

유공충을 이용한 동해의 환경 안정성 연구

신임철 · 이희일
한국해양연구소 해양지질연구부

Study of Environmental Stability of the East Sea by Foraminiferal Distribution

IM CHUL SHIN AND HI-IL YI

*Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research and Development Institute
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

동해의 해양투기장 해역에 버려진 폐기물이 환경에 미치는 영향을 조사하기 위해 동해 남부해역에 위치한 해양투기장 해역(정점 B, B')과 부산 동쪽의 외해에 위치한 해양투기장 해역(정점 J, J') 및 인근 지역(정점 J2, J6, H)에서 채취한 박스코어의 퇴적물에 함유된 유공충을 연구하였다. 유공충의 종다양성지수[S, H(S), E]와 부유성 및 저서성 유공충의 수는 해양투기장 해역과 인근 해역에서 차이를 보인다. 동해 남부해역에 위치한 해양투기장 해역 B와 B'에서는 유공충의 종수가 작으며, 조립질 퇴적물의 양과 저서성 및 부유성 유공충의 수 또한 주변 해역에 비해 작은 값을 보인다. 부산 동쪽의 외해에 위치한 투기장 해역 J'에서는 인근의 다른 지역과는 다르게 비정상적으로 매우 많은 저서성(약 300,000 개체/10 g 건조시료) 및 부유성(약 300,000 개체/10 g 건조시료) 유공충이 나타난다. 아마도 투기된 폐기물이 영양분의 역할을 했을 것이다. J 해역은 B, B' 해역과 마찬가지로 다른 해역에 비해 상대적으로 낮은 종다양성지수[S, H(S)]를 보인다. 또한 J 해역의 코아 퇴적물에서는 저서성 유공충의 수가 코아 표층에서 코아 하부로 갈수록 감소한다. 이러한 사실은 J 해역이 스트레스를 받고 있는 환경임을 의미한다. J, J2, J6 해역은 매우 높은 종다양성지수[S, H(S)]를 보이는데, 이는 이들 해역이 매우 안정된 환경임을 의미한다. 투기장 및 인근 해역에서 병에 걸리거나 스트레스가 극심한 환경에서 나타나는 이상격실(abnormal chamber)을 가진 유공충은 발견되지 않았다. 또한 투기장 해역에 버려진 폐기물의 유기분해가 저층수를 부식성으로 바꿀만큼 강하지 않았다.

Seven box cores from the disposal areas located in the southern part of the East Sea (Stations B and B') and in the offshore to the east of Pusan (Stations J and J'), and from their surrounding areas (Stations J2, J6 and H) were collected to investigate the effect of dumped wastes on the foraminiferal assemblages. The species diversity indices [S, H(S), E] of foraminifera and the total number of foraminifera show significant differences between the ocean waste disposal areas and their adjacent areas. Ocean waste disposal areas located in southern part of the East Sea (Stations B and B') show not only smaller number of foraminifera species but also lower values of coarse fraction content in the sediment and the number of benthic and planktonic foraminifera than the surrounding areas. Another ocean disposal area located offshore Pusan (Station J') contains abnormally greater number of planktonic (approximately 300 000 individuals/10 g dried sediment) and benthic (approximately 300 000 individuals/10 g dried sediment) foraminifera compared to those of the adjacent areas. The waste dumped at Station J' probably acts as a nutrient causing the greater number of foraminifera. Station J shows low species diversity indices [S, H(S)]. The number of benthic foraminifera decreases from the surface to the downcore at Station J, which indicates that Station J is under stress. However, Stations J', J2 and J6 are under stable conditions as evidenced by the greater species diversity indices [S, H(S)] compared to other stations. No foraminifera were found with biological disease or abnormal chambers, which commonly occur in extremely stressed environment, in both the ocean disposal and adjacent areas. The organic matter decay of the wastes dumped in the study areas has not made the bottom water corrosive.

서론

본 연구의 목적은 동해의 남부와 부산 외해에 위치한 해양투기장 해역 및 인근 해역(Fig. 1)에서의 해양폐기물이 유공충의 분포에 미치는 영향을 조사하는 것이다. 유공충은 동물성 플랑크톤의 일종으로 전 해양에 걸쳐서 풍부히 나타나며 환경에 민감하게 영향을 받기 때문에, 해양폐기물이 환경에 미치는 영향을 평가하는데 아주 유용하게 사용될 수 있다(Alve, 1995). 유공충은 부유성 및 저서성이 있다. 부유성 유공충은 일반적으로 해수표면에서부터 약 200 m 깊이 내에 살기 때문에 표층수의 환경을 연구하는데 아주 적합한 장점을 가지고 있다. 반면에 저서성 유공충은 탄산염 보상심도 깊이까지의 해저에 풍부히 서식하므로, 저층의 해양환경을 연구하는데 적합한 장점을 가지고 있다. 유공충각은 탄산칼슘으로 구성되어 있다. 하지만 어떤 저서성 유공충은 주변의 탄산칼슘이나 실리카를 각에 붙여 사는 데 이를 사질 유공충이라 부른다.

유공충은 다음 분야의 연구에 광범위하게 사용 되어왔다: (1)

표층수 및 저층수의 흐름, (2) 생태학 및 동물지리학, (3) 고해양학, (4) 고기후학, (5) 해양지질학, (6) 석유지질학. 최근에는 오염물질이 환경에 미치는 영향을 평가하는데도 유공충이 사용되고 있다(Bates and Spencer, 1979; Ellison *et al.*, 1986; Alve, 1991, 1995; Reinhardt *et al.*, 1994; Yanko *et al.*, 1994; Bresler and Yanko, 1995; Collins *et al.*, 1995; Culver and Buzas, 1995; Hallock *et al.*, 1995; Schafer *et al.*, 1995; Scott *et al.*, 1995; Sloan, 1995).

재료 및 방법

총 7 개의 박스코아가 동해 남부 및 부산 동쪽 외해에 위치한 해양투기장 해역(B, B', J, J') 및 인근지역(J2, J6, H)에서 1997년 3월과 9월에 채집되었다(Table 1; Fig. 1). 각 코아의 위치, 수심, 길이가 Table 1에 있다. B, B' 해역은 포항 동방 약 125 km 공해상에 위치해 있으며, J, J' 해역은 부산 동방 약 90 km 공해상에 위치해 있다(한국해양연구소, 1996).

Table 1. Locations, water depths, year collected, and lengths of cores

Core site	Latitude	Longitude	Water depth (m)	Core length (cm)	Year collected
B	36°00'85" N	130°48'99" E	1500	34	March 1997
B'	35°39'84" N	130°40'09" E	949	40	September 1997
J	35°13'52" N	130°05'05" E	147	19	March 1997
J'	35°08'10" N	129°42'02" E	141	19	September 1997
J2	35°00'00" N	129°30'03" E	176	30	September 1997
J6	35°22'07" N	129°33'00" E	115	42	September 1997
H	35°30'05" N	130°17'86" E	209	surface	September 1997

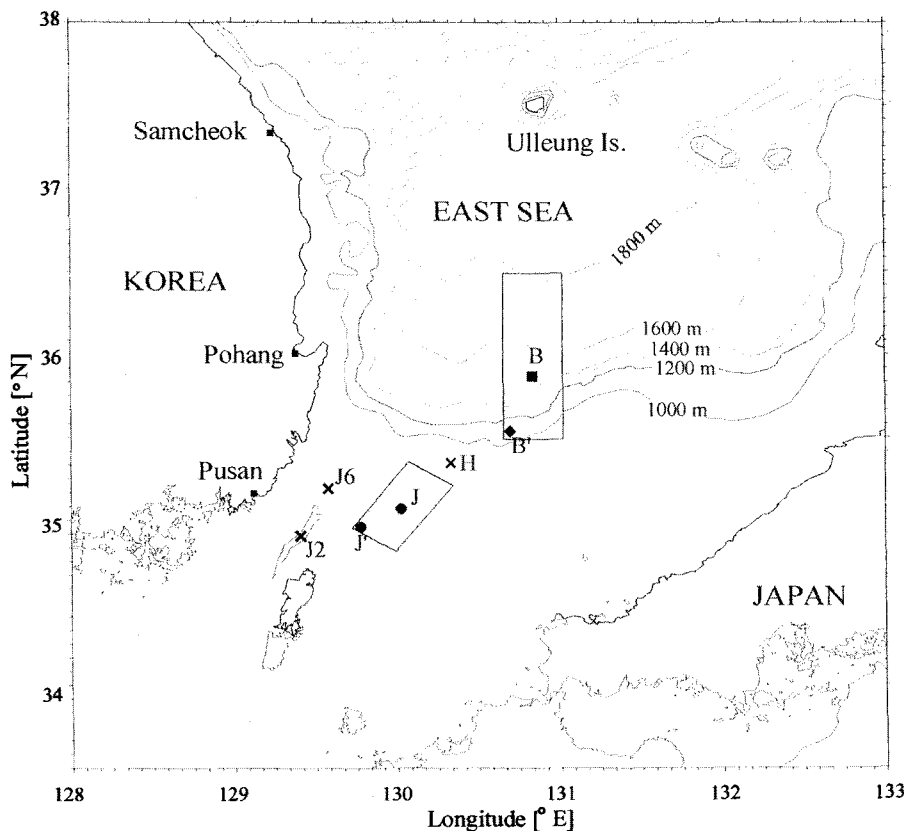


Fig. 1. Location map of the box core sites. Stations B, B', J, and J' are within ocean disposal areas (shaded boxes). Stations H, J2, and J6 are outside the ocean disposal areas.

Table 2. Continued

Station	B	B	B	B	B'	J	J	J'	J2	J6	H
Core depth (cm)	0	10-11	20-21	30-31	0	0	10-11	0	0	0	0
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	12				3.4		6.3	2.8	9.1	4.3	
<i>Globulina minuta</i>	1	1	1	2							
<i>Guttulina pacifica</i>									0.3		1.0
<i>G. sp.</i>											0.3
<i>Gyroidinoides kuwanoi</i>					0.7						
<i>Gyroidinoides nipponica</i>	2				0.3			1.4	0.3	3.0	
<i>Hanzawaia nipponica</i>						5.6	0.4	1.4	1.7		
<i>Hoeglundina elegans</i>						2.3	3.7	0.7	1.0		
<i>Hyalinea balthica</i>	2				0.3	0.7	1.1	0.4	0.3	0.3	
<i>Lagena elongata</i>								0.4			
<i>L. laevis</i>		1								0.3	
<i>L. striata</i>								0.7	0.3		
<i>L. sp.</i>		1		1							
<i>Lenticulina convergens</i>											0.6
<i>L. gibba</i>							1.1				
<i>L. lucidus</i>						0.3				0.3	
<i>L. sp.</i>		1						0.8			
<i>L. sagamiensis</i>						1.1					
<i>Melonis affine</i>	1										
<i>Miliolinella oblonga</i>										0.3	
<i>Nodosaria sp.</i>										0.3	
<i>Nonion bradyi</i>									0.7		
<i>N. scaphum</i>	3					0.4		2.1			2.9
<i>Nonionella atlantica</i>						1.5					
<i>N. stella</i>										3.6	
<i>N. turgida</i>									0.3		
<i>Oolina apiculata</i>				1							
<i>O. globosa</i>	1						0.7	1.4	1.7	2.6	
<i>O. melo</i>	1										
<i>Orodorsalis tener</i>					0.7				0.3		
<i>Parafrondicularia advena</i>											0.3
<i>Patellinella inconspicua</i>									0.3		
<i>Planularia australis</i>							0.4				
<i>P. siddalliana</i>								0.4			
<i>Pleurostomella sp.</i>								0.4			
<i>Pseudononion japonicum</i>					3.4					0.7	
<i>Pullenia bulloides</i>	1			1		0.4	0.4		1.0		
<i>P. quinqueloba</i>	1					0.4					0.6
<i>Pyrgo laevis</i>	1									1.0	
<i>Quinqueloculina elongata</i>	1										
<i>Q. lamarckiana</i>		5									
<i>Q. venusta</i>									0.7		
<i>Robertinoides bradyi</i>										0.3	
<i>Robulus pliocaenicus</i>		1								0.3	
<i>Robulus sp.</i>										0.3	
<i>Rosalina bradyi</i>					1.0	0.4					1.0
<i>R. globularis</i>							0.4				
<i>R. sp.</i>									0.3		
<i>Siphotextularia concava</i>									0.3		
<i>Spiroloculina tenuiseptata</i>					0.3						
<i>S. sp.</i>									0.3	0.3	
<i>Spirosigmoilinella sp.</i>								0.4	0.7		
<i>Textularia goesii</i>									1.3		
<i>Trochammina charlottensis</i>										1.0	
<i>T. inflata</i>	12	1									
<i>T. japonica</i>					1.4					0.7	
<i>T. pygmaea</i>										0.3	
<i>Uvigerina bifurcata</i>							0.4			2.3	
<i>Uvigerina canariensis</i>								1.8			
<i>U. cushmani</i>							0.4				2.2
<i>U. peregrina</i>					7.2	0.4			1.3		
<i>U. sp.</i>								1.8			
<i>Valvulinera aff. hamanakoensis</i>								1.8			
<i>V. rugosa</i>									3.0		
<i>Valvulinera sp.</i>											0.3
<i>Virgulina davisi</i>								0.4			

na=not available.

모든 정점의 표층퇴적물(0~1 cm)에서 (1) 저서성 유공충의 종, (2) 조립질 퇴적물(coarse fraction)의 상대적인 양(%), (3) 건조시료 10 g에 함유된 저서성, 부유성 및 사질 유공충의 수, (4) 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양(%), (5) 부유성/저서성 유공충의 비율(%), (6) 건조시료 10 g에 함유된 부유성 유공충 *Globorotalia menardii*의 수 및 (7) 종다양성지수가 수집되었다. 더불어 정점 B 코아의 10~11 cm, 20~21 cm, 30~31 cm 구간 그리고 정점 J 코아의 10~11 cm 구간에 함유된 저서성 유공충이 감별되었다(Table 2).

조립질 퇴적물의 상대적인 양을 구하기 위해, 일정량의 젖은 시료를 오븐에서 60°C로 약 48 시간 건조시킨 후 무게를 재었다. 건조된 시료는 63 μ m 체로 씻은 후 63 μ m보다 입도가 큰 퇴적물은 따로 오븐에 말린 후 무게를 재었다. 63 μ m보다 입도가 큰 퇴적물의 무게를 체질전의 건조시료 무게로 나눈 후 100을 곱한 값이 조립질 퇴적물의 상대적인 양이다.

퇴적물에 함유된 유공충을 조사하기 위하여 약 10~30 g의 건조시료를 63 μ m 체로 씻은 후, Otto microsplitter를 사용하여 저서성 유공충이 300 개체가 될 때까지 분할하여 동정하고 각종의 상대적인 양(%)을 계산하였다. 각 종의 상대적인 양은 Table 2에 있다. 부유성/저서성 유공충의 비율은 퇴적물에 함유된 유공충 100 개체를 계수하여 구하였다. 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양은 150 μ m보다 큰 입자들의 퇴적물에서 구하였다. 150 μ m보다 큰 입자들을 사용한 이유는 깨어진 유공충을 중복해서 세지 않기 위해서이다. 부유성 유공충 *G. menardii*는 일반적으로 250 μ m보다 크므로 퇴적물을 250 μ m 체를 사용하여 체질 한 후 조사하였다.

종다양성지수에는 3 가지 종류가 있다(Gibson and Buzas, 1973): (1) simple species diversity (S), (2) Shannon-Wiener information function[H(S)], (3) equitability(E). Simple species diversity는 각 시료 당 유공충 300 개체 속에서 나오는 종의 수이다. Shannon-Wiener information function은 $H(S) = -\sum P_i \times \ln P_i$ 로 정의된다. 여기서 S는 시료 속에 있는 유공충의 수이며 P_i 는 시료 속에 있는 i 번째 종의 비율이다. 이 information function의 장점은 퇴적물량의 영향을 거의 받지 않으며 매우 풍부하거나 희귀한 종에 의해서도 거의 영향을 받지 않고 일반적으로 나타나는 종에 의해서만 영향을 받는다(Gibson and Buzas, 1973)는 점이다. 이론적으로 최대의 H(S) 값은 모든 종이 골고루 분포할 때 나타난다. Equitability는 $E = e^{H(S)}/S$ 로 정의된다. E 값은 항상 1보다 작으며 시료에 있는 유공충이 완전한 균일 분포 상태에서 어느 정도 떨어져 있는지를 나타낸다. 모든 종이 균일하게 분포되었을 때는 $E = 1.0$ 이다. E 값이 낮을수록 유공충 종이 균일하게 분포되어 있지 않음을 의미한다.

결 과

표층퇴적물

조립질 퇴적물의 양은 수심이 제일 깊은(1,500 m) 코아 B에서 가장 작은 값(0.08%)을 보인다. 코아 B는 유공충 이외에 이매패, 석영, 패충아강, 방산충아강, 규조류, 해면 침상체를 함유하고 있다. 조립질 퇴적물의 양은 코아 H에서 가장 높다

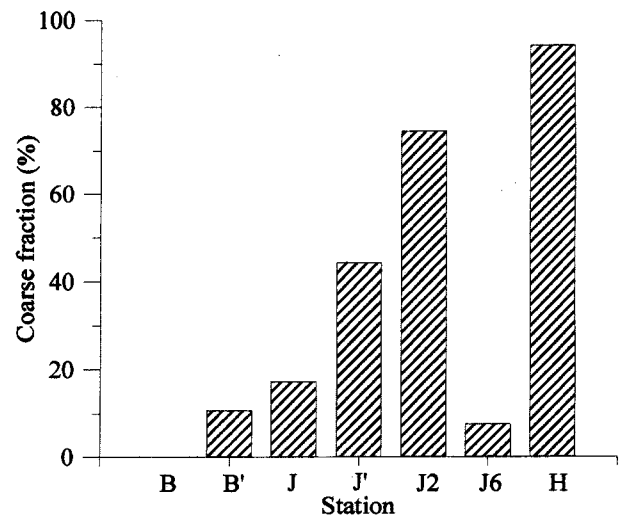


Fig. 2. Coarse fraction content of the surface sediment in each box core.

(94.12%). 코아 H는 많은 양의 석영 및 해면침상체를 함유하고 있으며, 코아 B'에서는 이매패류와 식물 조각이, 코아 J, J'에서는 석영, 패충아강, 해면침상체, 이매패류 조각 등이, 또 코아 J2에서는 패충아강류, 석영, 이매패류 조각이 그리고 코아 J6에서는 석영, 해면침상체 등이 나타난다. 해양투기장 내의 4 개의 코아(B, B', J, J')에서는 코아 J'(44.11%)를 제외하고는 조립질 퇴적물의 양이 적은 편이며, 코아 B, B', J, J'로 갈수록(즉, 수심이 얕아 질수록) 조립질 퇴적물의 양이 증가한다(Table 1; Fig. 2).

건조시료 10 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수는 수심이 제일 깊은 코아 B에서 가장 작게(460 개체), 수심이 비교적 얕은 코아 J'에서 가장 많이 나타난다(약 300,000 개체)(Table 3; Fig. 3). 코아 J2(약 70,000 개체) 및 코아 J6(약 30,000 개체)에서도 비교적 많은 양의 유공충이 관찰되었다(Table 3; Fig. 3).

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충의 수는 코아 J'에서 최대치(약 300,000 개체)를 보이며 코아 B, B'에서 최소치(약 300 개체)를 보인다(Table 3; Fig. 5). 코아 J'를 제외한 해양투기장 해역에서는 소량의 부유성 유공충만이 나타난다.

건조시료 10 g 당 들어있는 사질 유공충의 수는 코아 J2에서 가장 많다(772 개체). 수심이 제일 깊은 코아 B에서도 비교적 많은 수(134 개체)의 사질 유공충이 산출된다(Table 3; Fig. 4). 해양투기장 해역 중 코아 B, B'에서는 사질 유공충이 나타나지 않으나, 코아 J, J'에서는 나타나지 않는다(Table 3; Fig. 4).

건조시료 10 g 당 들어있는 총 유공충(저서성+부유성+사질)의 수는 코아 J'에서 가장 많고(약 600,000 개체), 해양투기장 해역의 코아 B, B'에서 가장 적다(약 1,000 개체)(Table 3; Fig. 6).

건조시료 10 g 당 들어있는 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양은 모든 코아에서 10% 이하로 나타난다(Table 3; Fig. 7). 코아 B에서는 150 μ m 이상의 퇴적물에서 부유성 유공충이 충분히 나오지 않아, 깨어진 부유성 유공충의 수를 계수하지 않았다.

부유성/저서성 유공충의 비율은 코아 B, B'를 제외한 다섯 개의 코아(J, J', J2, J6, H)에서 각 코아 당 약 50% 정도로 나타난다(Table 3; Fig. 8). 코아 B, B' 퇴적물에서는 충분한 양의 부유성, 저서성 유공충이 나타나지 않아 부유성/저서성 유공충 비율

Table 3. Various environmental parameters for each core (CF=percentage of coarse fraction, Ben/10 g=number of benthic foraminifera in a 10 g of sediment, Are/10 g=number of arenaceous foraminifera in a 10 g of sediment, Pl/10 g=number of planktonic foraminifera in a 10 g of sediment, P+B/10 g=number of planktonic plus benthic foraminifera in a 10 g of sediment, BrPl=percentage of broken planktonic foraminifera, P/B=percentage of planktonic/benthic foraminifera ratio, *G. men.*/100 g=number of *Globorotalia menardii* in a 100 g of sediment)

Sample	CF (%)	Ben/10 g	Are/10 g	Pl/10 g	P+B/10 g	BrPl (%)	P/B (%)	<i>G. men.</i> /100 g
B	0.08	460	134	299	759	na	na	none
B'	10.71	732	22	292	1024	4	4 in 40	none
J	17.27	7193	0	8479	15672	11	54	25
J'	44.11	299660	0	302550	602210	6	48	40
J2	74.46	72821	772	68446	141267	7	48	74
J6	7.53	29104	371	12698	41802	7	50	1
H	94.12	3467	22	3501	6968	7	50	2

na=not available.

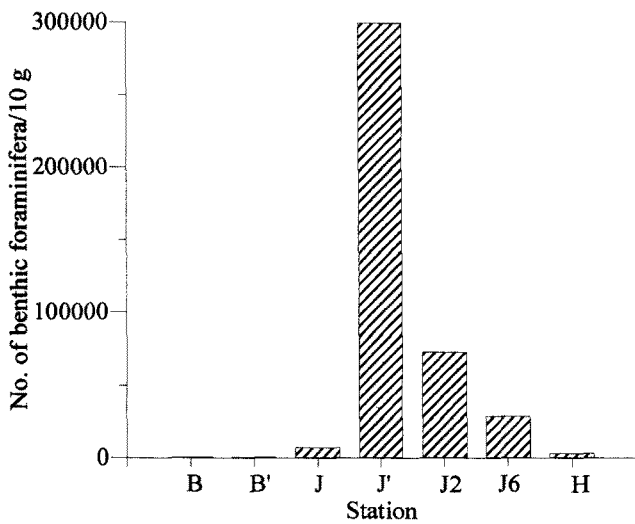


Fig. 3. Numbers of benthic foraminifera in the 10 g of dried surface sediment in each box core.

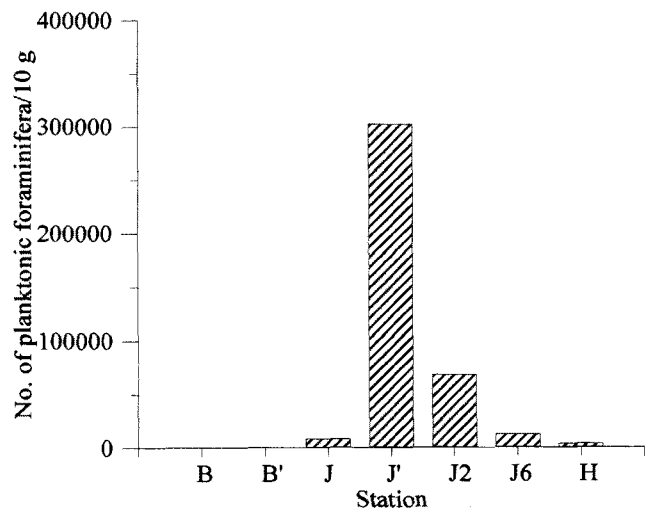


Fig. 5. Numbers of planktonic foraminifera in the 10 g of dried surface sediment in each box core.

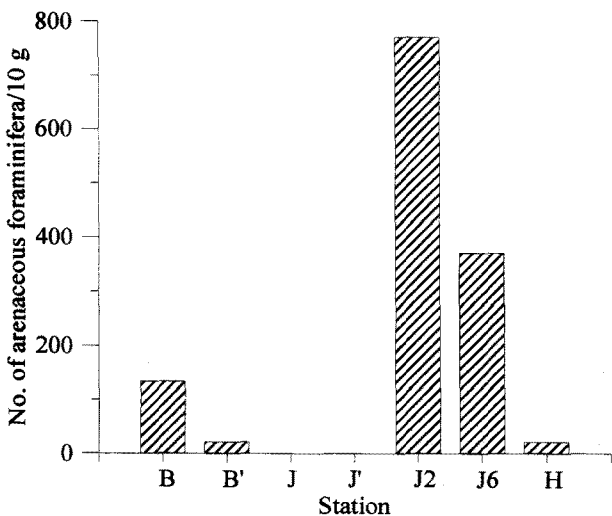


Fig. 4. Numbers of arenaceous foraminifera in the 10 g of dried surface sediment in each box core.

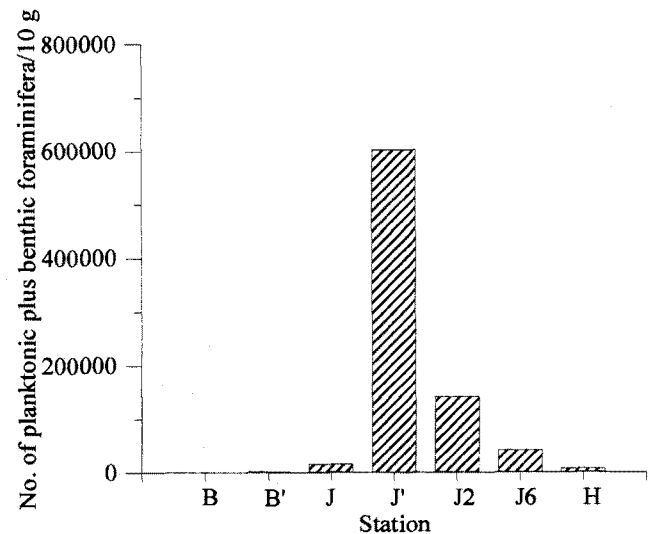


Fig. 6. Numbers of planktonic plus benthic foraminifera in the 10 g of dried surface sediment in each box core.

을 계산할 수 없었다.

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충 *G. menardii*는 코아 J2에서 가장 많이 나타나며(74 개체), 코아 B, B'에서는 나타

나지 않는다. *G. menardii*는 코아 J, J', J2로 갈수록 증가하는 경향을 보인다(Table 3; Fig. 9).

저서성 유공충의 종수는 코아 J2에서 가장 많고(42 종), 코아

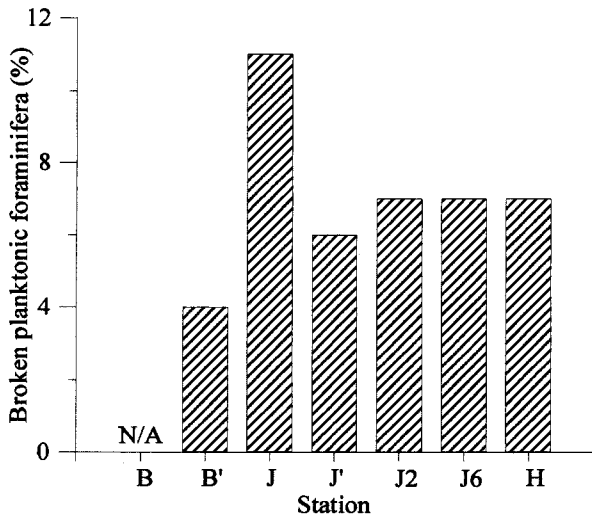


Fig. 7. Relative abundances of broken planktonic foraminifera of the surface sediment in each box core. N/A=not available.

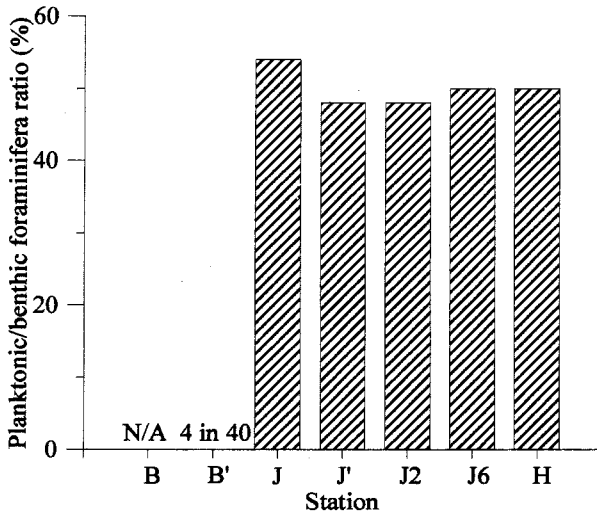


Fig. 8. Planktonic/benthic foraminifera ratio of the surface sediment in each box core. N/A=not available.

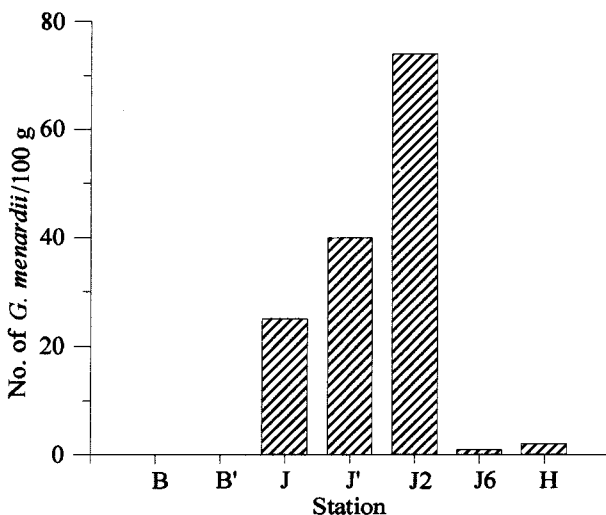


Fig. 9. Number of planktonic foraminifera *Globorotalia menardii* in the 10 g of dried surface sediment in each box core.

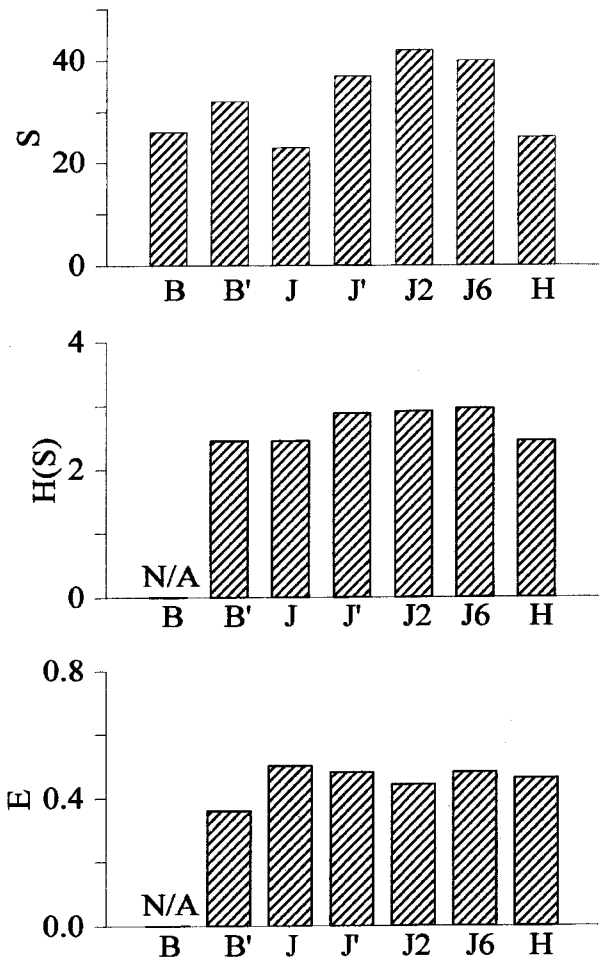


Fig. 10. Species diversity indices [S, H(S), E] of the surface sediment in each box core. S, H(S), and E refer to the number of species, Shannon-Wiener index, and equitability, respectively. N/A=not available.

H에서는 가장 작게(25 종) 나타난다(Table 2; Fig. 10). 투기장 해석인 B, B', J에서는 일반적으로 종의 수가 작게 나타난다. Shannon-Wiener information function은 코아 J6에서 가장 높은 값(2.96)을, 코아 B, B', H에서 가장 낮은 값을 보인다. 투기장 해석에서는 H(S)의 값이 비교적 낮다(Table 2; Fig. 10). Equitability 값은 코아 B'에서 가장 낮고(0.36), 다른 코아들에서는 서로 비슷한 값(0.44~0.50)을 보인다.

코아퇴적물

코아 B에서 조립질 퇴적물의 양은 0~0.08% 정도로 매우 적으며(Table 4), 코아 하부(약 10~33 cm)가 상부(0~10 cm)보다 조립질 퇴적물 양이 많다(Fig. 11). 건조시료 10 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수, 사질 유공충의 수 및 총 유공충의 수는 표층에서 2 cm 깊이까지 급격히 감소하며, 2 cm에서 코아의 최하부 퇴적물까지는 그 값이 매우 작다(Table 4; Fig. 11). 부유성 유공충은 표층, 24 cm, 26 cm에서 많은 양이 나타난다. 유공충의 종수는 표층퇴적물에서 가장 많다.

코아 J에서 건조시료 10 g 당 들어있는 조립질 퇴적물의 양, 저서성 유공충의 수 및 깨어진 부유성 유공충의 수는 표층에서

Table 4. Downcore values of various environmental parameters for Core B (All head captions are explained in Table 3)

Core depth (cm)	CF (%)	Ben/10 g	Arc/10 g	Pl/10 g	P+B/10 g
0	0.08	460	134	299	759
1	0.05	113	52	27	140
2	0.07	39	14	18	57
3	0.06				
4	0.06	19	4	36	55
5	0.05				
6	0.02	20	2	17	37
7	0.04				
8	0.02	14	0	12	26
9	0.01				
10	0.02	28	0	23	51
11	0.01				
12	0.05	7	0	29	36
13	0.05				
14	0.07	4	0	5	9
15	0.05				
16	0.05	5	0	11	16
17	0.06				
18	0.05	2	0	1	3
19	0.05				
20	0.06	6	0	50	56
21	0.07				
22	0.07	21	0	65	86
23	0.05				
24	0.06	20	0	251	271
25	0.05				
26	0.04	16	0	177	193
27	0.07				
28	0.04	9	0	9	18
29	0.00				
30	0.06	18	0	98	116
31	0.04				
32	0.06	4	0	123	127
33	0.06	10	0	62	72

코아 퇴적물 최하부로 갈수록 증가한다(Table 5; Fig. 12). 사질 유공충은 12 cm 깊이에서 건조시료 10 g 당 268 개체가 나오며 다른 깊이에서는 나타나지 않는다. 부유성 유공충의 수, 총 유공충의 수 및 부유성 유공충 *G. menardii*의 수는 표층에서 10 cm 깊이까지 증가하며, 10 cm에서부터는 하부로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(Fig. 12). 유공충의 종수는 표층과 10~11 cm 깊이 사이에 큰 차이가 없다(Fig. 14).

토 의

표층퇴적물

조립질 퇴적물의 양은 탄산칼슘의 용해 정도를 나타내는 지시자로 사용할 수 있다(Keir, 1980; Williams *et al.*, 1985). 용해 정도가 센 지역에서는 조립질 퇴적물의 양이 적어지게 된다(Backman and Shackleton, 1983/1984; Williams *et al.*, 1985). 본 연구지역 중 B 해역 표층퇴적물의 조립질 퇴적물 함량은 0.08%인데(Table 3; Fig. 2), 이렇게 낮은 값은 깊은 수심(1,500 m)으로 인하여 탄산칼슘이 용해되었기 때문이라 생각된다. 또한 저서성 유공충의 존재여부는 탄산염 보상심도 및 용해비약수심을 추정

하는데 사용될 수 있다(Kennett, 1982). 1,500 m 깊이인 B 해역의 표층퇴적물에서 저서성 유공충이 건조시료 10 g 당 460 개체가 산출되는데(Table 3; Fig. 2), 이는 다른 표층퇴적물에 비해 상당히 작은 숫자이다. 그러므로 연구지역에서 용해비약수심은 약 1,500 m 깊이에 위치해 있을 가능성이 있다. J, J' 해역이 B, B' 해역에 비해 조립질 퇴적물의 양이 많은데, 이는 J, J' 지역이 B, B' 지역에 비해 수심이 얕기 때문이다.

일반적으로 단위 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수는 수심이 깊어질수록 그리고 해안가에서 멀어질수록 증가한다(Polski, 1959). 하지만 본 연구에서는 연안에 가까운 J' 해역의 표층퇴적물에서 외해 지역에 비해 상당히 많은 양의 저서성 유공충이 산출되었다(Table 3; Fig. 3). 또한, 점토-실트 함량이 높은 퇴적물에서 보다 많은 수의 저서성 유공충이 산출되는 것으로 알려져 있으나(Sen Gupta, 1979), 본 연구 결과는 이러한 일반적 경향과도 상충되게 나타났다. 예를 들어, 투기장 해역인 J, J'를 비교해 보면, 두 지역은 수심이 비슷하나 J 해역이 해안으로부터 더 멀리 떨어져 있고(Table 1; Fig. 1), 점토-실트 함량 또한 J 해역에서 훨씬 높게 나타난다(Fig. 2). 하지만 J 해역의 표층퇴적물에서는 건조시료 10 g 당 약 8,000 개체의 저서성 유공충을 함유하고 있는 반면, J' 해역의 표층퇴적물은 J 해역보다 약 40 배 정도 많은 300,000 개체의 저서성 유공충을 함유하고 있다(Table 3; Fig. 3). 그러므로 해안으로부터의 거리 및 퇴적물의 종류는 본 연구해역에서는 저서성 유공충의 수를 조절하는 요인이 아니다. 일반적으로 표층수의 온도, 염도 및 용존산소의 양도 유공충의 수에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 하지만 투기장 해역인 J, J'에서 위에 언급한 수괴의 물리적인 특성은 큰 차이가 나지 않는다. 산소최소층 또한 저서성 유공충의 수를 조절한다. 예를 들어, 태평양에서 얕은 수심의 산소최소층(150~400 m) 및 깊은 수심의 산소최소층(900~1,700 m)에서 유공충의 수가 적게 나타난다(Ingle and Kolpack, 1980). 하지만 J, J' 해역은 수심이 비슷하며 물속에 녹아있는 용존산소의 양 또한 큰 차이가 없다. 퇴적물 또한 유공충의 수에 많은 영향을 미친다. 퇴적물이 높으면 희석 효과로 인해 상대적으로 유공충의 수가 적어지기 때문에 퇴적물이 낮을 때 많은 수의 유공충이 나타난다(McGlasson, 1959).

그러면 저서성 유공충이 J' 해역의 표층퇴적물에서 많이 나오는 이유는 무엇인가? 일반적으로 해수의 용승작용이 일어나는 곳에서 많은 양의 저서성 유공충이 나타난다(Phleger, 1964). 이유는 용승작용으로 인해 영양염이 풍부한 중층수의 물이 표층수에 공급되어 유공충의 먹이가 되는 식물성 플랑크톤의 양을 증가시키기 때문이다. 본 해양투기장 해역 중 J' 지역에서 J 지역보다 용승작용이 강하게 일어나는 것 같지는 않다. 왜냐하면 용승작용이 일어나는 곳에 많이 서식하는 저서성 유공충 속인 *Bolivina*나 *Uvigerina*가 Table 2에서 보여지는 바와 같이 두 해역에서 공히 많이 나타나지 않기 때문이다.

한국해양연구소(1996)에서 발행한 보고서에 의하면 B, B', J, J' 해역에 투기되는 해양폐기물은 해수 중에서 쉽게 분해, 확산되는 무독성의 수용성, 유기성 폐기물으로서 1996년 1월부터 9월까지 버린 폐기물의 종류는 분노 및 정화조오니, 폐수배출시설 중 음, 식품포 제조시설 및 해산물 판매장 시설에서 발생되

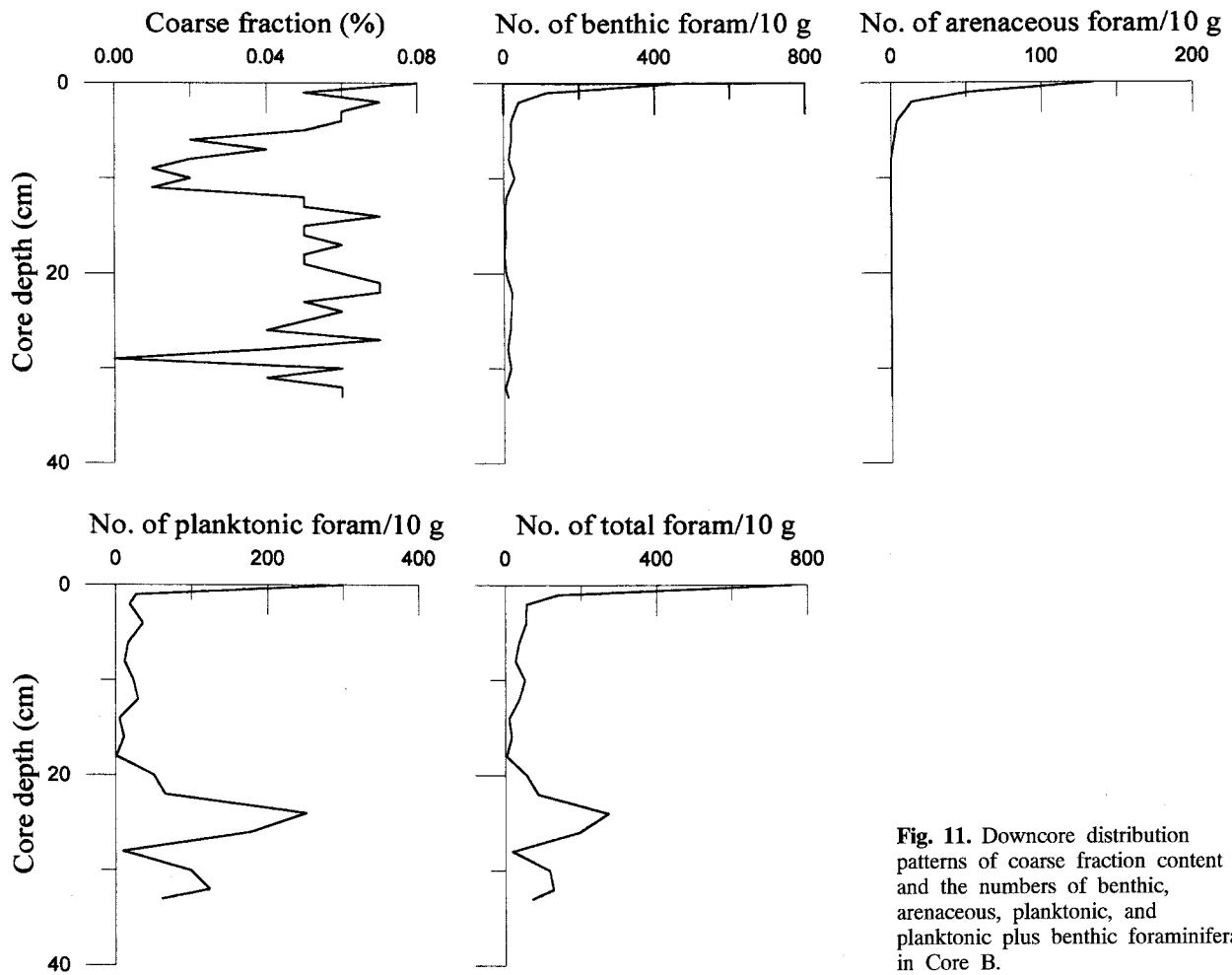


Fig. 11. Downcore distribution patterns of coarse fraction content and the numbers of benthic, arenaceous, planktonic, and planktonic plus benthic foraminifera in Core B.

Table 5. Downcore values of various environmental parameters for Core J (All head captions are explained in Table 3)

Depth (cm)	CF (%)	Ben/10 g	Are/10 g	Pl/10 g	P+B/10 g	BrPl (%)	P/B (%)	G. men./100 g
0	17.27	7193	0	8479	15672	11	54	25
1	16.25							
2	17.68	7477	0	13584	21061	14	67	32
3	18.62							
4	16.65	10676	0	17752	28428	13	65	64
5	14.49							
6	14.03	10780	0	16921	27791	10	62	70
7	12.91							
8	17.48	14992	0	20332	35324	10	56	48
9	23.03							
10	14.92	12832	0	34903	47735	12	51	46
11	18.32							
12	21.56	15832	268	14312	30144	15	50	45
13	24.29							
14	23.32	12427	0	16576	29003	17	49	43
15	17.03							
16	24.77	14575	0	20846	35421	19	58	41
17	16.85							
18	24.68	14380	0	17841	32221	23	5	42

는 유기성오니, 수질오염방지시설 중 생물학적 처리시설에서 발생하는 유기성오니, 수산물가공 잔재물, 하수 및 정수오니, 준

설토 및 패각류, 폐산(pH < 2.0), 폐알칼리(pH > 12.5) 등이다.

해양폐기물 투기지역의 하나인 J' 해역에서 저서성 유공충이 많이 산출되는 이유는 폐기물이 유공충이 번식하기에 좋은 영양분의 역할을 했기 때문으로 생각되지만, 이에 대한 확고한 결론을 내리기 위해서는 해양투기장 해역과 그 인근 해역의 표층 퇴적물에 함유된 유공충에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 만약 해양폐기물이 저서성 유공충 수에 결정적인 영향을 미쳤다면 투기해역의 하나인 J 해역에서도 저서성 유공충이 J' 해역에서처럼 다량으로 산출되어야 할 것이다. 하지만 J 해역에서는 J' 해역에 비해 매우 적은 양의 저서성 유공충이 산출된다. 일반적으로 유공충의 수는 지역마다 많은 차이를 보이는(patchiness) 하지만 J' 해역에서 J 해역에 비해 유공충의 수가 40 배 이상 많이 산출되므로 이를 patchiness의 결과로만 설명하기는 어렵다. 이에 대한 이유는 현재로서는 정확히 알 수 없다. 이의 연구를 위해 J, J' 투기장 해역 내의 더 많은 표층퇴적물의 유공충 수의 자료가 필요하다. J, J' 투기장 해역의 북동쪽에 위치해 있는 B, B' 투기장 해역에서는 매우 적은 수의 저서성 유공충이 산출된다. B 해역에서 저서성 유공충이 많이 나오지 않는 이유는 앞에서 언급했듯이 수심이 깊어서(1,500 m) 유공충이 용해되었기 때문으로 사료된다. 하지만 B' 해역은 수심이 949 m 정도임에도 불구하고 저서성 유공충이 많이 나타나지 않는다. 이에 대한

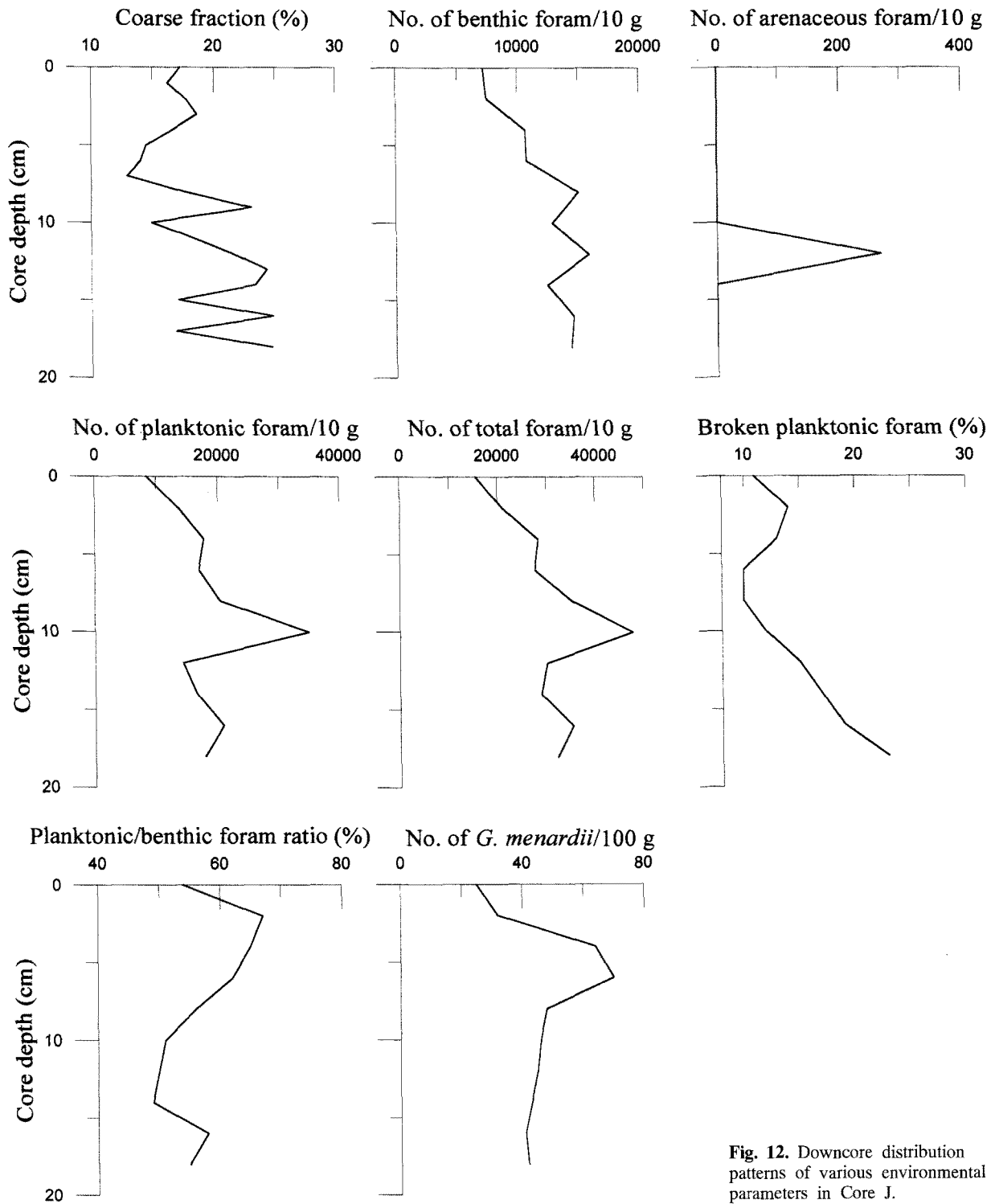


Fig. 12. Downcore distribution patterns of various environmental parameters in Core J.

원인은 B, B' 해역이 J, J' 해역에 비해 고위도에 위치한 관계로 수온이 낮아 유공충이 원래 많이 살지 않았기 때문일 수 있다. 그러나 B, B' 해역과 주변해역에서의 유공충 수(density)에 대한 연구 논문이 없는 관계로 B, B' 해역에서 원래 유공충이 많이 살지 않았는지에 대해서 현재로서는 알 수 없다.

B, B' 해역에서 J, J' 해역에 비해 실제로 유공충이 많이 살지 않는다면, 그 이유는 투기장에 버린 폐기물의 종류가 다르기 때

문일 수도 있다. B, B' 해역에는 1996년 1월부터 9월까지 총 1,499,248 톤의 폐기물이 투기되었으며, 그 종류는 분뇨(100,533 톤), 폐수(111,273 톤), 폐산(197,840 톤), 폐수오니(919,661 톤), 하수오니(98,384 톤), 기타오니 (47,835 톤), 무기성오니(16,470 톤), 수산가공 잔재물(7,252 톤) 등이다(한국해양연구소, 1996). 같은 기간동안 J, J' 해역에는 총 1,061,194 톤이 폐기물이 투기 되었으며, 그 종류는 분뇨(100,533 톤), 폐수(111,273 톤), 폐산

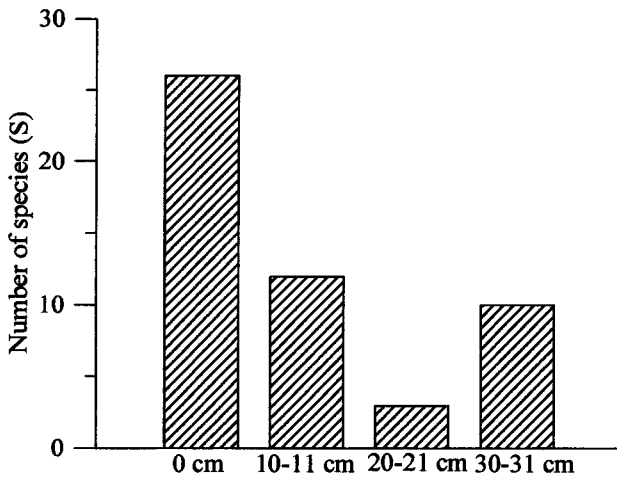


Fig. 13. Numbers of species in Core B at the surface and 10–11 cm, 20–21 cm, and 30–31 cm downcore depths, respectively.

(83 톤), 폐수오니(5,422 톤), 하수오니(5 톤), 수산가공 잔재물(3,904 톤) 등이며, 기타오니, 무기성오니 등은 버려지지 않았다(한국해양연구소, 1996). 이러한 폐기물의 양 및 종류의 차이가 투기장 내에 서식하는 유공충의 수에 영향을 미치는지에 대해서는 아직 연구가 되어있지 않기 때문에 어떠한 결론을 내리기가 힘들며 미래에 연구되어야 할 사항이다.

건조시료 10 g 당 들어있는 사질 유공충의 수는 코아 J2의 표층퇴적물에서 가장 많이 나온다. 사질 유공충의 분포와 환경과의 관계에 관해서는 많은 연구가 진행되었으며(Theyer, 1971; Hofker, 1972; Kellogg, 1976; Lohmann, 1978; Corliss, 1979; Milam and Anderson, 1981; Lindberg and Auras, 1984; Pujos-Lamy, 1984; Kaminski, 1985), 사질 유공충의 분포에 영향을 미치는 요소로는 수심, 수피의 특성, 저층의 특성(Milam and Anderson, 1981), 온도(Hofker, 1972), 용존산소의 양(Lohmann, 1978), 탄산칼슘의 저포화정도(Corliss, 1979) 등이 알려져 있다. 사질 유공충의 분포는 온도, 염도, 수심 따위 보다 지리적인 위치에 의해서 더 많은 영향을 받는다는 보고도 있다(Lindberg and Auras, 1984). Milam and Anderson(1981)은 탄산칼슘의 양이 사질 유공충의 분포에 더 많은 영향을 미친다고 했다. 이러한 예에서 보듯이 사질 유공충의 분포에 영향을 주는 정확한 인자는 알려져 있지 않지만, 주로 조립질로 이루어진 저층퇴적물에서 많은 양의 사질 유공충이 나타난다(Polski, 1959; Finger and Lipps, 1981). 코아 J2에서 사질 유공충이 많이 나타나는(772 개체/10 g) 것은 조립질 퇴적물 함량이 높기(74.46%) 때문으로 생각된다. 그러나 코아 H는 조립질 퇴적물의 양이 94.12%를 차지함에도 불구하고 건조시료 10 g 당 22 개체의 사질 유공충만이 나온다(Table 3; Fig. 4). B, B' 해양투기장 해역에서는 사질 유공충이 발견되나 J, J' 투기장 해역에서는 발견되지 않는다(Fig. 4).

본 연구지역 중 B 해역을 제외한 나머지 6 개 해역의 표층퇴적물에서 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양(%)은 매우 낮은 값을 보인다(10% 이하)(Fig. 7). 깨어진 부유성 유공충의 양은 탄산칼슘의 용해도와 관련이 있다(Phleger *et al.*, 1953; Berger, 1970; Thunell, 1976; Vincent and Berger, 1981; Balsam,

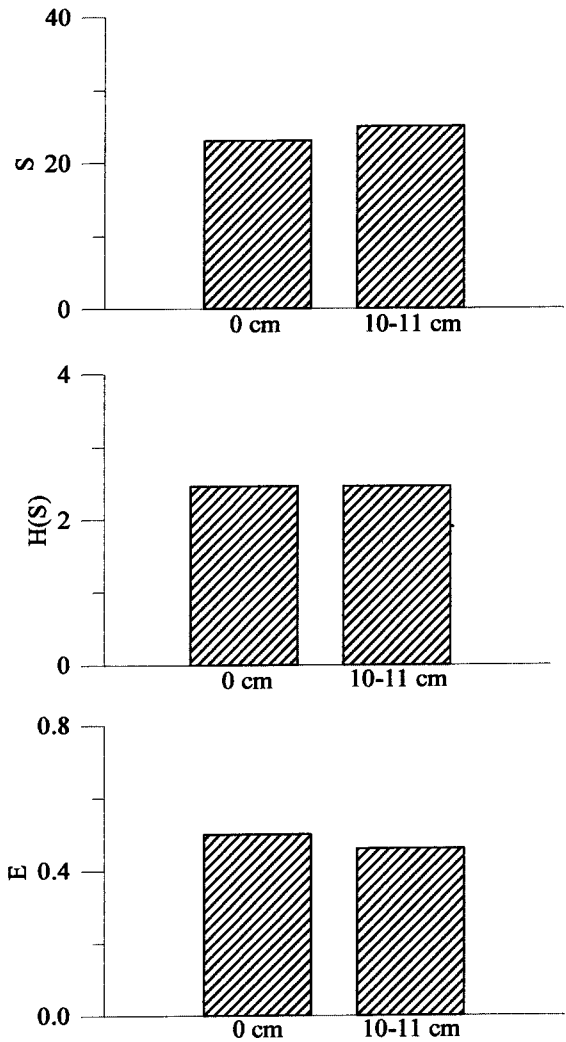


Fig. 14. Species diversity indices [S, H(S), E] in Core J at the surface and 10–11 cm downcore depth.

1982). Berger(1970)는 탄산칼슘의 용해가 활발히 일어나면 깨어진 부유성 유공충의 수도 증가한다고 했다. 본 연구지역에서 깨어진 부유성 유공충의 수가 매우 낮은 것은 저층수의 부식성이 강하지 않아서 나타난 현상으로 생각된다. 한편, 코아 B에서는 충분한 양의 부유성 유공충이 나오지 않았기 때문에 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양을 알 수 없었다. Chen and Wang(1995)의 연구에 의하면 동해에서 방해석(calcite) 불포화 수층은 1,300 m보다 깊은 곳에서 나타난다. 따라서 깊이가 1,500 m인 B 해역에서 부유성 유공충이 많이 나타나지 않은 이유는 부식성이 강한 저층에 의해서 유공충이 용해되었기 때문으로 생각된다.

부유성/저서성 유공충의 비율(P/B ratio)은 고수심을 해석하는데 사용되어 왔다(Parker and Berger, 1971). P/B ratio는 수심이 얇은 곳에서 깊은 곳으로 갈수록 증가하며 탄산칼슘의 보존 정도를 나타낸다. 또한 유공충이 퇴적된 이후의 선택적 용해에 의해서도 영향을 받는다(Berger, 1968, 1973). 본 연구지역에서 정점 B, B'를 제외한 나머지 5 개 정점(J, J', J2, J6, H)의 P/B ratio는 약 50% 정도로(Fig. 8) 서로 유사한 값을 보이는데, 이는 수심이 비슷하기 때문으로 해석된다. 다른 한편으로는 J, J' 해양

투기장 해역과 인근 해역(J2, J6, H)의 저층수가 부식성이 강하지 않기 때문으로도 해석된다. 즉 J, J' 해역에 투기된 유기물의 분해가 저층수의 부식성에 별다른 영향을 끼치지 않은 것으로 생각된다.

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충 *G. menardii*의 수가 Fig. 9에 있다. *G. menardii*는 따뜻한 물(tropical to subtropical)에 살며(Beard, 1969; Tolderlund and Be, 1971; Oba *et al.*, 1991), 해수의 온도가 17.2~29.5°C, 염도가 35.75~36.63‰인 곳에서 가장 풍부하게 나타나며(Tolderlund and Be, 1971), 주로 수심 약 82~100 m에서 서식한다(Polski, 1959; Frerichs, 1971). 본 연구지역에서 *G. menardii*의 수는 J2, J, J, H 해역으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(Fig. 9). 이는 따뜻한 쿠로시오 해류의 영향이 J2, J, J, H 해역으로 갈수록 감소하기 때문으로 생각된다. J 해역에 인접한 J6 해역에서는 매우 적은 수(1 개체/10 g)의 *G. menardii*가 나타나는데, 이는 쿠로시오 해류가 J6 지역에는 거의 도달하지 않음을 지시한다. B, B' 해역에서는 *G. menardii*가 나타나지 않는데, 이는 쿠로시오 해류가 이 지역까지 도달하지 않거나, 아니면 이 지역의 깊은 수심 때문에 *G. menardii*가 용해되어 없어졌기 때문인 것으로 생각된다.

종다양성(species diversity)

지역마다 종다양성이 다르다는 것은 오랫동안 많은 박물학자들 사이에 잘 알려진 사실이다(Gibson and Buzas, 1973). 하지만 어떤 환경요인이 종다양성을 조절하는지에 대해서는 아직도 완전히 알려져 있지 않으며, 이에 대해서는 많은 학설이 있다. 시간, 기후변화, 환경의 안정성, 수괴의 공간적인 이질성, 경쟁, 포식, 생산성, 지리적 또는 지형학적 요인, 영양분 등이 현재까지 지역마다 종다양성이 다른 이유를 설명하는데 사용된 학설들이다.

많은 연구들에 의하면 종다양성은 위도에 따라 변화한다(Fischer, 1960; Simpson, 1964; Valentine, 1966; Cook, 1969; Kiester, 1971). 또한 수심에 따라 증가한다는 보고도 있으며(Hessler and Sanders, 1967; Buzas and Gibson, 1969), 탄산칼슘의 양 및 저질(lithology)에 의해 영향 받는다는 보고도 있다(Watkins, 1989). 한편 기후의 안정성이 종다양성에 가장 큰 영향을 미친다는 주장도 있다(Klopfer, 1959; Fischer, 1960).

본 연구지역에서 따뜻한 물(warm water)에 사는 종인 *G. menardii*가 가장 많이 나타나는 코아 J2에서 가장 다양한 종이 나타난다(42 종). 이것은 종다양성이 부분적으로 해수의 온도에 의해서 조절됨을 의미한다. 해수의 온도가 높은 곳에서 다양한 종이 서식한다는 보고는 많이 있다(Berggren, 1969; Stehli *et al.*, 1972; Williams *et al.*, 1985; Wise, 1988; Erba, 1992; Huber and Watkins, 1992). B, B' 해양투기장 해역에서 해수의 온도가 낮음에도 불구하고 J 해역보다 종다양성이 큰 이유는 B, B' 해역의 수심이 깊기 때문인 것으로 생각된다. 즉 수심이 깊은 지역은 얕은 지역에 비해 물리적인 요소(온도, 염도, 파랑의 활동)의 변화가 작기 때문에 다양한 종이 서식하게 된다(Hessler and Sanders, 1967; Sanders, 1968).

코아 B에서는 충분한 양의 저서성 유공충이 나오지 않아 H(S)와 E 값을 계산하지 못하였다. J, J2, J6 해역에서 S, H(S) 값이 가장 높게 나타난다(Fig. 10). 이는 J, J2, J6 지역의 저층수가

가장 안정된 상태에 있음을 의미한다. 해양투기장 해역 중 B', J 해역은 J' 해역에 비해 낮은 S, H(S) 값을 갖는다(Fig. 10). 이는 B', J 해역이 J' 해역에 비해 저층상태가 불안정함을 의미한다.

유공충의 E 값을 조절하는 요인에 대해서는 많은 연구가 되어 있지 않다. 본 연구지역 중 투기장 해역인 B' 지역이 가장 낮은 E 값을 갖는다. 이는 B' 해역의 유공충 분포가 다른 지역에 비해 균일하지 않음을 의미한다. 일반적으로 균일한 유공충 분포는 수심이 깊은 곳에서 나타난다. B' 해역을 제외한 다른 지역은 투기장 해역 J, J'를 포함하여 거의 비슷한 E 값을 갖는데 이는 유공충 분포의 균일도가 유사함을 의미한다(Fig. 10).

코아퇴적물

앞에서 언급했듯이 조립질 퇴적물의 양은 탄산칼슘의 용해정도를 해석하는데 사용할 수 있다(Keir, 1980; Williams *et al.*, 1985). 즉, 탄산칼슘의 용해정도가 증가하면 조립질 퇴적물의 양은 감소하게 된다(Williams *et al.*, 1985). 또한 조립질 퇴적물의 양은 퇴적물의 퇴적형태를 지시한다. 많은 양의 조립질 퇴적물은 재동된 퇴적물에서 나타난다(Douglas, 1973; Yamashiro, 1975; Berger and Killingley, 1977). 조립질 퇴적물의 짧은 기간 동안의 변화를 해석하기는 어렵지만(Backman *et al.*, 1986) 코아 B의 약 10 cm에서 표층퇴적물까지 조립질 퇴적물의 양은 증가하는데, 이는 저층수의 부식성 정도가 10 cm에서 표층으로 갈수록 감소하였기 때문이거나 아니면 저층수 활동의 증가와 관련되었을 수 있다. 또한 코아퇴적물 12 cm부터 저층퇴적물(33 cm)까지는 표층부터 11 cm보다 조립질 퇴적물의 양이 많고(작은 차이이기도 하지만) 변동이 적다. 이는 저층수의 활동이 하부 퇴적물(12~33 cm)이 퇴적되는 동안에 상부 퇴적물(0~11 cm)이 퇴적되는 동안보다 약간 강했으며 또한 저층수 속도의 변동도 적었음을 의미한다(Fig. 11). 또 다른 가능성은 하부 퇴적물(12~33 cm)이 퇴적되는 동안 저층수의 부식성이 상부 퇴적물(0~11 cm)이 퇴적되는 기간보다 약했음을 의미할 수 있다.

저서성 및 사질 유공충의 수는 2 cm보다 깊은 곳으로 갈수록 급격히 감소한다. 이는 공극수 내에 이산화탄소가 상당히 풍부해서 유공충이 용해되었기 때문인 것으로 생각된다. 종의 수(Fig. 13) 또한 저층에서 보다 표층에서 많이 나타나는데, 이는 저층퇴적물이 용해를 받아 용해에 약한 종이 녹아 없어졌기 때문이다. 부유성 유공충이 약 22 cm부터 33 cm 구간까지 증가한다(Fig. 11). 이에 대해서는 몇 가지 가능성이 있다. 첫번째는 이 구간의 퇴적물이 퇴적되는 동안에 유기탄소의 양이 증가했을 가능성이 있다. Ortiz and Mix(1992)의 연구에 의하면 유기탄소의 양이 증가하면 부유성 유공충의 수도 증가한다고 한다. 두번째 가능성은 식물성 플랑크톤의 생산성이 높거나(Tolderlund and Be, 1971) 클로로필의 함량이 높을 때 부유성 유공충의 수가 증가한다(Fairbanks and Wiebe, 1980). 이에 대한 검증을 위해서는 유기탄소의 양 및 클로로필의 자료가 필요하다. 마지막 가능성은 B 지역의 22~33 cm 구간이 퇴적되는 동안 쿠로시오 해류의 영향이 컸고, 이로 인해 많은 부유성 유공충이 운반되었을 가능성이다.

J 지역의 조립질 퇴적물의 함량은 코아 저층(18 cm)에서 표층으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(Fig. 12). 이는 저층수의

활동이 이 기간 동안 감소했음을 의미한다. 또한 J 지역 하부(약 10~18 cm)에서의 조립질 퇴적물의 함량이 상부(0~10 cm)보다 높다(Fig. 12). 이는 B 지역과 마찬가지로 하부 퇴적물이 퇴적되는 동안의 저층류가 상부 퇴적물이 퇴적될 때보다 강했음을 의미할 수도 있다.

저서성 유공충 및 깨어진 유공충의 수는 코아 B와 달리 코아 J는 하부로 갈수록 증가하는 경향을 보인다(Fig. 12). 이는 저층수의 부식성이 코아 상부에서 하부로 갈수록 강해졌기 때문이라 생각된다. 표층에서 약 10 cm까지, 저서성 유공충, 부유성 유공충 및 저서성+부유성 유공충의 수는 점진적으로 감소한다. 이는 유공충의 수가 코아 상부에서 하부로 갈수록 감소하는 일반적인 경향과는 반대이다. 여기에 대한 첫번째 가능성은 투기장 해역에 버린 폐기물이 표층수 및 저층수에 영향을 주어 표층 퇴적물에서 저서성 및 부유성 유공충의 수가 하부퇴적물에서 보다 감소했기 때문일 수 있다. 두번째는 폐기물과는 관계없이 코아 상부에서 하부로 갈수록 유공충의 생산성이 감소했기 때문일 수 있다.

부유성 유공충 *G. menardii*는 코아퇴적물 6 cm에서 표층으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 쿠로시오 해류의 영향이 6 cm에서 표층까지 퇴적되는 시간 동안 점진적으로 감소했음을 의미한다. *G. menardii*의 양이 6 cm부터 퇴적물 저층(18 cm)까지는 많은 차이가 나지 않는데 이는 J 지역에 퇴적물 6 cm에서 18 cm가 퇴적되는 동안 쿠로시오 해류의 유입이 비교적 일정했음을 지시한다.

중다양성지수[S, H(S), E]는 표층 및 10~11 cm 깊이의 퇴적물에서 비슷한 값을 보인다(Fig. 13). 이는 저층의 안정성 정도가 표층 및 10~11 cm가 퇴적되는 동안에 비슷했음을 나타낸다.

결 론

표층퇴적물

동해 남부해역에 위치한 해양투기장 해역인 B, B'(포항 동쪽 약 125 km의 공해상)는 용해비약수심 내에 위치해 있을 가능성이 있다. 해양투기장 해역 B, B'와 부산 동쪽 약 90 km의 공해상에 위치한 해양투기장 해역 J, J' 중 J' 해역에서 매우 많은 양의 저서성 및 부유성 유공충이 나타난다. 깨어진 유공충의 수는 투기장 해역과 인근 해역에서 공히 매우 낮은 값을 보이며 이는 투기장 해역에 버려진 폐기물의 유기물 분해가 저층수의 부식성을 증가시키지 않았음을 의미한다.

투기장 해역 B, B'에서 다른 해역과 비교해 유공충의 중다양성이 작게 나타난다. 이는 B, B' 해역의 깊은 수심 때문에 용해에 약한 저서성 유공충 종이 선택적으로 녹아 없어졌거나 아니면 투기된 폐기물의 영향으로 환경에 적합하지 않은 종이 선택적으로 살지 못하기 때문일 것으로 생각된다. 투기장 해역인 B', J 해역이 다른 해역과 비교해 낮은 H(S) 값을 보이는데, 이는 B', J 해역의 저층수가 인근 해역에 비해 불안정함을 의미한다. J', J2, J6 해역에서 가장 높은 S, H(S) 값이 나타나는데, 이는 J', J2, J6 해역의 저층수가 다른 해역에 비해 매우 안정되어 있음을 의미한다.

부유성 유공충 *G. menardii*의 수는 J2 해역에서, J', J 해역으

로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 따뜻한 쿠로시오 해류의 영향이 J2 해역에서 J', J 해역으로 갈수록 감소하기 때문으로 해석된다. J2, J', J 해역과 바로 인접한 J6, H 해역에서는 매우 소량의 *G. menardii*가 나타나는데 이는 쿠로시오 해류의 영향이 J2, J', J 해역에 비해 J6, H 해역에서 약하기 때문으로 생각된다.

코아퇴적물

투기장 해역인 B, J 해역에서는 저층류의 활동양상이 다를 수 있다. J 해역이 B 해역에 비해 조립질 퇴적물의 양이 많은데 이는 수심이 얕은 이유도 있지만 또한 강한 저층류의 활동과 관련 되었을 수도 있다. B 해역에서는 저서성 유공충의 수가 코아 하부로 갈수록 급격히 감소하는데 이는 아마도 공극수가 부식성이 있어서 저서성 유공충이 용해되었기 때문인 것 같다. 하지만 J 해역에서는 오히려 저서성 유공충의 수가 서서히 증가하는 경향을 보이는데, 이는 저서성 유공충의 생산성이 증가했기 때문인지 아니면 해역에 버린 폐기물의 영향인지는 현재로서는 정확히 알 수 없다. 이를 알기 위해서는 투기장 해역 및 주변해역에서의 더 많은 퇴적물 분석이 필요하다. 깨어진 유공충의 수는 표층에서 코아 하부로 갈수록 증가하며 이는 공극수의 부식성 정도가 코아 하부로 갈수록 증가하였기 때문이다.

J 해역에서는 쿠로시오 해류의 유입정도가 깊이 별로 차이가 있다. 약 6 cm 깊이에서 표층까지의 퇴적물이 퇴적되는 동안 쿠로시오 해류의 유입(영향)이 감소했을 가능성이 있다. 약 6 cm 코아 깊이에서 저층(18 cm) 퇴적물이 퇴적되는 동안 쿠로시오 해류의 영향은 일정했을 가능성이 있다. J 해역에서 중다양성 지수[S, H(S), E]는 표층 퇴적물 및 10~11 cm 깊이 퇴적물에서 크게 변화하지 않는다. 이는 표층 및 10~11 cm 깊이의 퇴적물이 퇴적되는 동안은 저층 안정도에 큰 변화가 없었음을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 한국해양연구소의 기본연구사업비(PE 97-654)에 의해 수행되었다. 본 연구를 위해 경제적인 지원을 해 준 한국해양연구소에 감사 드립니다. 현장에서 박스코아를 채취해 주신 한국해양연구소 해양화학부에 계신 모든 분들께도 감사 드립니다. 본 원고의 교정을 해주신 장순근 박사님과 원고의 심사를 해주신 익명의 심사위원 두 분께 감사 드립니다. 또한 많은 수고를 해주신 이창복 편집위원장님과 김승범 편집간사님께도 감사 드립니다.

참고문헌

- 한국해양연구소, 1996. 해양환경 감시 및 평가기술(해양투기장 해역의 환경모니터링 기술), 제 2단계 1차년도 연차보고서. BSPN 00304-946-4, 373 pp.
- Alve, E., 1991. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, western Norway. *J. Foramin. Res.*, **21**: 1-19.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. *J. Foramin. Res.*, **25**: 190-203.

- Backman, J. and N.J. Shackleton, 1983/1984. Quantitative bio-chronology of Pliocene and early Pleistocene calcareous nannofossils from the Atlantic, Indian and Pacific oceans. *Mar. Micropaleontol.*, **8**: 141–170.
- Backman, J., P. Pestiaux, H. Zimmerman and O. Hermelin, 1986. Palaeoclimatic and palaeoceanographic development in the Pliocene North Atlantic: *Discoaster* accumulation and coarse fraction data. In: North Atlantic Palaeoceanography, edited by Summerhayes, C.P. and N.J. Shackleton, *Geol. Soc. (Lond.) Spec. Publ.*, **21**: 231–242.
- Balsam, W.L., 1982. Carbonate dissolution and sedimentation on the mid-Atlantic continental margin. *Science*, **217**: 929–931.
- Bates, J.M. and R.S. Spencer, 1979. Modification of foraminiferal trends by the Chesapeake-Elizabeth sewage outfall, Virginia beach, Virginia. *J. Foram. Res.*, **9**: 125–140.
- Beard, J.H., 1969. Pleistocene paleotemperature record based on planktonic foraminifers, Gulf of Mexico. *Trans. Gulf Coast Ass. Geol. Soc.*, **XIX**: 535–553.
- Berger, W.H., 1968. Planktonic foraminifera: Selective solution and paleoclimatic interpretation. *Deep-Sea Res.*, **15**: 31–43.
- Berger, W.H., 1970. Planktonic foraminifera: Selective solution and the lysocline. *Mar. Geol.*, **8**: 111–138.
- Berger, W.H., 1973. Deep-sea carbonates: Pleistocene dissolution cycles. *J. Foram. Res.*, **3**: 187–195.
- Berger, W.A. and J.S. Killingley, 1977. Glacial–Holocene transition in deep-sea carbonates: selective dissolution and the stable isotope signal. *Science*, **197**: 563–566.
- Berggren, W.A., 1969. Rates of evolution in some Cenozoic planktonic foraminifera. *Micropaleontology*, **15**: 351–365.
- Bresler, V. and V. Yanko, 1995. Chemical ecology: A new approach to the study of living benthic epiphytic foraminifera. *J. Foram. Res.*, **25**: 267–279.
- Buzas, M.A. and T.G. Gibson, 1969. Species diversity: Benthic foraminifera in western North Atlantic. *Science*, **163**: 72–75.
- Chen, C.-T.A. and S.-L. Wang, 1995. Carbonate chemistry of the Sea of Japan. *J. Geophys. Res.*, **100**: 13737–13745.
- Collins, E.S., D.B. Scott, P.T. Gayes, and F.S. Medioli, 1995. Foraminifera in Winyah bay and north inlet marshes, south Carolina: Relationship to local pollution sources. *J. Foram. Res.*, **25**: 212–223.
- Cook, R.E., 1969. Variation in species density in North American birds. *Syst. Zool.*, **18**: 63–84.
- Corliss, B.H., 1979. Recent deep-sea benthonic foraminiferal distribution in the southeast Indian Ocean: Inferred bottom water routes and ecological implications. *Mar. Geol.*, **31**: 115–138.
- Culver, S.J. and M.A. Buzas, 1995. The effects of anthropogenic habitat disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *J. Foram. Res.*, **25**: 204–211.
- Douglas, R.G., 1973. Planktonic foraminiferal biostratigraphy in the central north Pacific Ocean. *Init. Rept. DSDP*, **17**: 673–694.
- Ellison, R.L., R. Broome and R. Ogilvie, 1986. Foraminiferal response to trace metal contamination in the Patapsco river and Baltimore harbour, Maryland. *Mar. Pollution Bull.*, **17**: 419–423.
- Erba, E., 1992. Calcareous nannofossil distribution in pelagic rhythmic sediments (Aptian–Albian) Piobbico core, central Italy. *It. Paleontol. Stratigr.*, **97**: 455–484.
- Fairbanks, R.G. and P.H. Wiebe, 1980. Foraminifera and chlorophyll maximum: vertical distribution, seasonal succession, and paleoceanographic significance. *Science*, **209**: 1524–1526.
- Finger, K.L. and J.H. Lipps, 1981. Foraminiferal decimation and repopulation in an active volcanic caldera, Deception Island, Antarctica. *Micropaleontology*, **27**: 111–139.
- Fischer, A.G., 1960. Latitudinal variations in organic diversity. *Evolution*, **14**: 64–81.
- Frerichs, W.E., 1971. Planktonic foraminifera in the sediments of the Andaman Sea. *J. Foram. Res.*, **1**: 1–14.
- Gibson, T.G. and M.A. Buzas, 1973. Species diversity: Patterns in modern and Miocene foraminifera of the eastern margin of North America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **84**: 217–238.
- Hallock, P., H.K. Talge, E.M. Cockey and R.G. Muller, 1995. A new disease in reef-dwelling foraminifera: Implications for coastal sedimentation. *J. Foram. Res.*, **25**: 280–286.
- Hessler, R.R. and H.L. Sanders, 1967. Faunal diversity in the deep sea. *Deep-Sea Res.*, **14**: 65–78.
- Hofker, J., 1972. Primitive Agglutinated Foraminifera. E.J. Brill, Leiden (Netherlands), 95 pp.
- Huber, B.T. and D.K. Watkins, 1992. Biogeography of Campanian–Maastrichtian calcareous plankton in the region of the southern ocean: paleogeographic and paleoclimatic implications. *Antarc. Res. Ser.*, **56**: 31–60.
- Ingle, J.C., Jr. and R.L. Kolpack, 1980. Benthic foraminiferal biofacies, sediments and water masses of the southern Peru–Chile Trench area, southeastern Pacific Ocean. *Micropaleontology*, **26**: 113–150.
- Kaminski, M.A., 1985. Evidence for control of abyssal agglutinated foraminiferal community structure by substrate disturbance: Results from the Hebble area. *Mar. Geol.*, **66**: 113–131.
- Keir, R.S., 1980. The dissolution kinetics of biogenic carbonates in seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 241–252.
- Kennett, J.P., 1982. Marine Geology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs (New Jersey), 813 pp.
- Kellogg, T.B., 1976. Late Quaternary climatic changes: Evidence from deep-sea cores of Norwegian and Greenland seas. In: Investigation of Late Quaternary Paleoclimatology and Paleoclimatology, edited by Cline, R.M. and J.D. Hays, *Geol. Soc. Am. Mem.*, **145**: 77–110.
- Kiester, A.R., 1971. Species density of North America amphibians and reptiles. *Syst. Zool.*, **20**: 127–137.
- Klopfer, P.H., 1959. Environmental determinants of faunal diversity. *Am. Nat.*, **93**: 337–342.
- Lindberg, H.G. and A. Auras, 1984. Distribution of arenaceous

- foraminifera in depth of the Southern Ocean (Kerguelen Plateau area). *Palaeoceanogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **48**: 61–106.
- Lohmann, G.P., 1978. Abyssal benthic foraminifera as hydrographic indicators in the western South Atlantic Ocean. *J. Foram. Res.*, **8**: 6–34.
- McGlasson, R.H., 1959. Foraminiferal biofacies around Santa Catalina Island, California. *Micropaleontology*, **5**: 217–240.
- Milam, R.W. and Anderson, J.B., 1981. Distribution ecology of recent benthonic foraminifera of the Adelie-George V. *Micropaleontology*, **6**: 297–325.
- Oba, T., M. Kato, H. Kitazato, I. Koizumi, A. Omura, T. Sakai and T. Takayama, 1991. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 yrs. *Paleoceanography*, **6**: 499–518.
- Ortiz, J.D. and A.C. Mix, 1992. The spatial distribution and seasonal succession of planktonic foraminifera in the California Current off Oregon, September 1987–September 1988. *Geol. Soc. Am., Spec. Publ.*, **64**: 197–213.
- Parker, F.L. and W. Berger, 1971. Faunal and solution patterns of planktonic foraminifera in surface sediments of the South Pacific. *Deep-Sea Res.*, **18**: 73–107.
- Phleger, F.B., 1964. Foraminiferal ecology and marine geology. *Mar. Geol.*, **1**: 16–43.
- Phleger, F.B., F.L. Parker and J.F. Pierson, 1953. Sediment cores from the North Atlantic Ocean. No. 1. North Atlantic Foraminifera. *Rept. Swed. Deep-Sea Exped. (1947–1948)*, **7**: 1–122.
- Polski, W., 1959. Foraminiferal biofacies off the north Asiatic coast. *J. Paleontol.*, **33**: 569–587.
- Pujos-Lamy, A., 1984. Foraminifères benthiques et bathymétrie: Le Cénozoïque du Golfe Gascogne (Benthic Foraminifera and bathymetry: The Cenozoic deposits of the Bay of Biscay). *Palaeoceanogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **48**: 39–60.
- Reinhardt, E.G., R.T. Patterson and C.J. Schroder-Adams, 1994. Geoarchaeology of the ancient harbor site of Caesarea Maritima, Israel: Evidence from sedimentology and paleoecology of benthic foraminifera. *J. Foram. Res.*, **24**: 37–48.
- Sanders, 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *Am. Nat.*, **102**: 243–282.
- Schafer, C.T., G.V. Winters, D.B. Scott, P. Pocklington, F.E. Cole and C. Honig, 1995. Survey of living foraminifera and polychaete populations at some Canadian aquaculture sites: Potential for impact mapping and monitoring. *J. Foram. Res.*, **25**: 236–259.
- Scott, D.B., C.T. Schafer, C. Honig and D.C. Younger, 1995. Temporal variations of benthic foraminiferal assemblages under or near aquaculture operations: Documentation of impact history. *J. Foram. Res.*, **25**: 224–235.
- Sen Gupta, B.K., 1979. Foraminifera of south Atlantic/Georgia Bight. South Atlantic OCS Benchmark Program 1977 Report No. 3, Texas Instruments Inc., Dallas, pp. 341–396.
- Simpson, G.G., 1964. Species diversity of North American recent mammals. *Syst. Zool.*, **13**: 57–73.
- Sloan, D., 1995. Use of foraminiferal biostratigraphy in mitigating pollution and seismic problems, San Francisco, California. *J. Foram. Res.*, **25**: 260–266.
- Stehli, F.G., R.G. Douglas I.A. and Kafescioglu, 1972. Models for the evolution of planktonic foraminifera. In: *Models in Paleobiology*, edited by Schopf, T.J.M., Freeman, Cooper & Co., San Francisco, pp. 116–128.
- Theyer, F., 1971. Benthic foraminiferal trends, Pacific-Antarctic Basin. *Deep-Sea Res.*, **18**: 723–738.
- Thunell, R.C., 1976. Optimum indices of calcium carbonate dissolution in deep-sea sediments. *Geology*, **4**: 525–528.
- Tolderlund, D.S. and A.W.H. Be, 1971. Seasonal distribution of planktonic foraminifera in the western North Atlantic. *Micropaleontology*, **17**: 297–329.
- Valentine, J.W., 1966. Numerical analysis of marine molluscan ranges on the extra-tropical northeastern Pacific shelf. *Limnol. Oceanogr.*, **11**: 198–211.
- Vincent, E. and W.H. Berger, 1981. Planktonic foraminifera and their use in paleoceanography. In: *The Oceanic Lithosphere (The Sea, Vol. 7)*, edited by Emiliani, C., John Wiley, New York, pp. 1025–1119.
- Watkins, D.K., 1989. Nannoplankton productivity fluctuations and rhythmically bedded pelagic carbonates of the Greenhorn limestone (upper Cretaceous). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **74**: 75–86.
- Williams, D.F., N. Healy-Williams and P. Leschak, 1985. Dissolution and water-mass patterns in southeast Indian Ocean. Part I: Evidence from Recent to late Holocene foraminiferal assemblages. *Geol. Soc. Am. Bull.* **96**: 176–189.
- Wise, S.H., 1988. Mesozoic–Cenozoic history of calcareous nannofossils in the region of the Southern Ocean. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **67**: 157–179.
- Yamashiro, C., 1975. Differentiating dissolution and transport effects in foraminiferal sediments from the Panama basin. *Cushman Found. Foram. Res., Spec. Publ.*, **13**: 151–159.
- Yanko, V., J. Kronfeld and A. Flexer, 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: Implications for pollution monitoring. *J. Foram. Res.*, **24**: 1–17.

1998년 3월 31일 원고 접수

1998년 6월 20일 수정본 채택