산출된 규조 화석의 군집 조성 중 우세하게 산출된 종들은 *Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Thalassiosira lentiginosa*와 *Thalassiothrix longissima* 등이며, 전체 군집 조성의 56%를 차지하고 있다. 고환경 지시종으로서 해빙종과 공해종의 산출 분포를 비교하여 본 결과 연구지역은 144 cm 층준

Table 2. Age of selected diatom species from DP00-02. LO: last occurrence, LCO: last common occurrence.

Datums	Species	Age(Ma)	Reference
LO	<i>Actinocyclus ingens</i>	0.38	Zielinski and Gersonde, 2002
LO	<i>Denticulopsis hustedtii</i>	4.5	Ciesielski, 1983
LCO	<i>D. dimorpha</i>	10.1	Baldauf and Barrion, 1991
LO	<i>Fragilariopsis aurica</i>	3.8	Harwood and Maruyama, 1992
LO	<i>Thalassiosira striata</i>	2.8-3.2	Harwood and Maruyama, 1992

을 경계로 남쪽으로 APF의 유동이 있어서 빙기에도 해빙의 영향이 적은 환경에 놓여 있었으며, 제4기종과 마이오세-플라이오세 종들이 같이 산출되고 연안층 들이 많이 산출되는 것은 순환 심층수(Circumpolar Deep Water)와 남극 저층수(Antarctic Bottom current)에 의해서 육원성 퇴적물이 유입된 것으로 해석할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국 해양연구원 극지연구과제(PP03106)와 과학기술부의 국제공동연구과제(Korea-Israel, PN50800, Korea-Russia, PN50600)의 재정지원에 의해 수행되었습니다. 논문 심사과정에서 유익한 조언을 해주신 익명의 두 분 심사위원님에게 깊은 감사를 드립니다.

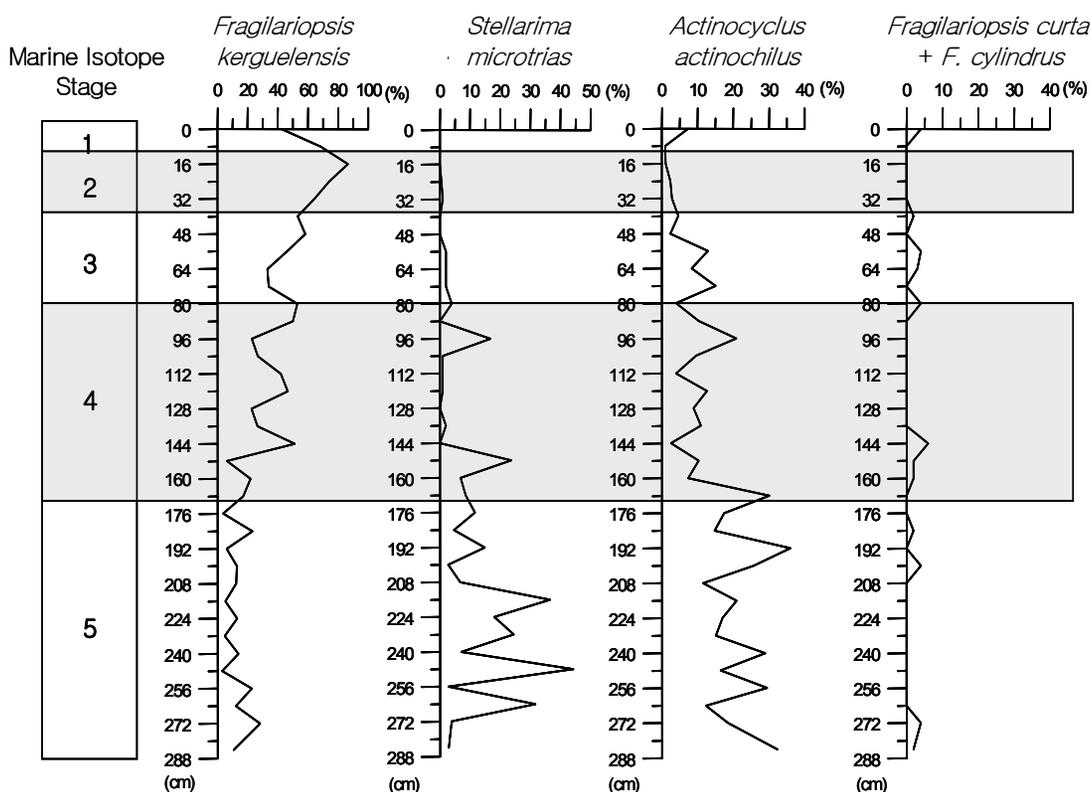


Fig. 4. Relative abundance of paleoindicator diatom in core DP00-02. Marine isotope stages are indicated on the left, with glacial periods shaded.

[Plate 1]

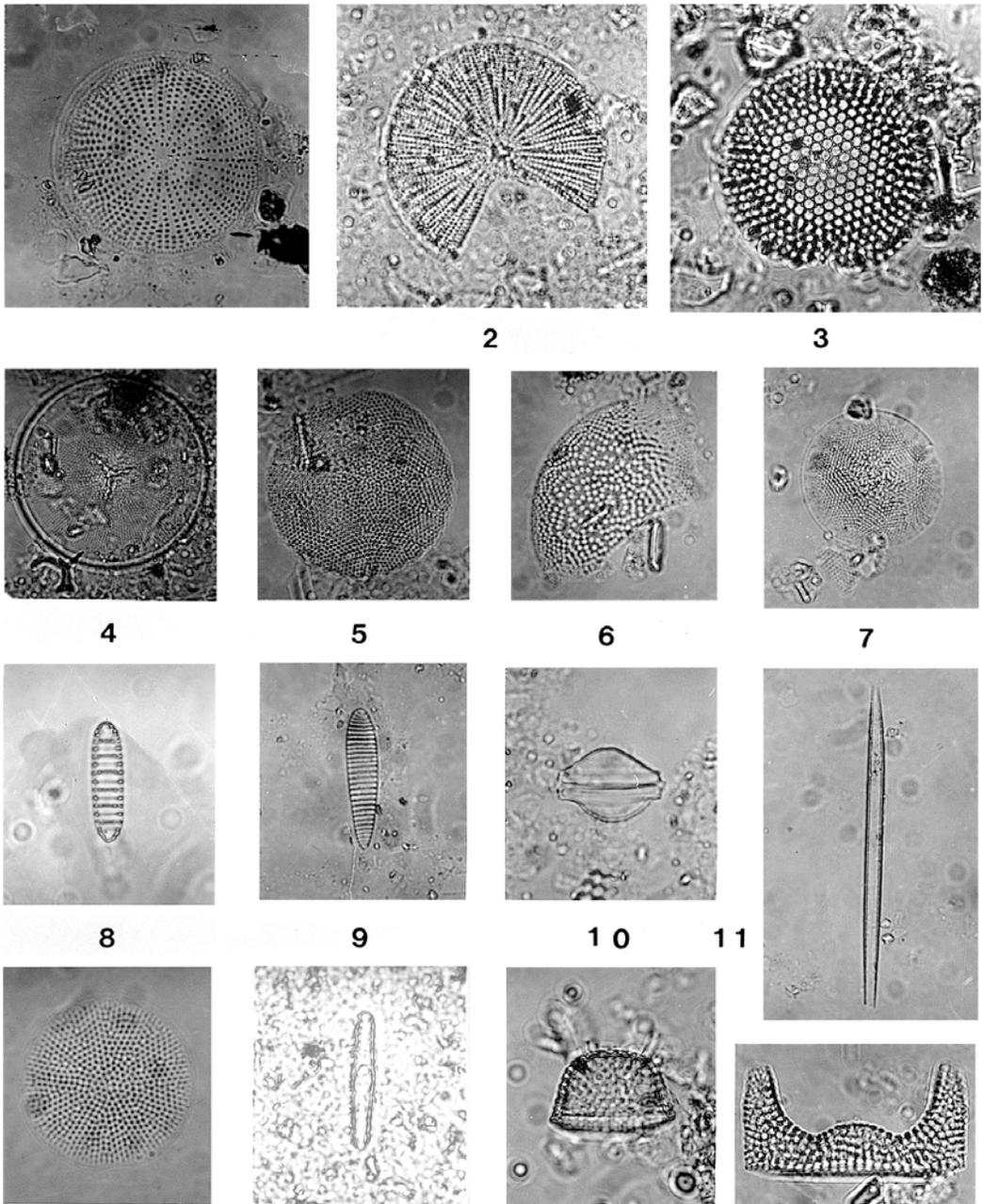


Fig. 1. *Actinocyclus actinochilus* (Ehrenberg) Simonsen: 88 μm , **Fig. 2.** *A. octonarius* Ehrenberg: 152 μm , **Fig. 3.** *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve: 32 μm , **Fig. 4.** *Stellarima microtrias* (Ehrenberg) Hasle and Slims: 96 μm , **Fig. 5.** *Actinocyclus curvatulus* Janisch: 128 μm , **Fig. 6.** *Hemidiscus* sp.: 48 μm , **Fig. 7.** *Thalassiosira anguste-lineata* (Schmidt) Fryxell and Hasle: 128 μm , **Fig. 8.** *Denticulopsis hustedtii* (Simonsen and Kanaya) Simonsen: 136 μm , **Fig. 9.** *Fragilariopsis aurica* (Gersonde) Gersonde et Barcena: 144 μm , **Fig. 10.** *Chaetoceros* resting spores: 72 μm , **Fig. 11.** *Thalassiothrix longissima* Cleve and Grunow: 160 μm , **Fig. 12.** *Thalassiosira lentiginosa* (Janisch) Fryxell: 176 μm , **Fig. 13.** *Grammatophora* sp.: 72 μm , **Fig. 14.** *Stephanopyxis* spp.: 88 μm , **Fig. 15.** *Eucampia antarctica* (Castracane) Margin: 40 μm (barscale: 15 μm)

[Plate 2]

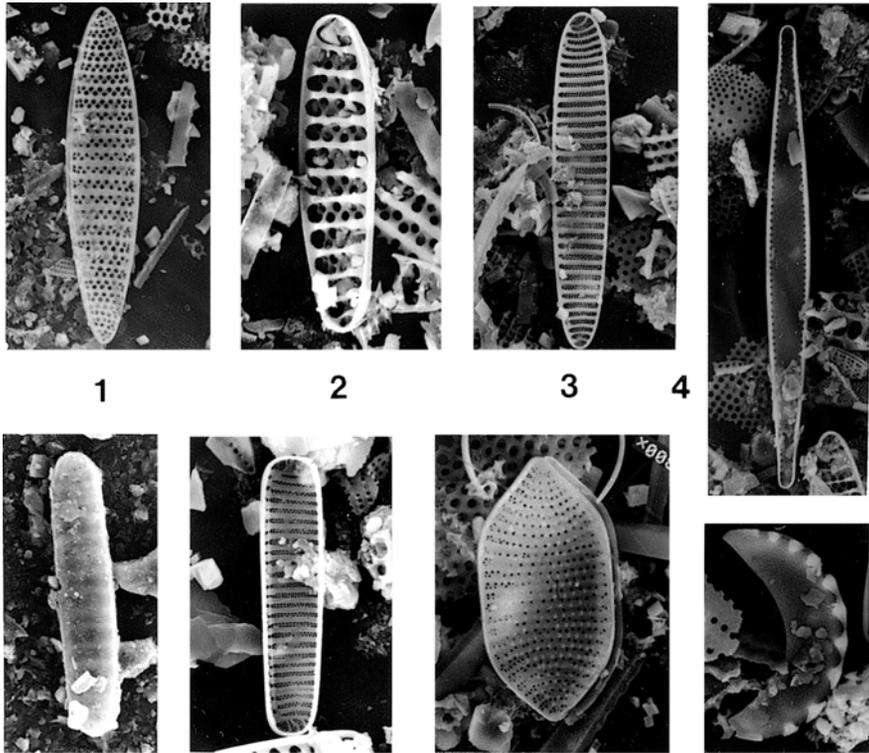


Fig. 1. *Fragilariopsis kerguelensis* (O'Meara) Hustedt: 0 cm, $\times 1350$, **Fig. 2.** *Denticulopsis dimorpha* (Scheader) Simonsen: 32 cm, $\times 1500$, **Fig. 3.** *Fragilariopsis ritscheri* Hustedt: 64 cm, $\times 990$, **Fig. 4.** *Synedra* sp.: 8 cm, $\times 930$, **Fig. 5.** *Fragilariopsis cylindrus* (Grunow) Helmck and Krieger: 56 cm, $\times 1680$, **Fig. 6.** *F. curta* (V. Heurck) Hasle: 144 cm, $\times 2300$, **Fig. 7.** *F. seperanda* Hustedt: 32 cm, $\times 1700$, **Fig. 8.** *Dactyliosolen antarcticus* Castracane: 16 cm, $\times 2500$

참고문헌

- Bae, S.H., Yoon, H.I., Park, B.K. and Kang C.Y., 2002, Stable isotope record and depositional environments in the Antarctic Polar Front of Drake Passage, Western Antarctica. *Geosciences Journal*, 6, 117-123.
- Bae, S.H., Yoon, H.I., Park, B.K., Kim, Y., Bahk, J.J. and Seo, H.S., 2003, Meltwater discharge anomalies in marine isotope stage 3 from a sediment core in the south of Antarctic Polar Front, Drake Passage. *Geosciences Journal*, 7, 73-81.
- Baldauf, J.G. and Barron, J.A., 1991, Diatom biostratigraphy: Kerguelen Plateau and Prydz Bay regions of the southern ocean. In: Barron, J. A., Larsen, B., Baldauf, J. G., *et al.*, *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Science Result, 119, 547-598.
- Barron J.A., 1996, Diatom constraints on the position of the Antarctic Polar Front in the middle part of the Pliocene. *Marine micropaleontology*, 27, 195-213.
- Boden, P., 1991, Reproducibility in the random settling method for quantitative diatom analysis, *Micropaleontology*, 37, 313-319.
- Burckle, L.H. and Cililli, J., 1987, Origin of diatom ooze belt in the Southern Ocean: implications for late Quaternary paleoceanography. *Micropaleontology*, 33, 82-86.
- Ciesielski, P.F., 1983, The Neogene diatom biostratigraphy of DSDP Leg 71, subantarctic sediments. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 71, 635-665.
- Defelice, D.R. and Wise, S.W., 1981, Surface lithofacies, biofacies, and diatom diversity patterns as models for delineation of climatic change in the Southeast Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 6, 29-70.
- Garrison, D.L. and Buck, K.R., 1989, The biota of Antarctic pack ice in the Weddell Sea and Antarctic Penninsular

- regions. *Polar Biology*, 10, 211-219.
- Garrison, D.L., Buck, K.R. and Fryxell, G.A., 1987, Algal assemblages in Antarctic pack ice and ice-edge plankton. *Journal of Phycology*, 23, 564-572.
- Gersonde, R., 1986, Siliceous microorganisms in sea ice and their record in sediments in the Southern Weddell Sea (Antarctica). In: Richard, M., (ed.), *Proceedings of the 8th International Diatom Symposium*, 549-566.
- Harwood, D.M. and Maruyama, T., 1992, Middle Eocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Southern Ocean sediments from the Kerguelen Plateau. *Ocean Drilling Program Science Results*, 120, 683-733.
- Kang, S-H. and Fryxell, G.A., 1992, Phytoplankton in the Weddell Sea, Antarctica: composition, abundance and distribution in water-column assemblages of the marginal ice-edge zone during austral autumn. *Marine Biology*, 116, 335-248.
- Kozlova, A.P., 1966, Diatom algae of the Indian and Pacific Sectors of Antarctica. *Academy of Sciences of the USSR Institute of Oceanology, Moscow*, 1-191.
- Krebs, W.N., Lipps, J.H. and Burckle, L.H., 1987, Ice diatom flora, Arthur Harbor, Antarctica. *Polar Biology*, 7, 163-171.
- 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.
- Medlin, L. and Priddle, J., 1990, *Polar Marine Diatoms*. British Antarctic Survey, Cambridge, 214 p.
- Pudsey, C.J. and Howe, J.A., 1998, Quaternary history of the Antarctic Circumpolar Current: evidence from the Scotia Sea. *Marine Geology*, 83, 83-112.
- Scott, P., McMin, A. and Hosie, G., 1994, Physical parameters influencing diatom community structure in eastern Antarctic sea ice. *Polar Biology*, 14, 507-517.
- Stoermer, E.F. and Smol, J.P., 1999, *The Diatom: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 469 p.
- 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.
- 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.
- Zielinski, U. and Gersonde, R., 2002, Plio-Pleistocene diatom biostratigraphy from ODP Leg 177, Atlantic sector of the Southern Ocean. *Marine Micropaleontology*, 45, 225-268.

투 고 일 : 2003년 7월 18일

심 사 일 : 2003년 7월 21일

심사완료일 : 2003년 8월 18일