

Article

한국 남동 대륙주변부 니질대 표층퇴적물의 유공충 특성

우한준* · 최재웅

한국해양연구원 해양환경연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호Foraminiferal Characteristics in Mud Deposits of the
Southeastern Margin of Korea

Han Jun Woo* and Jae Ung Choi

Marine Environment Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Six surface sediments from two offshore transects off Ulsan and Gampo, on the southeastern margin of Korea were taken for sediment and foraminiferal analyses. Sedimentary processes are dominated by reworking and resedimentation from storms in the area off Ulsan and hemipelagic suspension settling in the area off Gampo. Eighty-four foraminiferal species were identified in total assemblages, including 33 species of living populations and 9 species of planktonic foraminifera. The characteristics of foraminifera showed differences of offshore environments between Ulsan and Gampo. The number of living species, species diversity and equitability in Gampo offshore area had higher values than those in Ulsan offshore area. However, planktonic/benthic(P/B) ratio showed higher in the Ulsan offshore area. The species diversity indices and P/B ratio indicated that environmental stability and surface-ocean productivity in the Gampo offshore area were relatively higher than the Ulsan offshore area. The difference of species compositions is useful for interpreting the paleoenvironments in mud deposits of the southeastern margin of Korea.

Key words : southeastern margin of Korea, sediments, foraminifera, surface-ocean productivity

1. 서 론

우리나라 주요 하천을 통하여 유출되는 퇴적물은 강하구에 상대적으로 조립한 퇴적물이 퇴적되는 반면에 세립한 퇴적물은 조류와 연안류에 의하여 내대륙붕으로 이동되어 퇴적된다. 서해와 동해에는 최후 빙하기 이후 해수면 상승과 더불어 하천에서 유입된 세립한 퇴적물이 연안을 따라 평행하게 대상의 홀로세 니질 퇴적체들을 형성하고 있다. 이러한 니질대는 홀로세 동안의 해수면, 생태계, 해양순환 변화 등 육상-해양-대기 시스템의 상호 연관 변화의 기록을 가지고 있다. 이러한 기록을 해석하기 위해서는

현생의 니질대 환경을 세분하여 종합적으로 파악하는 것이 필요할 것이다.

한국 남동 대륙붕은 울산을 경계로 남쪽은 넓고 평탄하나 북쪽은 좁고 비교적 경사가 급하다. 이 지역의 내대륙붕에는 썩기 형태의 니질대(mud belt)가 남에서 북으로 연안을 따라 형성되어 있으며, 외해로 갈수록 두께가 감소한다. 기존의 연구에 의하면 니질대는 주요 기원인 낙동강에서 유출된 부유물질이 연안류와 조류에 의하여 북동쪽으로 이동하여 남동 대륙붕에 해안을 따라 형성된 것으로 알려져 있다(Park 1985; Park et al. 1996, 1999).

국립수산진흥원(1986)에서 1961년부터 1983년까지 관측한 수온, 용존산소, 염분도를 평균한 한국근해평년해황도에 의하면, 한국 남동 대륙주변부 수심 100 m 저층수의

*Corresponding author. E-mail : hjwoo@kordi.re.kr

월평균 수온은 4월에 7-14°C, 10월이 8-17°C이었다. 연안에서의 등수온선은 4월에 쇠기형태로 존재하나, 10월에는 해안선과 평행하게 분포하였다. 수온은 4월과 10월 모두 남에서 북으로 감소되었다. 저층수의 용존산소량은 4월에 5.93-6.24 m//l, 10월에 4.32-5.30 m//l이며 남쪽보다 북쪽이 상대적으로 높았다. 한국 남동 대륙주변부는 냉수괴인 북한한류의 출현도 관찰되었다. 1973년의 경우 34.0 psu 이하의 해수 추적에 의하면 수심 100 m 층에서 묵호 이남 해역에서 남하하는 북한한류가 감포 해역까지 남하하는 것으로 나타났다(김과 김 1983). 감포 해역에는 북한한류의 영향으로 국지적인 용승작용이 있는 것으로 알려져 있다(Byun and Seung 1984). 한류와 용승 작용은 높은 일차 생산력과도 관련이 있는 것으로 여겨지고 있다(김과 김 1983; Lee 1983).

본 연구의 목적은 수리적인 요인의 차이가 있는 울산과 감포 해역의 니질대에서 표층퇴적물에 분포하는 유공충의 특성을 파악하는 것이다. 이를 위하여 각 축선에서 표층퇴적물의 입도 특성, 출현하는 유공충의 종 조성, 종다양도, 균등도, P/B(Planktonic/Benthic) 비율 등을 구하였다. 이러한 자료는 니질대의 현생퇴적환경을 이해하는데 도움이 되며, 시추퇴적물에 의한 고해양환경 해석에 유용하게 사용될 것이다.

2. 연구 방법

퇴적물과 유공충 분석을 위하여 울산과 감포 해역의 니질대 축선에서 2002년 5월 18일과 5월 19일에 multicorer를 사용하여 6정점에서 표층 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 현장에서 채취된 퇴적물 시료는 실험실에서 약 5 g을 1,000 ml 비이커에 담아 조개껍질 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1 N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거한 후 유기물을 제거하기 위하여 10% 과산화수소수(H₂O₂)로 24시간 이상 반응시켰다.

입도 분석이 준비된 시료는 4.0ϕ 체를 이용하여 습식 체질(wet sieving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 4.0ϕ 이하의 모래 시료는 0.5ϕ 간격으로 Gradex 2000 입도 분석기(Particle size analyzer)로 약 10분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였다. 4ϕ 이상의 펄(mud) 시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2 g을 취해 80 ml의 0.1% calgon 용액을 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5100을 사용하여 입도 무게 백분율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도 등의 통계변수들을 구하였다(Folk and Ward 1957).

유공충 분석용 시료는 정량분석(quantitative analysis)을

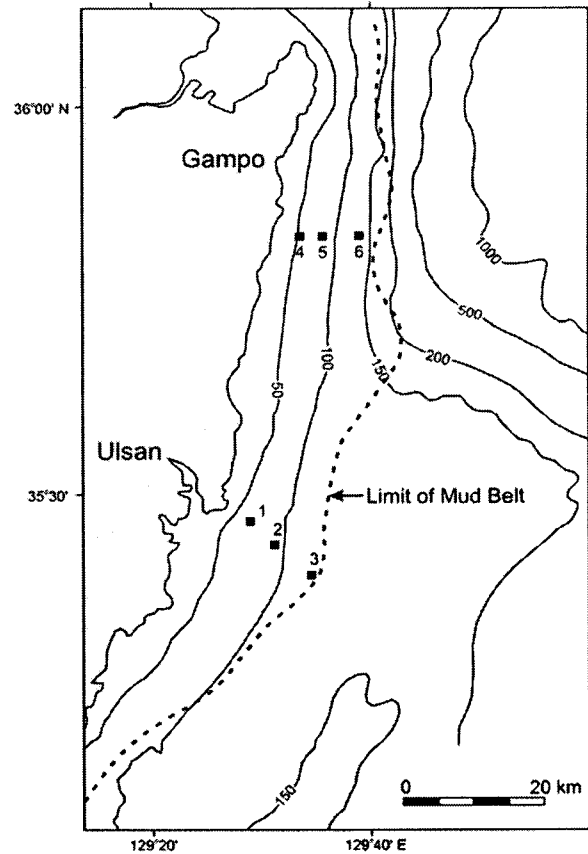


Fig. 1. Location map of sampling stations for sediment and foraminiferal analyses.

위하여 상부 1 cm 내의 퇴적물 20 m/를 플라스틱 병에 담고 살아있는 유공충의 판별을 위하여 Hexamine으로 중화(pH 8~9)시킨 formaline(5%) 용액으로 고정시켰다. 이후 24시간 내에 흐르는 물에서 4.0ϕ 체를 이용하여 formaline 용액, silt와 clay를 제거한 후 다시 플라스틱 병에 담고 장기간 보관을 위해 isopropyl alcohol(물과 1:1로 희석)을 넣어서 실험실로 운반하였다.

실험실에서 isopropyl alcohol로 고정시켜온 시료를 살아있는 유공충 개체와 죽은 유공충 개체를 구분하기 위해 약 0.1 g의 로즈벵갈(Rose bengal)을 넣어 6시간 동안 착색(stain)시켰다. 살아있는 유공충은 원형질(protoplasm)이 로즈벵갈(Rose bengal)에 의하여 빨강계 염색이 된다(Walton 1952). 착색시킨 유공충 시료는 4ϕ 체를 이용하여 흐르는 물에 깨끗하게 행군 후 증발접시에 모으고 비누거품을 넣어 가볍게 저어 준다. 이 때 비누성분에 흡착된 유공충은 석영입자 보다 가벼우므로 위로 뜨게 되는 soap-floated 방법(Howe 1941)에 의하여 5회 반복하여 유공충과 모래를 분리시켜 유공충을 추출하였다. 추출된 시료는 흐르는 물에서 비누성분을 제거하고 45-60°C의

온도로 오븐에서 건조시켰다. 건조된 유공충 시료는 microsampler를 이용하여 300개체 정도의 양으로 나누고 후 입체현미경 하에 세립한 붓을 이용하여 유공충을 동정하였다(Dennison and Hay 1967; Buzas 1990). 동정된 유공충은 같은 종끼리 모은 후 참고문헌과 비교하여 종명을 확인하였다.

각 종별로 분류된 유공충은 각각 상대적인 비율(%)을 구하였다. 우세종(dominant species)은 각 지역의 모든 정점에서 출현하며 어느 한 정점에서라도 5% 이상 출현하는 종으로 정의하였다. 각 정점의 유공충 군집 특성을 파악하기 위하여 종다양도, 균등도, 사질유공충 비율, P/B 비율 등을 구하였다. 종다양도는 Shannon and Weaver (1949)에 의한 다음과 같은 식으로 계산되었다.

$$H(S) = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

S: 출현종수

P_i : 전체 개체수(N)에 대한 i번째 종의 개체수(N_i) 비율 (N_i/N)

균등도는 다음과 같은 식으로 계산되었다(Buzas and Gibson 1969).

$$E = e^{H(S)/S}$$

3. 연구 결과

연구지역에서 채취된 6개의 표층 퇴적물 특성 및 수심은 Table 1에 나타내었다. 울산 해역 정점들(1-3)의 수심은 74-149 m이며, 표층퇴적물은 점토 퇴적물에서 외대륙붕 방향으로 모래의 양이 증가하여 모래질 퇴적물이 되었다. 수심 100 m 이내의 정점 1과 2의 퇴적물은 평균입도가 약 10 ϕ 이며 매우 불량한 분급도를 보였다. 니질대의 경계부근인 정점 3은 매우 불량한 분급도를 가진 평균입도 6.70 ϕ 의 퇴적물이었다.

감포 해역 정점들(4-6)의 수심은 51-135 m이며, 표층퇴적물은 모두 점토 퇴적물이다. 축선의 정점들은 평균입도가 약 10 ϕ 로 매우 세립하며, 분급도는 외대륙붕 방향으로 매우 불량에서 불량으로 변화하였다.

연구지역에서는 살아있는 유공충 33종과 부유성 유공충 9종을 포함하여 총 84종의 유공충이 확인되었다(Table 2). 울산 해역 니질대에서 나타나는 우세종은 *Allabaminella wedellensis*, *Globigerinella aequilateralis*, *Pseudononion japonicum*이며, 감포 해역 니질대에서 나타나는 우세종은 *Allabaminella wedellensis*, *Globigerinella aequilateralis*, *Islandiella norvangi*, *Nonionella stella*, *Pseudononion japonicum*이었다. 울산해역에서는 출현하지 않으나, 감포 해역에서 빈번히 출현하는 저서성 유공충은 *Textularia earlandi*이다.

연구지역의 저서성 유공충의 일반적인 특성은 Table 3에 나타내었다. 울산 축선 정점들(1-3)의 살아있는 유공충 종수는 5-7종, 전체군집에서는 41-47종, 부유성 유공충은 6-9 종이 나타나 정점간에 큰 차이가 없었다. 20 m²당 개체수는 살아있는 유공충은 384-2,560개체, 전체군집에서는 23,360-108,032개체로 큰 차이를 보이고 있으며, 정점 1에서 최소, 정점 2에서 최대값을 나타냈다. 그러나 살아있는 유공충의 비율(%)에 있어서는 1.64-2.37%로 큰 차이를 보이지 않았다. 부유성 유공충과 저서성 유공충의 비율(P/B)은 47.95-55.38%로 정점간에 큰 차이가 없다. 사질유공충의 비율은 1% 내외로 작은 비율을 나타냈다. 종다양도는 2.70-2.84, 균등도는 0.34-0.42의 범위를 보였으며, 정점 2에서 최대값을 나타냈다.

감포 축선 정점들(4-6)의 살아있는 유공충 종수는 18-22종, 전체군집에서는 39-48종, 부유성 유공충은 4-8종이 나타나 정점간에 울산 축선과 같이 큰 차이가 없었다. 20 m²당 개체수는 살아있는 유공충은 704-1,152개체, 전체군집에서는 4,672-24,488개체로 큰 차이를 보이고 있으며, 니질대 경계 근처인 정점 6에서 최소, 정점 4에서 최대값을 나타내어 일반적으로 수심이 깊어짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 그러나 살아있는 유공충의 비율(%)

Table 1. Texture and grain-size characteristics of surface sediments.

Station No.	Composition (%)				Sediment Type by Folk	Statistical parameters				Water depth (m)
	Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz (phi)	Sort. (phi)	Skew.	Kurt.	
1	0.00	3.26	23.86	72.89	C	9.61	2.47	-0.95	3.36	74
2	0.00	0.00	23.33	76.67	C	9.81	2.21	-0.76	2.42	94
3	0.00	36.11	28.24	35.64	sM	6.70	3.45	0.26	1.64	118
4	0.00	0.00	30.28	69.72	C	9.64	2.26	-0.47	1.77	51
5	0.00	0.00	27.53	72.47	C	9.65	2.13	-0.43	1.89	89
6	0.00	0.00	20.87	79.13	C	9.87	1.92	-0.50	1.99	135

Table 2. Relative abundance (%) for living and total (living + dead) assemblages in surface sediments from the 11 stations (T: total, L: living).

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
<i>Allabaminella wedellensis</i>	T	9.04	1.90	2.85	10.99	15.30	4.45
	L	16.67		14.29	5.56	4.55	5.56
<i>Anomalina ungeriana</i>	T	0.55	0.95	0.32		0.55	
	L						
<i>Astrononion hanyudaense</i>	T	0.82		1.58	0.52		1.03
	L						
<i>Astrononion sp.</i>	T	0.27		0.63			
	L						
<i>Astrononion stelligerum</i>	T	0.27	0.47				
	L						
<i>Astrononion umbilicatum</i>	T	0.55		0.63	1.31		
	L						
<i>Bolivina decussata</i>	T			2.22		1.64	3.08
	L			14.29		4.55	5.56
<i>Bolivina robusta</i>	T	0.27	3.32	2.22	1.31	1.09	0.68
	L						
<i>Bolivina sp.</i>	T	0.82	0.47				
	L						
<i>Bolivina subsinescens</i>	T			0.32	0.79		
	L						
<i>Brizalina pacifica</i>	T			0.32	0.79	1.37	4.45
	L				5.56	4.55	5.56
<i>Buccella frigida</i>	T			0.32			
	L						
<i>Bulimina marginata</i>	T	1.92	3.32	0.32	0.26	0.82	1.37
	L				5.56		5.56
<i>Bulimina sp.</i>	T	1.64	0.95	0.63	4.45	1.64	
	L	16.67		14.29	5.56	4.55	
<i>Cibicides depressus</i>	T	0.82	0.95	0.63	0.79		
	L	16.67					
<i>Cibicides mediocris</i>	T						0.34
	L						
<i>Cibicides refulgens</i>	T	0.55			0.79		
	L						
<i>Cibicides sp.</i>	T				0.26		
	L						
<i>Cibicides subhaidingeri</i>	T	0.82	1.42		0.79	0.55	
	L						
<i>Cribrononion clavatum</i>	T	3.01	2.84	0.95	2.36	3.28	1.37
	L	16.67	20.00		5.56	4.55	5.56
<i>Cribrostomoides subglobosum</i>	T			0.32		1.64	2.05
	L					4.55	5.56
<i>Discorbinella convexa</i>	T		0.47		0.52		
	L						

Table 2. Continued.

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
<i>Discorbinella</i> sp.	T		0.47	0.32			0.34
	L						
<i>Discorbis australis</i>	T	0.82		0.95			
	L						
<i>Discorbis chinensis</i>	T		0.47				
	L						
<i>Discorbis taiwanensis</i>	T	0.55		0.63			
	L						
<i>Eggerella advena</i>	T				1.05	0.27	
	L				5.56	4.55	
<i>Elphidium advenum</i>	T		1.42		0.26		
	L						
<i>Epistominella naraensis</i>	T	3.01		6.33	1.57	7.65	13.36
	L		20.00	14.29		4.55	5.56
<i>Epistominella nipponica</i>	T	1.37	2.37	3.16	1.05	2.73	1.71
	L				5.56		
<i>Fissurina agassizi</i>	T		0.47	0.32		0.55	
	L						
<i>Fissurina echigoensis</i>	T	0.27					
	L						
<i>Fissurina marginata</i>	T	1.10	0.47	0.32	0.26	0.82	0.34
	L						
<i>Fissurina wiesneri</i>	T		0.47				
	L						
<i>Florilus japonicum</i>	T				1.05		
	L				5.56		
<i>Florilus manpukuziense</i>	T	0.82	1.42		0.26	0.27	
	L					4.55	
<i>Gaudryina karihaensis</i>	T			0.63		1.37	0.68
	L					4.55	5.56
<i>Globigerina bulloides</i>	T	1.37	2.84				0.68
	L						
<i>Globigerina quinqueloba</i>	T	3.01	0.95	2.22	1.83	4.37	3.42
	L						
<i>Globigerinella aequilateralis</i>	T	36.44	34.12	37.34	7.59	7.92	13.36
	L						
<i>Globigerinita uvula</i>	T		0.95	1.27	0.26	0.27	1.71
	L						
<i>Globigerinoides ruber</i>	T	3.01	3.32	3.80	0.79	0.55	1.71
	L						
<i>Globobulimina auriculata</i>	T					2.46	
	L					4.55	
<i>Globocassidulina parva</i>	T	0.82	0.95	1.90	0.79	0.27	
	L						

Table 2. Continued.

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
<i>Globorotalia crassaformis</i>	T		0.95		0.26		
	L						
<i>Globorotaloides hexagona</i>	T	2.47	8.06	8.23	4.19		8.90
	L						
<i>Glomospira gordialis</i>	T						0.34
	L						
<i>Gyroidinoides nipponica</i>	T	1.37	1.42	0.32	0.52		
	L						
<i>Hanzawaiwa nipponica</i>	T	0.82	1.90		0.52	0.27	2.05
	L						
<i>Hopkinsina glabra</i>	T	0.82			0.26		
	L	16.67					
<i>Hyalinea balthica</i>	T	1.10			1.05		0.68
	L						
<i>Islandiella norvangi</i>	T	0.27	1.42	2.22	0.79	5.74	6.16
	L					4.55	5.56
<i>Lagena</i> sp.	T	0.27				0.55	
	L						
<i>Lenticulina lucida</i>	T						0.34
	L						
<i>Lenticulina nikobaerensis</i>	T	0.55		0.63			1.03
	L						
<i>Lenticulina</i> sp.	T						0.34
	L						
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	T	1.37	0.47	2.53	0.26		
	L						
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	T	0.27	0.95		0.26		1.37
	L						
<i>Nonionella stella</i>	T	4.11	2.84	0.95	15.18	8.74	1.71
	L			14.29	5.56	4.55	5.56
<i>Paracassidulina miuraensis</i>	T	0.27					
	L						
<i>Paracassidulina sulcata</i>	T	1.92	0.47	2.53	1.31	0.82	0.68
	L						
<i>Pararotalia nipponica</i>	T	0.27					
	L						
<i>Pseudononion grateloupi</i>	T	0.55					
	L						
<i>Pseudononion japonicum</i>	T	6.85	4.27	5.06	21.20	16.12	8.56
	L	16.67		14.29	5.56	4.55	5.56
<i>Pseudopolymorphina</i> sp.	T				0.26		
	L				5.56		
<i>Pullenia quinqueloba</i>	T		0.47	0.32			
	L						

Table 2. Continued.

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	T						0.34
	L						
<i>Quinqueloculina semimulum</i>	T						0.34
	L						
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	T	1.10	0.47	0.63		0.55	
	L					4.55	
<i>Reophax</i> sp.	T				0.26	0.27	
	L				5.56	4.55	
<i>Rutherfordoides mexicanus</i>	T	0.55	0.47	0.32		0.82	1.37
	L					4.55	5.56
<i>Silicosigmoilina abyssalica</i>	T	0.55			0.52	0.27	
	L						
<i>Spirolocammina tenuis</i> Earland	T				0.26		
	L						
<i>Stainforthia exilis tenuata</i>	T		1.90	0.63	7.07	3.83	1.37
	L		20.00	14.29	5.56	4.55	
<i>Textularia earlandi</i>	T				1.57	1.64	2.40
	L				5.56	4.55	5.56
<i>Trifarina kokozuraensis</i>	T	0.27		1.27	0.26	0.27	
	L				5.56		
<i>Trochammina japonica</i>	T					0.55	0.68
	L					4.55	5.56
<i>Trochammina nobensis</i>	T				0.52		0.68
	L						
<i>Trochammina pacifica</i>	T						0.34
	L						5.56
<i>Trochammina parkerae</i>	T			0.32		0.55	3.42
	L					4.55	5.56
<i>Uvigerina akitaensis</i>	T				0.26		
	L				5.56		
<i>Uvigerina excellens</i>	T					1.64	0.68
	L					4.55	5.56
<i>Uvigerina peregrina</i>	T		0.47				
	L		20.00				
<i>Uvigerina vadescens</i>	T	0.27		0.63	0.52		
	L				5.56		

에 있어서는 4.71-6.16%로 큰 차이를 보이지 않았다. 부유성 유공충과 저서성 유공충의 비율(P/B ratio)은 13.11-31.16%로 정점간에 차이가 있었으며, 울산 측선과 달리 상대적으로 저서성 유공충이 많이 나타났다. 사질유공충의 비율은 3.93-10.62%로 정점간에 차이를 보였다. 종다양도는 2.90-3.11, 균등도는 0.38-0.55의 범위를 보였으며, 종다양도와 균등도는 외대륙붕 방향으로 상대적으로

높은 값을 보였다.

4. 고찰

울산과 감포 해역의 표층퇴적물 특성은 울산 측선의 니질대 경계 부근 정점 3을 제외하고는 비슷한 형태를 보였다. 그러나 두 해역의 약 30 cm 코어 분석 결과에 의하면

Table 3. Foraminiferal characteristics of surface sediments in the study area.

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
No. of species	T	47	41	43	48	39	41
(Total/Live)	L	6	5	7	18	22	18
No. of species (Plaktonic)		7	9	6	8	4	7
No. of species (Arenaceous)		1	0	3	5	8	8
Fraction picked		1/64	1/512	1/256	1/64	1/32	1/16
No. of individuals per fraction picked	T	365	211	316	382	366	292
(Total/Live)	L	6	5	7	18	22	18
No. of individuals per fraction picked	P	175	111	175	59	48	91
(Planktonic/Benthic)	B	190	100	141	323	318	201
No. of individuals per fraction picked	A	2	0	4	15	24	31
(Arenaceous/Calcareous)	C	363	211	312	367	342	261
No. of individuals per 20 m/	T	23,360	108,032	80,896	24,448	11,712	4,672
(Total/Live)	L	384	2,560	1,792	1,152	704	288
Live (%)		1.64	2.37	2.22	4.71	6.01	6.16
No. of individuals per 20 m/	P	11,200	56,832	44,800	3,776	1,536	1,456
(Planktonic/Benthic)	B	12,160	51,200	36,096	20,672	10,176	3,216
% of the Planktonic foram		47.95	52.61	55.38	15.45	13.11	31.16
No. of individuals per 20 m/	A	128	0	1,024	960	768	496
(Arenaceous/Calcareous)	C	23,232	108,032	79,872	23,488	10,944	4,176
Species diversity		2.78	2.84	2.70	2.90	2.94	3.11
Equitability		0.34	0.42	0.35	0.38	0.48	0.55
% of Arenaceous		0.55	0.00	1.27	3.93	6.56	10.62

(한국해양연구원 2003), 우세한 퇴적작용은 서로 다른 것으로 나타났다. 울산해역의 니질대에는 폭풍에 의한 재동과 재퇴적을 지시하는 엽리 모래펄과 자갈펄 퇴적상이 우세하고, 외해에는 피상 펄모래 퇴적상이 분포하여 지난 해수면 상승시 형성된 해침 모래층이 해수면 상승 후에도 해저면에 노출되어 있는 것으로 나타났다. 반면에 감포해역에는 모두 생물 교란 펄 퇴적상으로 이루어져 반원양성 부유 퇴적작용이 지배적인 것으로 나타났다. 따라서 울산해역의 니질대는 폭풍시의 파랑에너지에 의한 세립질 퇴적물의 재동과 재퇴적이 자주 일어나고, 감포해역의 니질대는 반원양성 부유퇴적 작용이 지배적인 것으로 보인다.

20세기의 현생 유공충 생태학적 연구들은 유공충이 현생 및 고해양환경 특성을 파악할 수 있는 지시자로서 유용하게 사용될 수 있음을 증명하였다. 유공충의 분포는 해류, 온도, 염분, 수심, 지형 등 다양한 생태학적 요인들에 의하여 영향을 받는다(Phleger 1960; Murray 1973; Boltovskoy and Wright 1976). 저서성 유공충의 분포에 있어 연안 지역은 다양한 생태적 요인들이 서로 연관되어 있지만, 수심이 깊은 대양에서는 생산성(productivity)과 관련이 있는 수심과 먹이 공급이 중요한 요인으로 작용하기도 한다(Koblentz-Mishke *et al.* 1970; Suess 1980;

Betzer *et al.* 1984).

울산과 감포 해역의 니질대 해저환경 특성을 비교하기 위하여 유공충의 일반적인 특성인 살아있는 유공충 비율, 종수, 종다양도, 균등도, 사질유공충의 비율, P/B 비율을 정점별(울산: 1-3, 감포: 4-6)로 Fig. 2에 나타내었다. 살아있는 유공충의 비율과 살아있는 유공충의 종수는 울산해역 보다는 감포 해역에서 상대적으로 높게 나타나나, 전체 군집의 종수는 차이가 거의 없다. 환경의 안정성(stability)을 나타내는 종다양도와 균등도는 비슷한 수치이나, 감포해역에서 약간 높은 수치를 보였다. 종다양도 평균은 울산해역이 2.77, 감포 해역이 2.98로서 환경의 변화가 극심한 광양만 조간대 및 내만과 수로의 1.0미만(Chang 1984), 오염된 지역인 마산만 평균 1.12(우 등 1999) 보다는 상대적으로 높은 수치를 보인다. 일반적으로 환경이 좋지 않거나 극심한 지역은 소수의 적응된 종이 우점하기 때문에 종다양도가 낮아지지만 연구지역은 해수의 순환이 비교적 원활한 대산 해역의 종다양도 2.11-2.41(우 등 2000) 보다는 높게 나타났다. 울산해역 균등도는 평균 0.37로서 대산해역과 비슷한 수치를 보였다.

사질유공충의 비율은 울산해역보다 감포해역에서 높은 비율을 나타냈다. 일반적으로 사질 유공충은 환경이 안

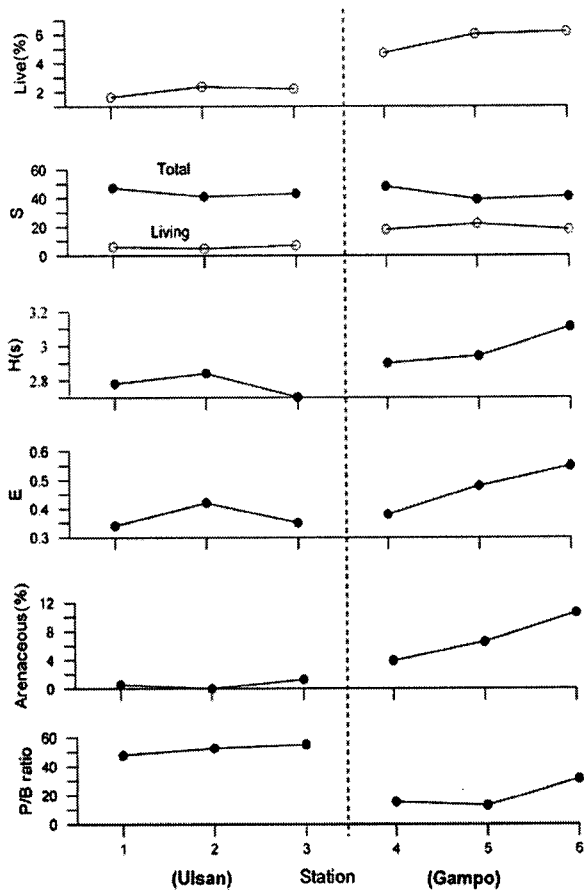


Fig. 2. Distributions of living population, number of species (S), species diversity (H(S)) and equitability (E) of total assemblages, abundance (%) of arenaceous foraminifera and P/B ratio are plotted against sampling stations.

정되지 못한 지역에서 높은 수치로 나타나는 것으로 알려져 있으나, 종다양도와 균등도 수치를 고려할 때, 감포 해역은 환경의 안정성 문제가 아니고 표층 퇴적물이 점토로 구성되어 점토 성분을 이용하여 외각을 구성하는 사질유공충이 울산해역에 비하여 상대적 많이 나타난 것으로 보인다. 부유성 유공충과 저서성 유공충의 비율(P/B ratio)은 울산 해역이 감포 해역 보다 높은 비율을 보여 감포 해역에서 상대적으로 저서성 유공충이 많이 나타났다. 일반적으로 해수의 용승작용이 일어나는 해역에서는 영양염이 풍부한 중층수가 표층수에 혼합되어 식물성 플랑크톤이 증가하여 유기물이 저서 환경에 공급되어 표층-해양 생산성(productivity) 증가로 저서성 유공충이 증가되는 것으로 알려져 있다(Phleger 1964; Berger and Diester-Hass 1988). 감포 해역은 북한한류의 영향을 받는 지역으로 국지적인 용승작용이 있는 것으로 알려져 있으며(Byun and Seung 1984), 이에 따라 울산해역 보다는 저서성 유공충

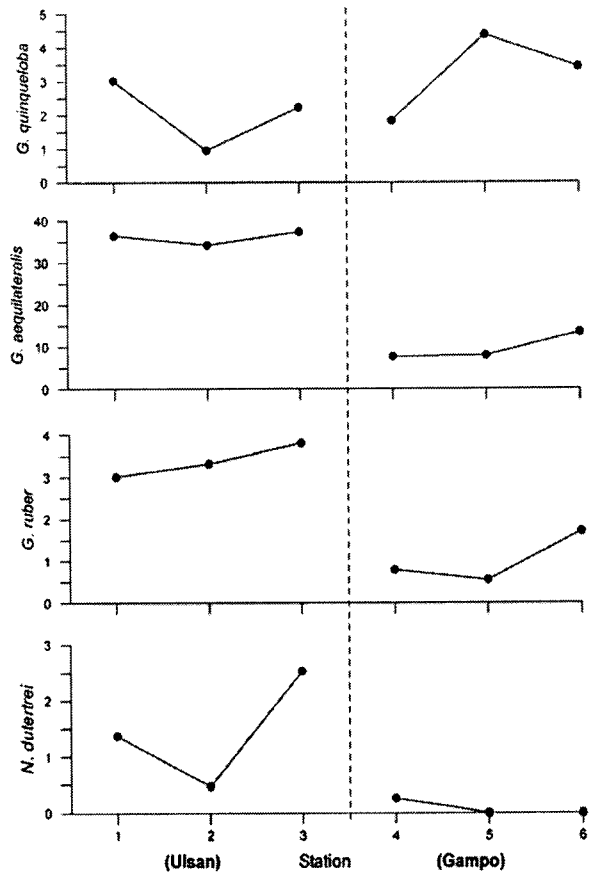


Fig. 3. Relative abundance (%) of *G. (Globigerina) quinqueloba*, *G. (Globigerinella) aequilateralis*, *G. (Globigerinoides) ruber* and *N. (Neogloboquadrina) dutertrei* is plotted against sampling stations.

의 비율이 상대적으로 높게 나타난 것으로 보인다.

연구 해역에서 나타나는 부유성 유공충의 종들 중 *Globigerina quinqueloba*는 넓은 범위의 수온에 분포하며, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinoides ruber*, *Neogloboquadrina dutertrei*는 상대적으로 따뜻한 수온에 분포한다(Saito et al. 1981; Kennett and Srinivasan 1983). 위의 종들의 상대적인 비율을 정점 별로 나타내면(Fig. 3), *Globigerina quinqueloba*는 울산 해역에서 0.95-3.01%, 감포 해역에서 1.83-4.37%의 범위로 분포하여 두 해역에서 큰 차이를 보이지 않는다. 상대적으로 따뜻한 수온에서 분포하는 *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinoides ruber*, *Neogloboquadrina dutertrei*는 감포 해역 보다는 울산 해역에서 상대적으로 높은 비율로 분포하고 있다(Fig. 3).

저서성 유공충 종들 중 대마난류에서 많이 나타나는 종으로 보고되는 *Bolivina robusta*와 *Bulimina marginata*

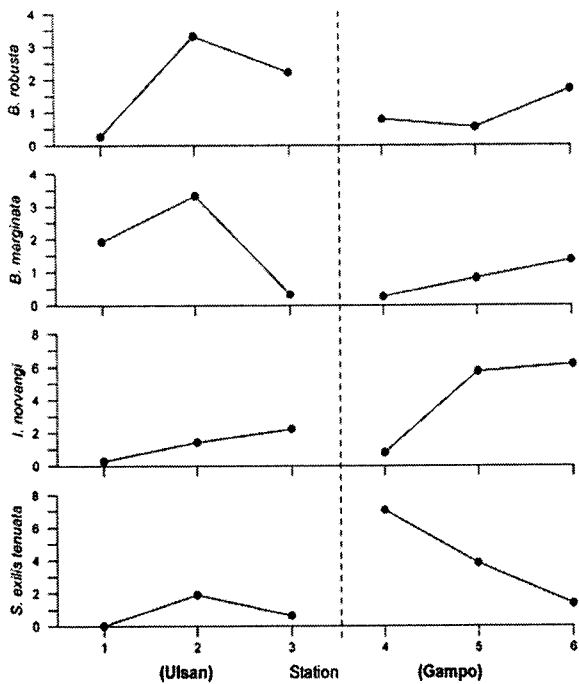


Fig. 4. Relative abundance (%) of *B. (Bolivina) robusta*, *B. (Bulimina) marginata*, *I. (Islandiella) norvangi* and *S. (Stainforthia) exilis tenuata* is plotted against sampling stations.

(Matoba and Nakagawa 1972; Inoue 1989)는 감포 해역 보다는 울산 해역에서 상대적으로 높은 비율로 분포하였다(Fig. 4). 그러나 중층수나 차가운 물에서 많이 나타나는 종으로 알려진 *Islandiella norvangi*와 *Stainforthia exilis tenuata*(Inoue 1989)는 울산 해역 보다는 감포 해역에서 상대적으로 높은 비율로 분포하였다(Fig. 4).

5. 요약 및 결론

연구지역의 6개의 표층퇴적물 특성은 울산 해역에서는

수심 100 m 이내에는 점토 퇴적물이나 니질대 경계 근처에서 모래의 함량이 증가하여 모래질 퇴적물이었으나 감포 해역에는 모두 점토 퇴적물이었다. 두 지역의 우세한 퇴적 작용은 서로 다르며 울산 해역의 니질대는 폭풍시의 파랑에너지에 의한 세립질 퇴적물의 재동과 재퇴적이 우세하며, 감포 해역의 니질대는 반원양성 부유퇴적 작용이 지배적인 것으로 나타났다.

동해의 울산과 감포 해역에서 살아있는 유공충 33종과 부유성 유공충 9종을 포함하여 총 84종의 유공충이 확인되었다. 전체군집의 20 ml당 개체수는 울산 해역이 상대적으로 많으나, 살아있는 유공충의 비율과 살아있는 유공충의 종수는 감포 해역에서 상대적으로 높게 나타났다. 종 다양도, 균등도는 비슷한 수치를 보이거나 사질유공충의 비율은 감포 해역에서 상대적으로 높은 수치를 보였다. 부유성 유공충과 저서성 유공충의 비율(P/B ratio)은 울산 해역이 감포 해역 보다 높은 비율을 보여 감포 해역에서 상대적으로 저서성 유공충이 많이 나타났다.

연구 해역에서 나타나는 부유성 유공충의 종들 중 따뜻한 수온에서 분포하는 *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinoides ruber*, *Neogloboquadrina dutertrei*는 감포 해역 보다는 울산 해역에서 상대적으로 높은 비율로 분포하였다. 저서성 유공충 종들 중 중층수나 차가운 물에서 많이 나타나는 종으로 알려진 *Islandiella norvangi*와 *Stainforthia exilis tenuata*는 울산 해역 보다는 감포 해역에서 상대적으로 높은 비율로 분포하였다.

수리적인 요인의 차이가 있는 감포와 울산 해역 니질대에서 표층퇴적물에 분포하는 유공충 군집의 특성을 Table 4에 정리하였다. 종의 수, 종 다양도와 균등도는 비슷한 수치를 보이거나 살아있는 유공충의 비율, 부유성 유공충의 비율 그리고 사질 유공충의 비율은 서로 다른 수치를 나타내었다. 유공충 군집 특성의 차이는 생태학적 요인이 서로 다르게 작용하기 때문이며, 이러한 유공충 특성 자료는 홀로세 동안에 니질대의 고환경 변화를 해석하는데 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

Table 4. Foraminiferal characteristics in mud belt at Ulsan and Gampo. Values are average within location.

Location	No. of species (total)	Live (%)	Planktonic foram (%)	Species diversity	Equitability	Arenaceous (%)	Dominant species
Ulsan	44	2.08	51.98	2.77	0.37	0.60	<i>Allabaminella wedellensis</i> <i>Globigerinella aequilateralis</i> <i>Pseudononion japonicum</i>
Gampo	43	5.63	19.91	2.98	0.47	7.04	<i>Allabaminella wedellensis</i> <i>Globigerinella aequilateralis</i> <i>Islandiella norvangi</i> <i>Nonionella stella</i> <i>Pseudononion japonicum</i>

사 사

본 연구는 한국해양연구원의 기본연구사업인 “한국 남동해역의 현생지각변형과 퇴적작용(PE 92000)”과 “해양 영토 내 해저기인 자연재해 및 환경자료 구축(PE 97006)” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 현장 조사와 실내분석에 도움을 주신 권수재, 장석님께 감사드립니다. 논문을 심사해 주시고 좋은 의견을 주신 두 분의 심사자에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 국립수산진흥원. 1986. 한국근해평년해황도. 45-177.
- 김철호, 김 구. 1983. 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원. *한국해양학회지*, 18(1), 73-83.
- 우한준, 김효영, 정갑식, 천종화, 추용식. 1999. 마산만 퇴적 환경 오염에 따른 저서성 유공충 분포 변화. *한국해양학회지 「바다」*, 4(2), 144-154.
- 우한준, 정갑식, 권수재, 추용식, 김효영, 박성민. 2000. 대산 유화학단지 주변의 저서성 유공충 분포 특성. *고생물학회지*, 16(2), 99-112.
- 한국해양연구원. 2003. 한국 남동 대륙주변부의 진화와 지각 변형. BSPE 826-00-1496-5. 147 p.
- Berger, W.H. and L. Diester-Haass. 1988. Paleoproductivity: The benthic/planktonic ratio in foraminifera as a productivity index. *Mar. Geol.*, 81, 15-25.
- Betzer, P.R., W.J. Showers, E.A. Laws, C.D. Winn, G.R. DiTullio, and P.M. Kroopnick. 1984. Primary productivity and particle fluxes on a transect of the equator at 153°W in the Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, 31, 1-11.
- Boltovskoy, E. and R. Wright. 1976. Recent foraminifera. Dr. W. Junk, The Hague. 515 p.
- Buzas, M.A. 1990. Another look at confidence limits for species proportions. *J. Paleontol.*, 64, 842-843.
- Buzas, M.A. and T.G. Gibson. 1969. Species diversity: benthonic foraminifera in western north Atlantic. *Science*, 163, 72-75.
- Byun, S.K. and Y.H. Seung. 1984. Description of current structure and coastal upwelling in the southeast Japan Sea - summer 1981 and spring 1982. p. 83-93. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*. ed. by T. Ichiye. Elsevier, Amsterdam.
- Chang, S.K. 1984. Recent benthic foraminifera from Gwangyang Bay, Korea. p. 141-146. In: *Benthos'83: 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera (Pau 1983)*. ed by H.J. Oertli. Elf Aquitaine, Esso REP and Total CEP, Bordeaux.
- Dennison, J.M. and W.W. Hay. 1967. Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies. *J. Paleontol.*, 41, 706-708.
- Folk, R.L. and W. Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-26.
- Howe, H.V. 1941. The use of soap in the preparation of samples for micropaleontological study. *J. Paleontol.*, 15, 691.
- Inoue, Y. 1989. Northwest Pacific foraminifera as paleo-environmental indicators. *Science Report, Institute of Geoscience, Univ. of Tsukuba, Section B*, 10, 57-162.
- Kennett, J.P. and M.S. Srinivasan. 1983. Neogene planktonic foraminifera. Hutchinson Ross, Stroudsburg, Pennsylvania, 265 p.
- Koblentz-Mishke, O.I., V.V. Volkovinsky, and J.G. Kabanova. 1970. Plankton primary production of the world ocean. p. 183-193. In: *Scientific Exploration of the South Pacific*. ed. by W. Wooser. National Academic Science, Washington, D.C.
- Lee, J.C. 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 18, 149-160.
- Matoba, Y. and H. Nakagawa. 1972. Recent foraminiferal assemblages from the continental shelf and slope off Akita, Japan sea coast of northeast Japan. p. 657-671. In: *Prof. Jun-Ichi Iwai Memorial Volume*.
- Murray, J.W. 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. Crane, Russak, New York, 274 p.
- Park, S.C., S.K. Hong, and D.C. Kim. 1996. Evolution of late Quaternary deposits on the inner shelf of the South Sea of Korea. *Mar. Geol.*, 131(3-4), 219-232.
- Park, S.C., D.G. Yoo, K.W. Lee, and H.H. Lee. 1999. Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). *Cont. Shelf Res.*, 19(8), 589-608.
- Park, Y.A. 1985. Late Quaternary sediment on the continental shelf off southeast coast of Korea, a further evidence of relict sediment. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 20, 55-61.
- Phleger, F.B. 1960. Ecology and distribution of recent foraminifera. Johns Hopkins Press, Baltimore. 297 p.
- Phleger, F.B. 1964. Foraminiferal ecology and marine geology. *Mar. Geol.*, 1, 16-43.
- Saito, T., P.R. Thompson, and D. Breger. 1981. Systematic index of recent and Pleistocene planktonic foraminifera. Univ. of Tokyo Press. 190 p.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical

theory of communication. Univ. of Illinois Press. 125 p.
Suess, E. 1980. Particulate organic carbon flux in the ocean
- surface productivity and oxygen utilization. *Nature*,
288, 260-263.
Walton, W.R. 1952. Techniques for recognition of living

foraminifera. *Cushman Found. Foram. Res. Contrib.*,
3(2), 56-60.

Received Aug. 11, 2005

Accepted May 8, 2006