

강화 남부 갯벌의 유공충 특성

Foramiferal Characteristics in the Ganghwa Tidal Flat

우 한 준*⁺ / 이 연 규**

Han Jun Woo*⁺ / Yeon Gyu Lee**

:: Abstract ::

Surface sediments for sedimentary analyses were sampled at 199 stations in the study area in August 2003. The surface sediments consisted of six sedimentary facies. Generally, sandy mud sediments dominated in the southern tidal flat of Ganghwa Island and sand sediments dominated in channel and subtidal zones of the western part of Ganghwa Island. The area of sandy mud sediment extended to eastward tidal flat compared to sedimentary facies in August 1997.

In 30 surface sediment samples from the Ganghwa tidal flat and subtidal zone, 61 species were recorded in total assemblages, including 34 species of living population. *Ammonia beccarii* and *Elphidium etigoense* in living population and *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina sp.* and *Textularia earlandi* in total assemblage were widely distributed. Generally, relatively large numbers of species and high values of species diversity occurred in the area of western part of tidal flat. Cluster analysis of total assemblages discriminates four biofacies. Biofacies 1 indicated eastern part of the tidal flat and biofacies 4 indicated western part of the tidal flat. Biofacies 3 were transitional zone between biofacies 1 and 4.

Keywords: Ganghwa tidal flat, Surface sediment, Foraminifera, Biofacies

:: 요 지 ::

연구지역에서 2003년 8월에 199개 정점에서 표층퇴적물을 채취하여 분석하였다. 표층 퇴적물은 6개의 퇴적상으로 구성되어 있었다. 일반적으로 모래 펄 퇴적물이 강화 남단 갯벌에서 우세하였고 모래 퇴적물은 강화도 서부의 수로와 조하대에서 우세하였다. 이 지역의 1997년 퇴적상과 비교하여 모래 펄 퇴적물은 갯벌의 동쪽으로 확장 되었다.

강화 남단 갯벌과 주변부 30 정점의 표층퇴적물에서 살아있는 유공충 34종을 포함하여 총 61종의 유공충이 확인되었다. 살아있는 유공충에서는 *Ammonia beccarii*와 *Elphidium etigoense*, 전체군집

+ To whom corresponds should be addressed. hjwoo@kordi.re.kr

* 한국해양연구원 해양환경연구본부 책임연구원·이학박사

** 전남대학교 해양기술학부 교수·이학박사

에서는 *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina sp.*와 *Textularia earlandi*가 연구지역에 넓게 분포한다. 일반적으로 개체수와 종 다양성은 갯벌의 서부에서 상대적으로 높은 수치를 나타냈다. 전체 유공충 군집의 집괴분석 결과 4개의 생물상으로 구분되었다. 생물상 1은 강화 남단의 동부 갯벌, 생물상 4는 강화 남단의 서부 갯벌의 저서환경을 나타냈다. 생물상 3은 생물상 1과 4의 전이환경으로 보여 진다.

핵심용어: 강화 갯벌, 표층퇴적물, 유공충, 생물상

1. 서론

서해안에는 규모가 다양한 강과 하천이 서해로 유입되어 하구가 많이 형성되어 있으며, 조차가 크기 때문에 갯벌이 형성되기에 좋은 조건을 가지고 있다. 하구 주변에 형성된 해안습지는 강과 하천에서 유출된 영양염류가 축적되기 때문에 해양생물의 서식지와 산란지로서 역할을 하고 있다. 최근 수십 년 동안 서해안의 개발은 하구와 주변 습지의 기능을 악화 시키는 역할을 하였다. 금강과 영산강에는 하구언이 건설되었고 만경강과 동진강은 새만금 간척에 의하여 하구의 기능이 거의 상실되고 있는 실정이다.

경기만은 한강의 하류에서 임진강과 예성강이 합쳐져 서해로 유입되며 조차가 최대 9m에 가까워 넓은 하구 갯벌이 형성되어 있는 곳이다. 그러나 경기만 해안은 수도권에 인접하여 있고 인구가 밀집된 지역으로 개발의 압력이 매우 높다. 시화 방조제와 다양한 규모의 해안 매립 등은 경기만의 해양자원을 급격히 훼손하고 있다.

경기만의 강화도 남단 갯벌은 대표적인 하구 갯벌로서 독특한 지형, 다양한 퇴적상을 가지고 있다. 이 지역은 갯벌 생물의 서식지와 산란지 그리고 철새 도래지로서 주요한 기능을 가지고 있다. 최근 인천국제공항, 영종대교 등의 주변 해안 구조물 건설로 인하여 조류, 퇴적물 순환 등 해양환경에 변화가 생겼다. 강화 남단 갯벌의 퇴적물은 최근 10년 동안 연도별 변화가 나타났으며, 인공구조물이 건설된 동부지역에서는 퇴적이 계속되는 현상이 나타나고 있다(우한준과 세종길, 2002; 우한준 등, 2004).

20세기 현생 유공충의 생태학적 연구는 유공충이 현생 해양환경 변화를 파악할 수 있는 지시자로서 유용하게 사용될 수 있다는 것을 증명하였다. 유공충의 분포는 해류, 수온, 염분, 퇴적물 특성, 지형 등 다양한 생태적인 요인들에 의하여 영향을 받는다(Phleger, 1960; Murray, 1973; Boltovskoy and Wright, 1976; Sen Gupta, 1999). 유공충 분포 변화는 연안에서 다양한 생태학적 요인에 의하여 결정되며, 매우 짧은 생식주기(약 3달)를 가지고 있기 때문에 환경 변화를 파악할 수 있는 지시자로 유용하게 사용될 수 있다. 강화 남단 갯벌은 최근에 인공적인 요인에 의하여 환경 변화가 일어나고 있는 지역이다. 퇴적물 순환에 따른 갯벌의 특성과 생태계의 변화를 파악하기 위하여 지속적인 조사가 필요할 것이며 변화 상황에 따라 적절한 관리 정책이 필요할 것이다. 본 연구는 강화 남단 갯벌의 표층퇴적물에 분포하는 유공충 특성을 파악 분석하여 저서환경을 분류하고 특성을 파악하는 것이 목적이다. 강화 남단 갯벌의 유공충 분포 특성은 향후 지속적인 환경 변화를 파악하고 평가할 수 있는 환경 기준선(baseline)으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

갯벌의 유형분류와 퇴적환경을 구분하기 위하여, 2003년 8월에 강화도 남단 갯벌과 그 주변 해저에서 소형 조사선과 van Veen Grab Sampler를 이용하여 199점의 표층 퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 1). 시료채취 정점들은 분석

후 통계처리와 퇴적상 변화에 따른 갯벌의 유형을 분류할 수 있도록 격자망으로 정하였다. 시료 채취 정점들은 GPS Plotter에 미리 입력하여 조사선이 정확한 지점에 도달 할 수 있도록 하였다.

채취된 약 50g정도의 시료는 플라스틱 봉지에 넣어 정점을 기재한 후 실험실로 운반하였다. 표층 퇴적물 채취 정점들 중 30정점 (Fig. 1)에서 미고생물(유공충)용 시료로 20ml를 떠내어 플라스틱 병에 담고 헥사민으로 중화(pH 8~9)시킨 5% 포르말린 용액을 즉시 넣어 고정시켰다.

표층 퇴적물 시료는 먼저 5g 썩을 1000ml 비이커에 넣고 순수 쇠설성 퇴적입자만 남도록 1N 염산(HCl)을 첨가하여 패각편 등의 탄산염질 생물기원 물질을 완전히 제거한 후 10%의 묽은 과산화수소(H₂O₂)와 24시간동안 반응시켜 유기물을 완전히 제거하였다. 시약 처리된 시료는 4φ (0.0625mm)체를 통과하도록 습식 체질(wet sieving)하여 체에 남은 4φ이하의 조립질과 체를 통과한 4φ이상의 세립질 퇴적물로 분리하였

다. 건조된 조립질 퇴적물은 0.5φ간격의 체가 단계별로 장착된 자동 Ro-tap sieve shaker에 넣어 15분간씩 체질하여 입도별로 무게를 구하였다. 세립질 퇴적물은 약 2g 썩을 50ml 비이커에 넣고 0.1% Calgon(분산제)을 300ml을 첨가하여 초음파분쇄기와 자기 진동기로 균질하게 분산시킨 후 X-선 입도분석기인 Sedigraph 5000D로 각 입도별 분포를 구한 후 각 시료의 입도별 백분율을 구하여 입도 성분 및 특성을 분석하였다. 입도분석자료를 이용하여 갯벌분류의 기본이 되는 퇴적상과 그 외 특성은 Folk(1968)의 방법에 따라 구하였다.

현장에서 포르말린 용액으로 고정시켜온 유공충 분석용 시료는 24시간 이내에 4φ체를 사용하여 습식체질로 세립질 퇴적물과 포르말린을 제거한 후 남은 시료를 50% Isopropyl alcohol과 함께 플라스틱 병에 보관하였다. 보관된 시료는 실험실에서 살아있는 개체와 죽은 개체를 구별하기 위하여 0.1g의 로즈 벵갈(rose Bengal)을 넣

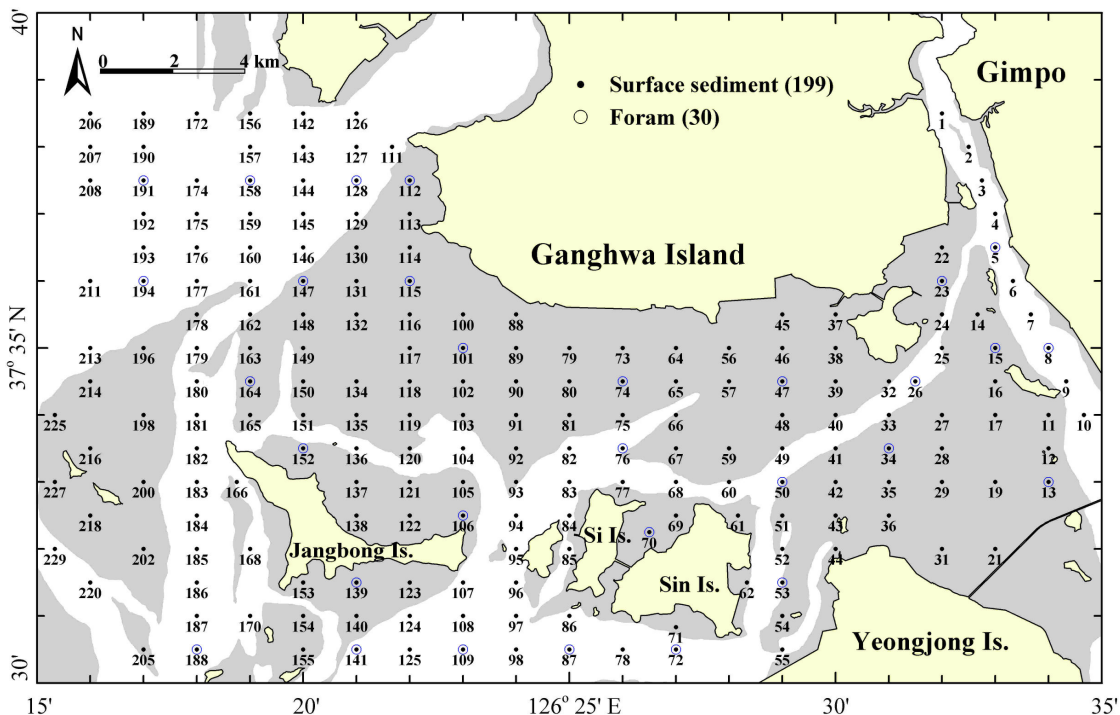


Fig. 1. Location map showing 199 surface sediment and 30 foraminiferal sampling stations at the Ganghwa tidal flat.

어 6~8시간 착색시킨 후 (Walton, 1952), 4 ϕ 체를 이용하여 로즈 벵갈과 Isopropyl alcohol을 제거시켰다. 로즈 벵갈과 Isopropyl alcohol을 제거시킨 모래 크기의 시료는 증발접시에 모은 후에 비누거품을 넣어 가볍게 저어주면 비누성분에 흡착된 유공충은 석영입자 보다 가벼우므로 위로 뜨게 되는 soap-floated 방법(Howe, 1941)으로 5회 반복하여 유공충과 모래를 분리시켜 유공충을 추출하였다. 추출된 시료는 45~60°C의 온도로 오븐에서 건조시켰다. 건조된 시료는 실체현미경 하에서 살아있는 개체를 구별하기 위하여 물에 적신 세립 붓을 사용하여 동정한 후 유공충을 같은 종끼리 분류하고 참고문헌과 비교하여 종을 확인하였다. 동정된 유공충은 각 종별로 상대적 인 풍부성(%)을 구하였으며, 저서성 유공충 군집 특성을 분석하기 위하여 종다양도(species diversity) (MacArther and MacArther, 1961)와 균등도(equitability) (Buzas and Gibson, 1969)를 구하였다. 연구지역 유공충 군집의 지리적인 분포를 파악하기 위하여 집괴분석(cluster analysis)을 실시하였다. 집괴분석은 긴 기간의 환경을 지시하는 전체 군집 분석의 경우 희귀종까지 포함시킨 결과보다는 보편적으로 나타나는 종들만을 대상으로 할 때 더 좋은 결과가 나타나는 것으로 알려져 있다 (Culver and Buzas, 1981). 먼저 각 시료 20mℓ 당 100 개체 이상이 출현하는 정점과 어느 정점에서나 전체 유공충 군집의 2% 이상을 차지하는 종들을 대상으로 집괴분석을 실시하였다. Bray-Curtis를 이용하여 정점간의 유사도를 파악한 후, 그룹 평균법(Group average method)을 이용하여 집괴분석을 실시하였다.

3. 결과

강화 남부 갯벌과 주변 조하대 퇴적물의 유형을 파악하기 위하여, 2003년 8월에 총 199개의 표층퇴적물을 채취하여 입도의 특성을 분석하였다. 표층퇴적물의 퇴적상은 자갈(gravel), 모래

자갈(sandy gravel), 모래, 자갈 모래 및 자갈이 약간 함유된 모래(sand, gravelly sand, slightly gravelly sand), 자갈 펄모래, 자갈이 약간 함유된 펄모래, 펄모래 및 실트 모래(gravelly muddy sand, slightly gravelly muddy sand, muddy sand, silty sand), 모래 실트, 실트, 자갈 펄, 자갈이 약간 함유된 모래펄 및 모래펄(sandy silt, silt, gravelly mud, slightly gravelly sandy mud, sandy mud) 그리고 펄(mud) 등 6개의 퇴적상으로 구성되어 있었다 (Fig. 2). 전반적으로 강화도 남부에는 모래와 펄이 섞인 모래펄 퇴적물이 우세하였으며, 서부에는 모래 퇴적물이 우세하게 분포 하였다.

자갈 퇴적상은 황산도 북부의 영하수로, 시도와 장봉도 사이와 영종대교 부근의 수로에 분포하고 있었다. 모래 자갈 퇴적상은 장봉도 북부 수로와 영종대교 인접한 지역에 분포하였다. 모래, 자갈 모래 및 자갈이 약간 함유된 모래 퇴적상은 신도 북부 수로와 강화도와 장봉도 서부에서 동만도, 서만도 지역까지 넓게 분포하였다. 자갈 펄모래, 자갈이 약간 함유된 펄모래, 펄모래 및 실트 모래 퇴적상은 강화 남단 갯벌 서쪽에 부분적으로 분포하였다. 모래 실트, 실트, 자갈 펄, 자갈이 약간 함유된 모래펄 및 모래펄 퇴적상은 강화 남단 갯벌에 가장 넓은 범위로 분포하고 있었다. 펄 퇴적상은 동검도 부근, 영종도 북부 그리고 시도 서북부에 분포하였다. 표층퇴적물의 성분 중 모래의 함량(%)은 일반적으로 동검도 부근에는 10% 내외 이고, 서쪽으로 점차 증가하여 강화도와 장봉도 서쪽은 90% 이상의 함량을 보이고 있었다. 신도와 장봉도 북부 수로 인근에서 부분적으로 모래가 90%이상 나타나는 지역이 존재하였다.

표층퇴적물의 평균입도는 -0.21~7.59 ϕ 로 매우 넓은 범위로 분포하고 있으며, 동검도와 영종도 사이에는 상대적으로 세립한 실트 크기의 6.0~7.0 ϕ 가 주로 분포하고 있었다(Fig. 3A). 강화 남단 갯벌 중앙부에서 장화리 갯벌 사이에는 평균입도 4.0~5.0 ϕ 가 주로 분포하며, 강화도

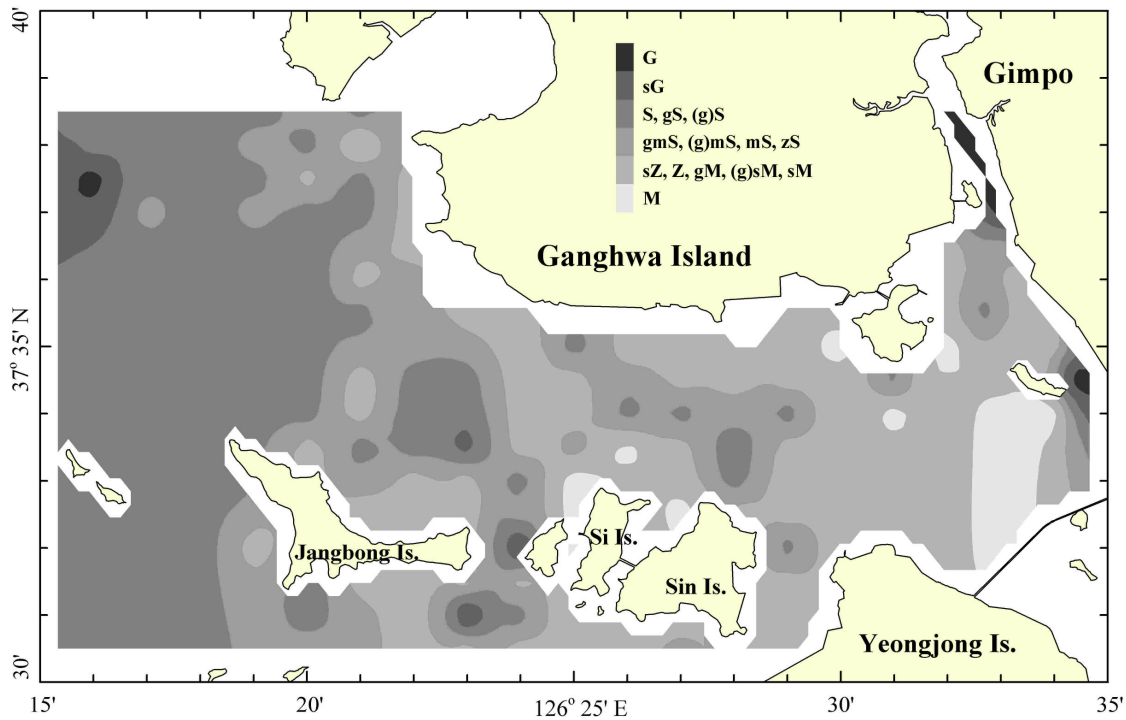


Fig. 2. Distribution of surface sediment facies on the Ganghwa tidal flat in summer 2003.

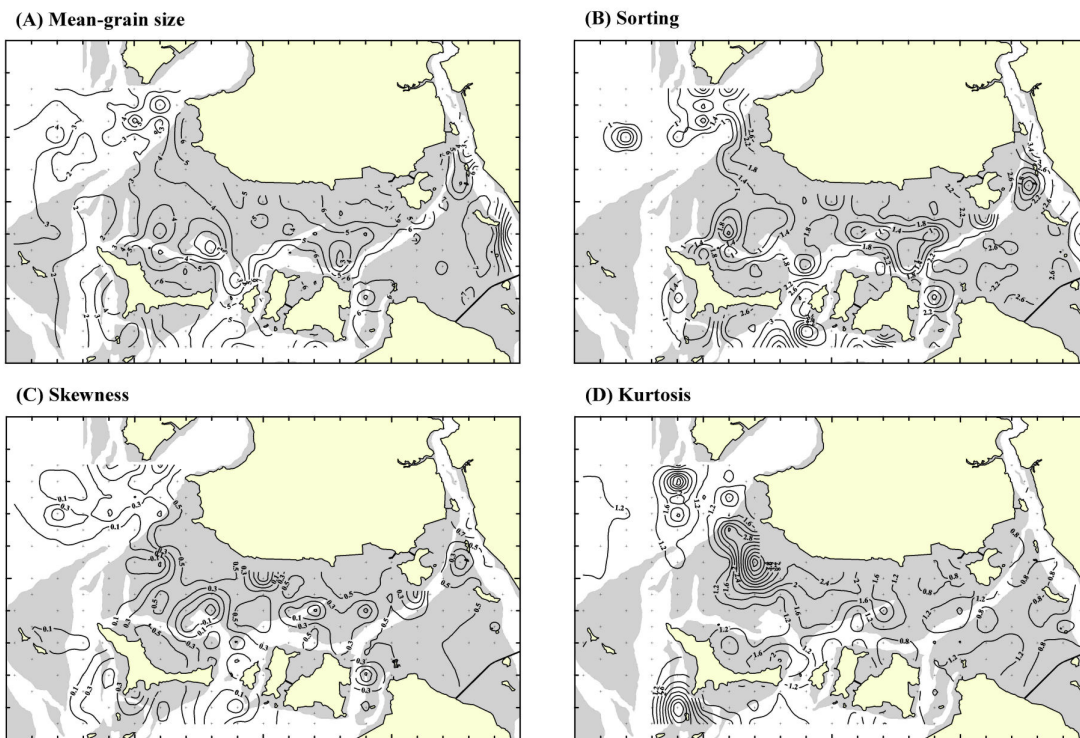


Fig. 3. Distribution of grain-size characteristics on the Ganghwa tidal flat in summer 2003.

와 장봉도 서부 지역은 고운 모래 크기인 2.0~3.0 ϕ 가 우세하게 분포하였다.

표층퇴적물 분급도는 동부에서 서부로 양호해지는 경향을 보였다(Fig. 3B). 동검도와 영종도 사이의 동부 갯벌과 신도와 장봉도 근처의 수로에서는 대부분 2.0 ϕ 이상으로 매우 불량한 분급(very poorly sorted)을 보였다. 강화 남부 갯벌은 불량한 분급을 보이고 있으며, 강화도와 장봉도 서부는 1.0 ϕ 이하의 양호한 분급을 보였다. 이러한 경향은 강화 남부 갯벌은 모래와 펄 등이 혼합되어 분급이 나쁘며 반면에 서부는 모래가 우세하여 단일 입도 퇴적물의 함량이 높음을 의미하고 있다.

표층퇴적물의 왜도는 -0.60 ϕ (very negative skewed)에서 0.94 ϕ (very positive skewed)까지 넓은 범위로 분포한다. 강화 남단 갯벌의 대부분은 매우 양으로 치우친(very positive skewed: 0.3~1.0 ϕ) 왜도이고 강화도와 장봉도 서부는 양으로 치우친(positive skewed: 0.3~0.1 ϕ) 왜도가 우세하게 분포 한다(Fig. 3C). 이러한 경향은 강화 남단 갯벌에는 퇴적물의 평균 입도 보다 세립한 입자가 더 많이 포함되어 있음을 의미한다.

표층퇴적물의 침도는 0.48 ϕ ~5.70 ϕ 로 넓은 범위로 분포하고 있다. 동검도와 영종도 사이의 갯벌은 mesokurtic이 우세하며, 동막부터 장화리 사이의 갯벌은 very leptokurtic이 우세하며, 강화도와 장봉도 서부는 mesokurtic이 우세하였다(Fig. 3D). 동막과 장화리 사이의 갯벌은 표층 퇴적물 입도 크기가 중앙치에 매우 밀접하게 분포한다는 것을 의미한다.

강화 남단 갯벌 및 주변 해저부 30개 정점 표층퇴적물에서 저서성 유공충은 살아있는 유공충 34종을 포함하여 총 61종이 확인 되었다(Table 1). 연구지역의 저서성 유공충의 종수, 개체수, 종다양도, 균등도 등의 일반적인 분포 특성은 Table 2에 나타내었다. 살아있는 유공충 종(species)은 염하수로 정점 5와 8에서 최저 2종, 신도 남부 조하대 정점 72에서 최대 11종이

확인 되었다. 젖은 시료 20ml당 살아있는 개체수는 여차리 갯벌 정점 115에서 212개체로 가장 많이 출현하였으며, 일반적으로 수로 근처에서는 상대적으로 적고 강화 남단 갯벌 서부에서 상대적으로 많은 개체수가 나타났다. 전체 유공충에서 살아있는 유공충의 비율은 장봉도 남부 조하대 정점 141에서 100%로 최대로 나타났으며, 일반적으로 연구지역 서부가 동부 지역보다 높은 비율을 보였다. 살아있는 유공충 종중에서 *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*가 비교적 넓은 범위에서 분포하였다.

살아있는 개체와 죽은 개체를 합한 전체군집에서 종수는 장화리 갯벌 정점 112에서 33종으로 가장 많았으며, 장봉도 북부 갯벌 정점 164에서 5종으로 가장 작게 나타났다. 젖은 시료 20ml당 개체수는 장봉도 북부 갯벌 정점 152에서 614개체로 최대이며, 강화도 서부 해역인 정점 194에서 12 개체로 최소로 나타났다. 종 다양도는 석모수로 부근 정점 158에서 0.60으로 최소, 정점 191에서 2.47로 최대값을 보였다. 균등도는 염하수로와 석모수로 부근 정점 5와 158에서 0.26로 최소값을 나타내며, 장봉도 남부 조하대 정점 141에서 0.92로 최대값을 나타냈다. 사질 유공충의 비율은 염하수로와 석모수로 부근 정점 5와 158에서 각각 91.67%, 92.86%로 최대값을 보였다. 전체군집에서 *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina sp.*와 *Textularia earlandi*가 넓은 범위에서 나타나고 있었다.

강화 남단 갯벌과 주변부의 표층퇴적물에 포함된 저서성 유공충을 이용하여 지리적인 분포를 구분하기 위하여 각 시료 20ml당 100 개체 이상이 출현하는 19개 정점과 어느 정점에서나 전체 유공충 군집의 2% 이상을 차지하는 20종을 대상으로 집괴분석을 실시하였다. 유공충 군집의 집괴분석 결과 각 정점들은 4개의 생물상(biofacies)으로 구분되었다(Fig. 4). 4개의 생물상은 강화 남단 지도에 표시하였으며, 생물상이 표시되지 않은 정점들은 100개체 이하로 출현

Table 1. Relative abundance(%) for living(L) and total(T) assemblages in surface sediment on the Ganghwa tidal flat.

Station No.		St.5	St.8	St.13	St.15	St.23	St.26	St.34	St.47	St.50	St.53	St.70	St.72	St.74	St.76	St.87
<i>Ammobaculites exiguus</i>	T											0.79	0.74	0.44	0.78	0.76
	L															2.48
<i>Ammobaculites filliformis</i>	T									0.65						0.25
	L															0.83
<i>Ammonia beccarii</i>	T	1.19	11.54	11.62	4.31	4.44	15.63	14.46	16.67	14.29	9.96	23.81	9.56	34.80	18.75	5.85
	L	50.00	50.00	9.09	8.33		10.26		32.86	32.26		20.93	5.08	66.67	20.00	
<i>Ammonia ketienziensis</i>	T												0.74			
	L															
<i>Anomalina ungeriana</i>	T								0.93							
	L															
<i>Astrononion hanyudaense</i>	T			1.01	0.86			1.81	1.54		1.15	3.97	5.88	2.20	1.56	1.53
	L											6.98	3.39			
<i>Astrononion stelligerum</i>	T			1.01	2.59	3.33		0.60	1.23	1.30	2.30	0.79	2.57	3.08	2.34	1.53
	L															
<i>Bolivina decussata</i>	T								0.31							
	L															
<i>Bolivina sp.</i>	T			1.01				0.60			0.38		0.74			0.25
	L										9.09		1.69			
<i>Bolivina spissa</i>	T							0.60					0.37			
	L												1.69			
<i>Bolivina subspinescens</i>	T												0.37			
	L															
<i>Buccella frigida</i>	T		1.28	1.01							0.38		0.37			0.25
	L															
<i>Bulimina marginata</i>	T															
	L															
<i>Cibicides subhaldingerii</i>	T					1.11										
	L															
<i>Cribrononion clavatum</i>	T			1.52	2.59			2.41	1.23	3.25	1.53	1.59	2.94	4.41		2.80
	L															
<i>Discammina emaciata</i>	T				0.86	1.11			1.23			3.97				
	L															
<i>Discorbis australis</i>	T				0.86			0.60	0.31							
	L							25.00								
<i>Discorbis chinensis</i>	T															0.25
	L															
<i>Discorbis taiwanensis</i>	T															0.25
	L															
<i>Elphidium advenum</i>	T	2.38	1.28			2.22	3.13	1.81			0.38		1.47	2.64		0.25
	L															
<i>Elphidium etigoense</i>	T	1.19	12.82	25.76	16.38	6.67	35.42	21.08	33.33	18.83	32.18	29.37	25.00	20.26	31.25	26.46
	L			45.45	50.00	20.00	61.54	25.00	62.86	41.94	72.73	58.14	44.07	25.00	47.27	16.53
<i>Epistominella naraensis</i>	T		1.28	1.01	1.72		2.08	0.60	3.40	2.60	3.07		2.21	2.64	1.56	0.76
	L									6.45						
<i>Epistominella nipponica</i>	T						1.04									
	L															
<i>Eponides nipponicus</i>	T												0.74	0.88		1.27
	L															
<i>Fissurina agassizi</i>	T	1.19														0.25
	L															
<i>Fissurina echigoensis</i>	T													0.44		
	L															
<i>Fissurina marginata</i>	T			0.51							0.38		0.37			
	L										9.09					
<i>Florilus manpukuziensis</i>	T															0.25
	L															0.83
<i>Florilus sp.</i>	T															
	L															
<i>Fursenkoina sp.</i>	T										0.38					
	L															

Table 1. continued

Station No.		St.101	St.106	St.109	St.112	St.115	St.128	St.139	St.141	St.147	St.152	St.158	St.164	St.188	St.191	St.194
<i>Ammobaculites exiguus</i>	T	0.42									0.65					
	L															
<i>Ammobaculites filliformis</i>	T							1.68								
	L															
<i>Ammonia beccarii</i>	T	42.68	16.44	6.54	29.35	34.40	13.51	15.13	20.00	35.90	11.40	1.79	10.00	15.29	17.95	
	L	34.62	12.20		39.39	1.89	13.33		20.00	28.57	12.50	2.78		20.00		
<i>Ammonia ketienziensis</i>	T									5.13			10.00	3.53		
	L												16.67			
<i>Anomalina ungeriana</i>	T															
	L															
<i>Astrononion hanyudaense</i>	T	3.35	5.48	2.34	7.22	10.40	8.11	13.45		10.26	2.61			15.29	6.84	
	L	9.62	9.76	5.56	13.64	16.98	13.33	24.24		28.57				20.00		
<i>Astrononion stelligerum</i>	T	1.67	3.65	2.80	3.16	1.60	2.70	0.84		2.56	1.30				1.71	
	L	1.92	4.88	5.56	4.55	1.89		1.52								
<i>Bolivina decussata</i>	T															
	L															
<i>Bolivina sp.</i>	T	0.42									0.33					
	L										2.50					
<i>Bolivina spissa</i>	T			0.93	0.23	0.80					0.33					
	L				1.52	1.89										
<i>Bolivina subspinescens</i>	T			0.47												
	L															
<i>Buccella frigida</i>	T	0.42			0.45					2.56						
	L															
<i>Bulimina marginata</i>	T	0.42														
	L															
<i>Cibicides subhaldingerii</i>	T															
	L															
<i>Cribrononion clavatum</i>	T	4.18	2.28	3.27	3.39	2.40	2.70	0.84	20.00		4.56				5.13	
	L								20.00						16.67	
<i>Discammina emaciata</i>	T				0.23										0.85	
	L															
<i>Discorbis australis</i>	T										0.33				0.85	
	L															
<i>Discorbis chinensis</i>	T			0.47	0.45	0.80										
	L															
<i>Discorbis taiwanensis</i>	T			0.93							0.33					
	L										0.00					
<i>Elphidium advenum</i>	T	0.42	0.91	2.34	0.68		2.70	0.84	6.67					1.18	1.71	
	L			5.56					6.67					1.54		
<i>Elphidium etigoense</i>	T	25.94	22.83	28.50	25.28	20.80	5.41	45.38	6.67	5.13	32.2	1.79	10.00		17.95	
	L	42.31	26.83	33.33	34.85	30.19		74.24	6.67		15.0	2.78			66.67	
<i>Epistominella naraensis</i>	T	2.51	3.65	2.34	2.71		5.41	1.68			2.0				5.13	
	L															
<i>Epistominella nipponica</i>	T		0.46													
	L															
<i>Eponides nipponicus</i>	T	0.42			0.90					7.69	0.3					
	L									14.29						
<i>Fissurina agassizi</i>	T				0.23						0.3					
	L															
<i>Fissurina echigoensis</i>	T															
	L															
<i>Fissurina marginata</i>	T										0.3					
	L															
<i>Florilus manpukuziens</i>	T															
	L															
<i>Florilus sp.</i>	T				0.23	0.80										
	L															
<i>Fursenkoina sp.</i>	T			0.93												
	L															

Table 1. continued

Station No.		St.5	St.8	St.13	St.15	St.23	St.26	St.34	St.47	St.50	St.53	St.70	St.72	St.74	St.76	St.87
<i>Gaudryina karlhaensis</i>	T	1.19	7.69	3.54	0.86	3.33	1.04	3.61	2.78	7.79	1.53	1.59	1.47	2.64	0.78	1.53
	L			9.09	8.33											
<i>Globocassidulina parva</i>	T						2.08									
	L															
<i>Glomospira gordialis</i>	T												0.37		0.78	
	L															
<i>Gyroidinoides</i> sp.	T											2.38	1.47		0.78	
	L											2.33				
<i>Hanzawaiwa nipponica</i>	T															
	L															
<i>Haplophragmoides columbiense</i>	T															
	L															
<i>Hopkinsina glabra</i>	T		1.28	1.01	1.72	1.11			0.93	1.30	0.38		1.10		3.13	2.29
	L				8.33	20.00				3.23			1.69		7.27	4.13
<i>Islandiella norvangi</i>	T						1.04	0.60		0.65						
	L															
<i>Jadammina</i> sp.	T	78.57	46.15	34.34	50.00	65.56	19.79	30.72	26.23	31.17	36.40	23.02	22.43	14.10	18.75	15.52
	L		50.00	27.27		20.00	7.69		2.86	3.23	9.09		10.17			2.48
<i>Lagena</i> sp.	T							0.60								
	L															
<i>Miliolinella circularis</i>	T															0.25
	L															
<i>Nonionella stella</i>	T		1.28	1.52	0.86			1.81	0.93		1.15		6.62	0.88	4.69	23.66
	L												22.03		10.91	55.37
<i>Paracassidulina sulcata</i>	T															
	L															
<i>Pararotalia nipponica</i>	T								0.31	0.65			0.74	0.88		
	L															
<i>Pleurostomella alternans</i>	T					2.22		0.60							1.56	0.25
	L					20.00		25.00								
<i>Pseudononion japonicum</i>	T		1.28	3.03	0.86		2.08	2.41	1.23	0.65			1.84	0.88	2.34	5.09
	L			9.09	8.33		2.56								5.45	11.57
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	T			4.04	0.86		4.17	0.60	0.93		1.92			2.20		0.25
	L						5.13		1.43							
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	T	2.38	5.13		3.45	1.11	2.08			0.65		3.97	0.74		0.78	1.27
	L					20.00	5.13			3.23		11.63				1.65
<i>Reophax scorpiurus</i>	T															
	L															
<i>Reophax</i> sp.	T	2.38	1.28													
	L	50.00														
<i>Rosalina bradyi</i>	T								0.31	1.95			0.37			0.51
	L									6.45						
<i>Rosalina globularis</i>	T			0.51						0.65						
	L															
<i>Rutherfordoides mexicanus</i>	T			0.51					0.31				0.37	0.88	1.56	0.51
	L												1.69	8.33	1.82	
<i>Silicosigmollina abyssalica</i>	T									0.65						
	L															
<i>Stainforthia exilis</i>	T				0.86		1.04	1.20		0.65	0.38		0.37		1.56	1.02
	L				8.33			25.00		3.23					3.64	3.31
<i>Textularia earlandi</i>	T	4.76	2.56	2.53	1.72	2.22	1.04	3.01	2.47	7.14	1.15	1.59	4.04	2.20	1.56	1.02
	L				8.33								1.69		1.82	
<i>Triloculina tricarinata</i>	T															
	L															
<i>Trochammina globigeriniformis</i>	T														2.34	0.25
	L															
<i>Trochammina japonica</i>	T	4.76	5.13	3.54	6.90	5.56	1.04	9.04	1.85	4.55	2.30	3.17	1.84	3.52	3.13	3.05
	L						2.56								1.82	
<i>Trochammina nobensis</i>	T			1.01	1.72		3.13	1.20	1.23	0.65	2.30		2.21			0.51
	L						5.13						6.78			0.83
<i>Trochammina pacifica</i>	T								0.31		0.38					
	L															

Table 1. continued

Station No.		St.101	St.106	St.109	St.112	St.115	St.128	St.139	St.141	St.147	St.152	St.158	St.164	St.188	St.191	St.194
<i>Gaudryina karlhaensis</i>	T	2.51	2.74	2.80	3.16	3.20	5.41	1.68	13.33		2.6	3.57			8.55	
	L		2.44	5.56			13.33		13.33		5.0	5.56				
<i>Globocassidulina parva</i>	T															
	L															
<i>Glomospira gordialis</i>	T									2.56						8.33
	L									14.29						
<i>Gyroidinoides</i> sp.	T	1.26	4.57		1.13	5.60					0.7					
	L	1.92	12.20			13.21										
<i>Hanzawaiwa nipponica</i>	T		0.46													
	L															
<i>Haplophragmoides columbiense</i>	T				0.23											
	L															
<i>Hopkinsina glabra</i>	T		0.91	1.87	0.68						0.7				1.71	
	L			2.78											16.67	
<i>Islandiella norvangi</i>	T															
	L															
<i>Jadammina</i> sp.	T	2.09	18.72	21.03	11.74	2.40	21.62	9.24	13.33	10.26	15.0	87.50	60.00	54.12	5.13	41.67
	L	1.92	7.32	5.56	1.52	1.89			13.33	14.29		83.33	66.67	49.23		33.33
<i>Lagena</i> sp.	T				0.45											
	L															
<i>Miliolinella circularis</i>	T															
	L															
<i>Nonionella stella</i>	T	0.84	5.48	14.02	0.45	0.80			13.33	2.56	10.4					
	L		19.51	33.33					13.33		47.5					
<i>Paracassidulina sulcata</i>	T															
	L															
<i>Pararotalia nipponica</i>	T			0.47	0.23					5.13				2.35	0.85	8.33
	L				1.52											
<i>Pleurostomella alternans</i>	T	0.42		0.47												
	L	1.92														
<i>Pseudononion japonicum</i>	T	0.84	0.91		0.45	0.80					1.3	1.79				
	L		2.44		1.52						10.0	2.78				
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	T	0.84	3.20	0.47		13.60		0.84		2.56	0.7			2.35	0.85	8.33
	L	3.85	2.44			32.08								1.54		16.67
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	T	0.42		1.40	0.23		2.70				0.3					
	L						6.67									
<i>Reophax scorpiurus</i>	T				0.23											
	L															
<i>Reophax</i> sp.	T		0.46		0.23											
	L															
<i>Rosalina bradyi</i>	T				0.23						0.3					
	L															
<i>Rosalina globularis</i>	T														1.71	
	L															
<i>Rutherfordoides mexicanus</i>	T				0.45					2.56	0.7	1.79			0.85	
	L										5.0					
<i>Silicosigmollina abyssalica</i>	T															
	L															
<i>Stainforthia exilis</i>	T	0.42	0.46		0.23						0.7					
	L															
<i>Textularia earlandi</i>	T	2.93	0.91	2.34	2.71	0.80	5.41	4.20	6.67	2.56	2.6				16.24	8.33
	L				1.52		13.33		6.67		2.5					16.67
<i>Triloculina tricarinata</i>	T														0.85	
	L															
<i>Trochammina globigeriniformis</i>	T	1.26	1.83	0.47	0.45						1.6					
	L															
<i>Trochammina japonica</i>	T	2.51	3.20	2.34	2.03		24.32	4.20		2.56	4.2			5.88	3.42	25.00
	L	1.92					40.00							7.69		33.33
<i>Trochammina nobensis</i>	T	0.84	0.46	0.47	0.23	0.80					1.3	1.79	10.00		1.71	
	L			2.78								2.78	16.67			
<i>Trochammina pacifica</i>	T															
	L															

Table 2. Benthic foraminiferal characteristics in surface sediments.

Station No.		St.5	St.8	St.13	St.15	St.23	St.26	St.34	St.47	St.50	St.53	St.70	St.72	St.74	St.76	St.87
No. of species	T	10	14	20	19	13	19	22	22	20	20	13	30	19	20	32
(Total/Live)	L	2	2	5	7	5	8	4	4	8	4	5	11	3	9	11
No. of species (Arenaceous)		5	5	5	6	6	5	6	7	7	6	6	6	5	7	9
Fraction picked		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
No. of individuals per fraction picked	T	84	78	198	116	90	96	166	324	154	261	126	272	227	128	393
(Total/Live)	L	2	4	11	12	5	39	4	70	31	11	43	59	12	55	121
No. of individuals per fraction picked (Arenaceous/ Calcareous)	A	77	49	89	72	72	25	80	117	81	115	43	89	52	37	91
	C	7	29	109	44	18	71	86	207	73	146	83	183	175	91	302
No. of individuals per 20ml	T	84	78	198	116	90	98	166	323	154	260	126	272	227	128	393
(Total/Live)	L	2	4	11	12	5	39	4	70	31	11	43	59	12	55	121
Live(%)		2.38	5.13	5.56	10.34	5.56	40.63	2.41	21.60	20.13	4.21	34.13	21.69	5.29	42.97	30.79
No. of individuals per 20ml (Arenaceous/ Calcareous)	A	77	49	89	72	72	25	80	117	81	115	43	89	52	37	91
	C	7	29	109	44	18	71	86	207	73	146	83	183	175	91	302
Species diversity		0.96	1.86	2.06	1.88	1.44	2.15	2.19	2.00	2.17	1.84	1.90	2.51	2.13	2.19	2.33
Equitability		0.26	0.46	0.39	0.34	0.32	0.45	0.41	0.33	0.44	0.31	0.51	0.41	0.44	0.45	0.32
% of Arenaceous foram		91.67	62.82	44.95	62.07	80.00	26.04	48.19	36.11	52.60	44.06	34.13	32.72	22.91	28.91	23.16

Table 2. continued

Station No.		St.101	St.106	St.109	St.112	St.115	St.128	St.139	St.141	St.147	St.152	St.158	St.164	St.188	St.191	St.194
No. of species	T	25	22	24	33	16	12	13	8	15	29	7	5	8	20	6
(Total/Live)	L	9	10	9	9	8	6	3	8	5	8	6	3	6	3	4
No. of species (Arenaceous)		8	7	7	9	4	4	5	3	3	7	3	2	2	6	3
Fraction picked		1/2	1/2	1	1	1/4	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	1
No. of individuals per fraction picked	T	239	219	214	443	125	37	119	15	39	307	56	10	85	117	12
(Total/Live)	L	52	41	36	66	53	15	66	15	7	40	36	6	65	6	6
No. of individuals per fraction picked (Arenaceous/ Calcareous)	A	31	62	64	93	9	21	25	5	6	86	52	7	51	42	9
	C	208	157	150	350	116	16	94	10	33	221	4	3	34	75	3
No. of individuals per 20ml	T	478	438	214	443	500	37	119	15	39	614	56	10	85	117	12
(Total/Live)	L	104	82	36	66	212	15	66	15	7	80	36	6	65	6	6
Live(%)		21.76	18.72	16.82	14.90	42.40	40.54	55.46	100.00	17.95	13.03	64.29	60.00	76.47	5.13	50.00
No. of individuals per 20ml (Arenaceous/ Calcareous)	A	62	124	64	93	36	21	25	5	6	172	52	7	51	42	9
	C	416	314	150	350	464	16	94	10	33	442	4	3	34	75	3
Species diversity		1.97	2.42	2.33	2.25	1.99	2.17	1.77	1.99	2.24	2.37	0.60	1.23	1.42	2.47	1.54
Equitability		0.29	0.51	0.43	0.29	0.46	0.73	0.45	0.92	0.63	0.37	0.26	0.68	0.52	0.59	0.78
% of Arenaceous foram		12.97	28.31	29.91	20.99	7.20	56.76	21.01	33.33	15.38	28.01	92.86	70.00	60.00	35.90	75.00

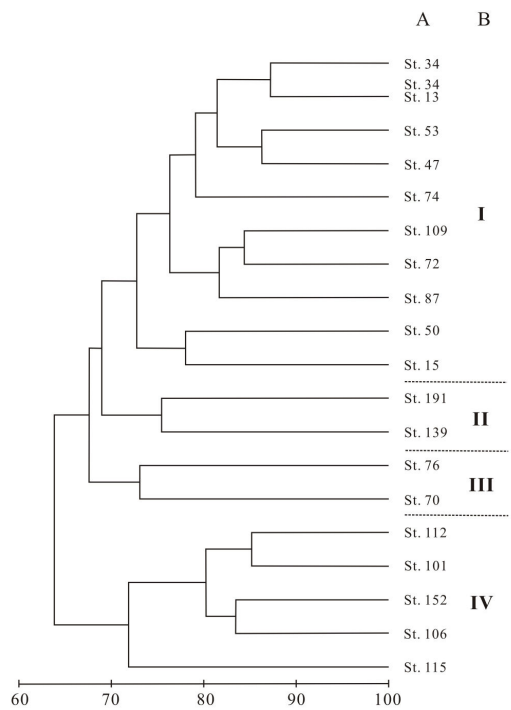


Fig. 4. Dendrogram resulting from cluster analysis of foraminiferal assemblage data. (A: Station, B: Biofacies)

하는 지점이다(Fig. 5). 4개의 생물상에서 나타나는 퇴적물 및 유공충 특성은 Table 3에 나타내었다. 각각의 생물상(biofacies)은 우점종(dominant species)에 의해 특징지어지며, 우점종은 각 생물상을 구성하는 모든 정점에서 나타나며 어느 한 정점에서라도 10% 이상 나타나는 종으로 정의하였다.

생물상 1(biofacies 1)은 정점 13, 15, 34, 47, 50, 53, 72, 74, 87, 109이며, 강화 남단 동부 갯벌과 시도와 신도 남부 조하대에 위치하며 가장 넓게 구성되어 있었다. 이 생물상의 표층퇴적물은 자갈 펄모래, 실트 모래, 모래 실트, 실트, 자갈 펄, 모래 펄로 구성되어 있으며 펄 퇴적물이 우세하였다. 평균 종수는 22종, 20ml당 개체수는 232 개체, 종다양도는 2.14, 균등도는 0.38 그리고 사질 유공충의 비율은 39.67%의 수치를 보였다. 이 지역의 우점종은 *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina* sp., *Nonionella stella* 이었다.

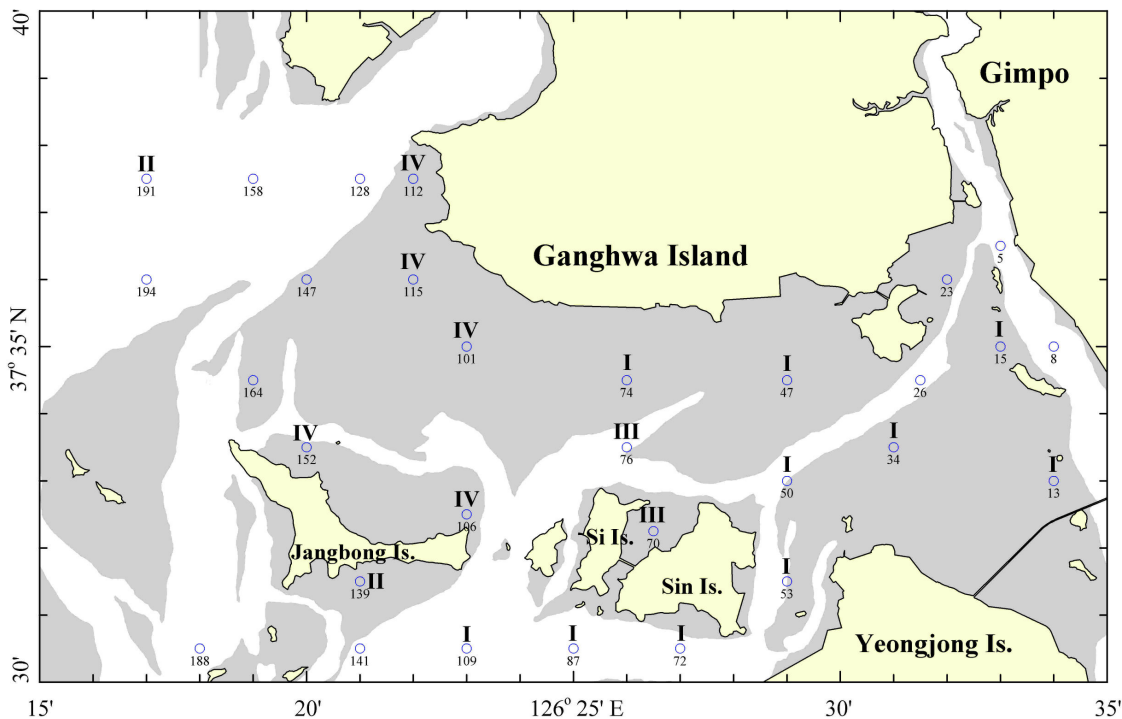


Fig. 5. Map of four biofacies characterized by different total assemblage.

Table 3. Sedimentary and foraminiferal characteristics of four biofacies (S=number of species, N=number of individuals per 20ml, H(S)=species diversity, E=equitability). Values are average within the group.

Biofacies	Station	Sediment type	S	N	H(S)	E	Arenaceous (%)	Dominant species
I	13, 15, 34, 47, 50, 53, 72, 74, 87, 109	gmS, zS, sZ, Z, gM, sM	22	232	2.14	0.38	39.67	<i>Ammonia beccarii</i> <i>Elphidium etigoense</i> <i>Jadammina</i> sp. <i>Nonionella stella</i>
II	139, 191	S, sZ	17	118	2.12	0.52	28.46	<i>Ammonia beccarii</i> <i>Astrononion hanyudaense</i> <i>Elphidium etigoense</i> <i>Textularia earlandi</i>
III	70, 76	sZ, M	17	127	2.05	0.48	31.52	<i>Ammonia beccarii</i> <i>Elphidium etigoense</i> <i>Jadammina</i> sp.
IV	101, 106, 112, 115, 152	zS, sZ, (g)sM, sM	25	495	2.20	0.38	19.50	<i>Ammonia beccarii</i> <i>Astrononion hanyudaense</i> <i>Elphidium etigoense</i> <i>Jadammina</i> sp. <i>Nonionella stella</i> <i>Quinqueloculina seminulum</i>

생물상 2(biofacies 2)는 정점 139, 191의 석 모수로와 장봉도 남부 갯벌에 위치하였다. 표층퇴적물은 모래와 모래 실트이었다. 평균 종수는 17, 20ml당 개체수는 118 개체, 종다양도는 2.12, 균등도는 0.52, 사질 유공충의 비율은 28.46%의 수치를 보였다. 이 지역의 우점종은 *Ammonia beccarii*, *Astrononion hanyudaense*, *Elphidium etigoense*, *Textularia earlandi* 이었다.

생물상 3(biofacies 3)은 정점 70, 76의 강화 남단 갯벌 중앙부의 수로에서 신도 해안에 위치하며 생물상 1과 4의 중간 이었다. 표층퇴적물은 모래 실트와 펄로 구성되어 있었다. 평균 종수는 17종, 20ml당 개체수는 127 개체, 종다양도는 2.05, 균등도는 0.48 그리고 사질 유공충의 비율은 31.52%의 수치를 보였다. 이 지역의 우점종은 *Ammonia beccarii*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina* sp. 이었다.

생물상 4(biofacies 4)는 정점 101, 106, 112, 115, 152의 강화 남단 갯벌의 동부에 위

치하고 있었다. 표층퇴적물은 실트 모래, 모래 실트, 자갈이 약간 함유된 모래펄, 모래 펄 이었다. 평균 종수는 25종, 20ml당 개체수는 495 개체, 종다양도는 2.20, 균등도는 0.38 그리고 사질 유공충의 비율은 19.50%의 수치를 보였다. 이 지역의 우점종은 *Ammonia beccarii*, *Astrononion hanyudaense*, *Elphidium etigoense*, *Jadammina* sp., *Nonionella stella*, *Quinqueloculina seminulum* 이었다.

4. 고찰 및 결론

강화도 남부 갯벌 표층퇴적물의 1997, 1999, 2000, 2003년 여름철 퇴적상 분포를 비교하면, 장봉도 북부 갯벌은 지역에 따라 서로 다른 퇴적 작용이 나타나 퇴적물 변화가 빈번히 발생하며, 강화도 서부에서 우세한 모래펄 퇴적물이 동부로 상당히 확장되어 갯벌의 대부분이 모래펄 퇴적물로 변화되었다(우한준 등, 2004). 동부 갯벌(동막리, 선두리, 흥왕리)의 표층퇴적물은 강화남단

자연생태계 지역조사(환경처, 1991)에 의한 표층퇴적물 구성과 비교하여서도 펄 성분이 증가하여 세립화 되었음을 알 수 있었다.

단기적인 집적물은 지역에 따라 서로 다르게 나타났다. 동막리를 중심으로 동부지역인 선두리, 초지리 갯벌은 퇴적이 계속 되었으며, 서부지역인 흥왕리, 여차리, 장화리 갯벌들은 계절 변화가 있지만 전체적으로 침식되는 것으로 나타났다(우한준과 제종길, 2002).

저서성 유공충은 30개 정점 표층퇴적물에서 살아있는 유공충 34종을 포함하여 총 61종이 확인되었다. 강화 남단 갯벌에서는 서부가 동부보다 전체군집의 종수와 개체수가 많이 나타나며, 강화도와 장봉도 서부의 해저부에서는 종수와 개체수가 상대적으로 작게 나타났다. 살아있는 유공충의 개체수와 종수도 강화 남단 서부 갯벌이 동부 갯벌 보다 높게 나타나며, 이는 서부 지역이 동부 지역에 비하여 생태학적 요인이 상대적으로 좋은 것을 의미한다. 기존 연구(우한준과 제종길, 2002)에 의하면 강화 남단 갯벌의 동부는 해수순환이 원활하지 못하여 많은 퇴적물이 퇴적되는 것으로 알려져 있으며, 이는 유공충 생태에 좋지 않은 영향을 미치는 것을 의미한다. 염하수로와 석모수로의 정점들에서도 유공충의 개체수와 종수가 적게 나타나며, 이는 수로에서는 물리적인 요인(염분, 해류 등)들의 변화가 심하며, 퇴적물이 상대적으로 조립하여 먹이가 되는 유기물 등이 부족한 것이 원인으로 해석된다.

종다양도는 평균 1.95로서 강진만의 평균 2.59(해양수산부, 2002), 함평만의 평균 2.19(해양수산부, 1999), 도암만의 평균 2.71(해양수산부, 2000) 보다 낮다. 남해 오염된 만의 종다양도는 광양만이 1.10 미만(Chang, 1984)이고, 마산만은 평균 1.12(우한준 등, 1999)이다. 오염된 만은 오염에 적응하는 기회종이 우세하게 나타나서 종다양도가 낮은 수치로 나타나는데, 강화 남단 갯벌 및 주변부는 최근 주변에 인공구조물 건설 등으로 해수순환이 원활하지 못하여 유공충 서식 환경에 좋지 않은 영향을 미친 것으

로 보인다. 유공충 서식 환경이 상대적으로 좋지 않은 지역에서 많이 나타나는 사질유공충은 염하수로와 석모수로 정점들에서 상당히 높은 비율로 나타나며 동부 갯벌이 서부 갯벌에 비하여 상대적으로 높은 비율을 보였다.

전체 유공충 군집에 의하여 분리된 4개의 생물상의 특성에 의하면, 생물상 1은 강화 남단의 동부 갯벌, 생물상 4는 강화 남단의 서부 갯벌의 저서환경을 나타내며, 생물상 3은 생물상 1과 4의 전이 환경으로 보여 진다. 평균 종수, 평균 20ml당 개체수 그리고 종다양도는 생물상 4에서 최대로 나타났다. 생물상 특성에 따르면 강화 남단 서부 갯벌은 다른 지역에 비하여 상대적으로 유공충 서식 환경이 좋음을 나타냈다.

사사

본 연구는 해양수산부 “갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구(PM 22100)” 의 일환으로 수행되었습니다. 연구를 위하여 현장조사와 분석에 도움을 주신 권수재, 장석, 최재웅님께 감사드립니다. 논문을 심사하여 주시고 좋은 의견을 주신 국립수산과학원 박경수 박사님과 강소라 박사님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 우한준, 김효영, 정갑식, 천종화, 김성은, 추용식 (1999). 마산만 퇴적환경 오염에 따른 저서성 유공충 분포 변화, 한국해양학회지 『바다』 Vol. 4, pp. 144-154
- 우한준, 박장준, 이연규, 제종길, 최재웅 (2004). 한국 서해 강화 갯벌의 퇴적물 특성, 한국습지학회지, Vol. 6, pp. 167-178
- 우한준, 제종길 (2002). 강화 남부 갯벌의 퇴적환경 변화, Ocean and Polar Research, Vol. 24, pp. 331-343
- 해양수산부 (2000). 갯벌 생태계 조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, BSPM 00072-00-

- 1308-3, pp. 1203
- 해양수산부 (2002). 갯벌 생태계 조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, BSPM 16100-1465-3, pp. 885
- 해양수산부 (1999). 갯벌 생태계 조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, BSPM 99035-00-1228-3, pp. 875
- 환경처 (1991). '91 자연생태계 지역조사 - 서해안 간석지(강화도 남단) 조사 -, 환경처 보고서, pp. 195, 1991.
- Boltovskoy, E. and Wright. R. (1976). Recent foraminifera, The Hague, pp. 515
- Buzas, M.A. and Gibson, T.G. (1969). Species diversity: benthonic foraminifera in western north Atlantic, Science, Vol. 163, pp. 72-75
- Chang, S.K. (1984). Recent benthic foraminifera from Gwangyang Bay, Korea, In: Oertli, H.J. (ed.), Benthos '83: 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera (Pau, April 1983), Elf Aquitaine, Esso REP and Total CEP, Pau and Bordeaux, 1984, pp. 141-146
- Culver, S.J. and Buzas, M.A. (1981). Recent benthic foraminiferal provinces on the Atlantic continental margin of North America, Journal of Foraminiferal Research, Vol. 11, pp. 217-240
- Folk, R.L. (1968). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, pp. 170
- Howe, H.V. (1941). The use of soap in the preparation of samples for micro-paleontological study, Journal of Paleontology, Vol. 15, pp. 691
- MacArther, R.H. and MacArther, J.W. (1961). On bird species diversity, Ecology, Vol. 42, pp. 544-598
- Murray, J.W. (1973). Distribution and ecology of living benthic foraminiferids, Crane, Russak and Company, Inc., New York, pp. 274
- Phleger, F.B. (1960). Ecology and distribution of recent foraminifera, Johns Hopkins Press, Baltimore, pp. 297,
- Sen Gupta, B.K. (1999). Modern Foraminifera, Kluwer Academic Publishers, pp. 371
- Walton, W.R. (1952). Techniques for recognition of living foraminifera. Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Vol. 3, pp. 56-60