신두리 해안의 조하대와 모래 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 분포

Distribution of Benthic Macrofauna in subtidal area and on sand flat of Sindu-ri coast, Korea

구 본 주* / 신 상 호** / 우 한 준***

Koo, Bon Joo / Shin, Sang Ho / Woo, Han Jun

:: Abstract ::

Distribution of benthic macrofauna was surveyed in the subtidal area and on the sand flat of Sindu-ri coast during July 2002. A total of 134 species, 3,511 individuals and 388g biomass of macrobenthos were sampled inclusively from the study sites. 109 species with a mean density of 1,298ind./m^2 and biomass of 69.4g/m2 were collected from 10 stations established in the subtidal area. Polychaetes were represented as a dominant faunal group of the subtidal area in both species richness and density with values of 54 species and 813ind./m^2. Cluster analysis based on the faunal composition showed that the subtidal area could be divided into four stational groups according to sedimentary characteristics: *Cirrophorus armatus* - *Lumbrineris longifolia* association on the mud sediment with pebbles near aqua-farms; *Aonides oxycephala* association on the rocky bed; *Scoloplos armiger* - *Grandifoxus cuspis* association on the sand-dominated sediment along the lowest low water; a association with higher evenness on the sand-dominated sediment in the depth. Although having characteristics of high value in species richness, density and species diversity, the macrobenthic association around the farming area was dominated by the opportunistic species such as *Lumbrineris longifolia* and *Tharyx* sp. Natural community represented by *S. armiger* and G. cuspis was developed in most sand-dominated areas. 50 species were sampled with a mean density of 2,443ind./m^2 and biomass of 381.3g/m^2 from eight+ stations along two transects on Sindu-ri sand flat. Mollusks were represented as a dominant faunal group of the sand flat in species richness, density and biomass with values of 20 species, 1,345ind./m^2 and

* 한국해양연구원 생물자원연구본부 연구원·e-mail: bjkoo@kordi.re.kr
** 한국해양연구원 생물자원연구본부 연구원·e-mail: shshin@kordi.re.kr
*** 한국해양연구원 해저환경·자원연구본부 책임연구원·e-mail: hjwoo@kordi.re.kr

350.4g/m^2, respectively. *Umbonium thomasi,* Veneridae sp., *Mandibulophoxus mai, Armandia lanceolata, Eohaustorius spinigerus, Urothoe convexa* were dominant species and these species accounted for over 83% of total individuals. There were three distinct zones of macrobenthos on Sindu-ri sand flat according to the extent of exposure time. The upper zone was dominated by *Scopimera globosa,* the middle zone was characterized by M. mai, and the lower zone was dominated by E. *spinigerus.* Sindu-ri coastal area was considered as a healthy habitat for macrobenthos, except for around the farming area. It was considered that Sindu-ri coastal area including the sand flat connected to the sand dune of natural monument was a valuable habitat as a protected site in having no pollution source and no artificial structure.

Keywords: Benthic macrofauna, Sand flat, Subtidal, Sand dune, Sindu-ri coast

:: 요 지 ::

신두리 해안의 조하대와 갯벌에서 2002년 7월 대형저서동물의 분포를 조사하였다. 조사 해역에서는 총 134종, 3,511개체, 388g의 저서동물이 채집되었다. 조하대 10개 정점에서는 109종, 1,298개체/m^2, 69.4g/m^2의 저서동물이 출현하였으며, 이 가운데 갯지렁이류가 54종, 813개체/m2의 분포를 보이며 출현 종수 (49.5%)와 서식밀도 (62.7%)에서 가장 우점하는 분류군이었다. 집괴분석 결과 신두리 해역에는 퇴적물 특성에 따라 네 개의 저서동물군집이 형성되어 있었다. 펄과 자갈이 혼재하는 양식장 주변 해역에는 *Cirrophorus armatus*와 *Lumbrineris longifolia*로 대표되는 군집, 암반 기질로 된 해역에는 *Aonides oxycephala* 군집, 모래 함량이 높으며 최저조선에 인접한 곳에는 *Scoloplos armiger*와 *Grandifoxus cuspis* 군집, 그리고 역시 모래 함량이 높으며 외해쪽으로 인접한 해역에는 뚜렷하게 우점하는 종 없이 균등도지수가 높은 군집이 형성되어 있었다. 양식장 주변 해역의 저서동물 군집은 출현 종수, 서식밀도, 종다양도지수가 높았으나 오염지시종들이 우점하고 있었다. 모래 퇴적물 해역에는 *S. armiger*와 *G. cuspis* 등이 우점하는 일반적 모래 조하대 군집 특성을 보였다. 갯벌 두 조사선에 설정한 8개 정점에서는 50종, 2,443개체/m^2, 381.3g/m^2의 저서동물이 출현하였으며, 연체동물이 출현 종수, 서식밀도, 생체량에서 각각 20종, 1,345개체/m^2, 350.4g/m^2를 차지하며 가장 우점하는 분류군이었다. *Umbonium thomasi, Veneridae sp., Mandibulophoxus mai, Armandia lanceolata, Eohaustorius spinigerus, Urothoe convexa* 등이 신두리 갯벌의 우점종이었으며, 전체 개체수의 83% 이상을 이들 종이 차지하였다. 갯벌의 저서동물 분포는 노출시간 정도에 따라 구분되는 특성을 보였다. 즉, 상부에서 하부로, 노출시간이 감소하면서 *Scopimera globosa, M. mai, E. spinigerus* 군집이 뚜렷한 대상분포를 하였다. 양식장이 위치한 남서해역을 제외한 신두리 해안은 자연성을 가진 건강한 서식지였으며, 특히 천연기념물인 신두리 사구와 연결되는 갯벌과 주변 조하대 해역에는 인위적인 구조물이 거의 없으며 외부로부터의 오염원도 없어 향후 보전을 위한 가치가 충분히 있는 서식지로 판단되었다.

핵심용어: 대형저서동물, 갯벌, 조하대, 해안사구, 신두리 해안

1. 서 론

최근 들어 우리나라의 해안은 인위적인 간섭에 의하여 생태계의 안정성이 급속도로 깨어지고 있다. 특히, 해안의 사구지역은 사막을 연상시키는 경관 때문에 불모지로 인식되어 왔으며, 접근의 용이함 때문에 개발의 압력이 높은 곳이었다. 사구 가치에 대한 인식 부족은 해안사구를 포함하는 주변 연안지역을 개발이라는 명분하에 훼손시켰으며, 또한 주변 해역에서 행해지는 각종 구조물에 의한 수리학적 평형상태의 변형은 사구 해안의 침식이라는 문제점을 대두시켰다.

신두리 해안은 보존 가치가 있는 희귀 동 · 식물들의 서식처인 해안사구가 있는 지역으로, 넓은 모래갯벌과 함께 천연의 경관을 가지고 있으며, 한반도의 연안 중 가장 자연성을 간직한 서식지 중의 하나이다 (환경부, 2001). 그럼에도 불구하고 지리적인 영향과 가치인식의 부족으로 1978년 서산(태안)해상국립공원 지정 (건설부 고시 제109호)에 포함되지 못했으며, 따라서 신두리 사구 일대는 지속적인 개발의 압력을 받아왔다. 2000년 들어 신두리 해안사구의 생태적 보전 가치성과 우수한 자연성이 알려지면서 환경부, 해양수산부, 문화재청, 학계, 환경단체, 언론 등에서 이의 보전대책을 활발히 논의하기 시작하였다. 해양수산부는 연안관리법에 의한 연안통합관리계획에 신두리 지역을 생태계보전대상지역으로 지정토록 계획수립 고시하였으며 (2000년 8월), 환경부에서는 2000년 12월에 해안사구 보전 추진계획을 수립하였다. 문화재청에서는 2001년 12월에 북부지역의 해안사구를 천연기념물로 지정하였으며, 환경부에서는 생태계 보전을 위하여 사구 배후 습지인 두웅 습지를 2002년 12월에 습지보호지역으로 지정하여 해안사구 보전을 위하여 노력하였다. 이와 연계하여 해양수산부에서는 사구를 포함하는 천연물보호구역의 주변 갯벌과 연안을 생태계보전지역으로 2002년 10월에 고시하였다. 이에 따라 신두리 해안은 문화재청, 환경부, 해양수산부에 의하여 각각의 지역이 보호지역으로 지정되어 보전을 위한 관리가 이루어지게 되었다 (해양수산부, 2002).

신두리 해안사구에 대한 학문적인 관심이 집중되면서 해안사구의 퇴적학적 특성과 생태계에 관한 연구가 최근 들어 활발히 이루어졌다 (김 등, 2004; Kennedy et al., 2004; 민, 2004; 안, 2003; 류, 2002; 김 등, 2002). 해안사구를 효율적으로 관리하기 위해서는 사구를 포함한 주변 서식지의 환경과 생태계 구조를 파악하는 것이 필요하다. 그럼에도 불구하고 신두리 해안사구 주변의 갯벌이나 인근 해역에서 지금까지 행해진 학문적 연구는 김 등 (2002)의 연구가 유일하였다. 본 조사는 생태계 보전지역으로 지정 · 고시되기 전인 2002년 7월에 갯벌과 연안의 대형저서동물을 대상으로 이루어졌으며, 향후 신두리 해역 보전관리계획 수립을 위한 생태계 기본자료로 이용하기 위한 일환으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

태안군 신두리 사구 주변 해안 대형저서동물의 종조성과 공간적인 분포 패턴을 파악하기 위해 사구 주변의 갯벌과 인근 조하대에서 2002년 7월에 현장조사를 실시하였다. 현장조사는 서식지별로 조하대와 갯벌을 구분하여 수행하였다. 조하대에서는 해안선과 나란하게 2열로 10개의 정점을 선정하고 만조시에 선박을 이용하여 저서동물조사를 수행하였다 (Fig 1). 저서동

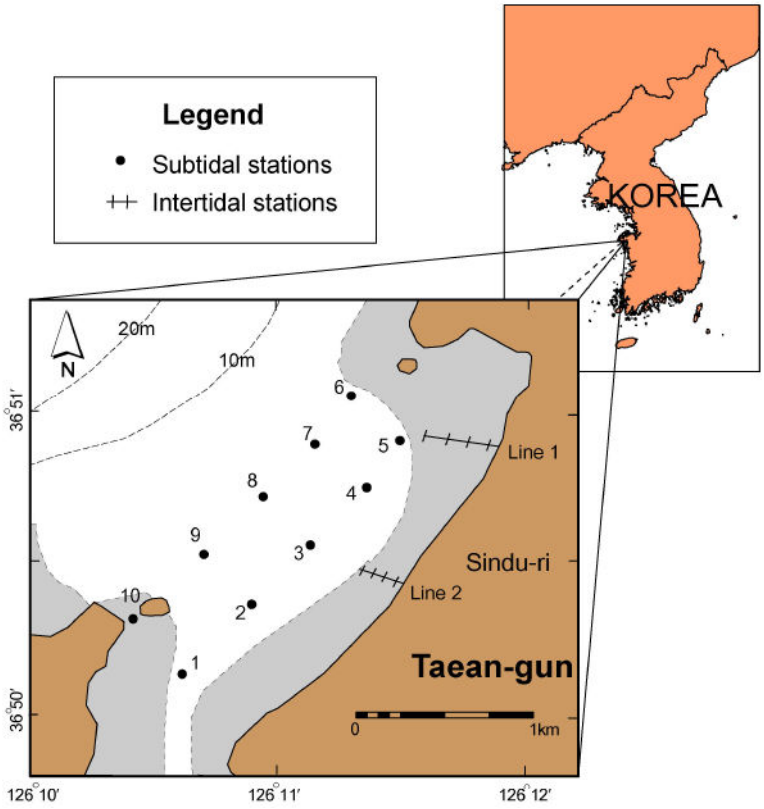

Fig. 1. Map of Sindu-ri coast showing sampling sites on subtidal and intertidal area.

물의 채집을 위해 채집면적이 0.03m^{2}인 작은 반빈채니기 (van Veen grab)를 이용하여 각 정점별로 4회씩 퇴적물을 인양하였다. 채집된 해저 퇴적물은 선상에서 1.0mm 망목의 표준체로 체질하여 펄을 제거한 다음, 남은 잔존물을 플라스틱 표본병에 넣고 해수로 중화된 10% 포르말린용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 저서동물만을 각 분류군별로 선별하여, 0.001g까지 읽을 수 있는 전자저울을 이용하여 습중량을 측정한 다음, 해부현미경하에서 종 단위까지 동정하고 종별 개체수를 계수하였다.

저서동물군집의 공간적인 분포특성을 파악하기 위해 각 정점별 출현종수, 개체수, 분류군별 구성비율 그리고 우점종 등의 분포특성을 분석했다. 그리고 저서동물군집구조를 분석하기 위해 집괴분석 (cluster analysis)을 실시하였으며, 정점별 출현개체수 자료를 Bray-Curtis similarity를 사용하여, 가중평균결합법으로 정점간의 관계를 나타내는 수지도를 그렸다 (Primer ver.5.2.8). 집괴분석결과 도출된 정점군별 생태학적 지수와 우점종의 분포 특징을 분석했다.

한편, 갯벌의 저서동물상 파악을 위해 신두리 북쪽해안과 중앙해안에 해안선과 수직으로 2개의 조사선을 설정하였다 (Fig. 1). 각 조사선에서는 고도 측량계를 이용하여 조사선을 따라 지형의 높이를 측량하였으며, 해안선으로부터 거리와 지형의 높이를 고려하여 각각 4개의 정점을 선정하였다. 각 정점에서는 채집면적이 0.025m^{2}인 주상형 시료채니기 (can corer)을 사용하여 30cm 깊이까지 4개의 시료를 취하였

고, 시료를 현장에서 0.5mm 망목의 표준체로 걸러 남은 저서동물을 10% 포르말린으로 고정하였다. 실험실에서의 생물처리 과정은 조하대의 과정과 동일한 방법으로 진행되었다.

갯벌과 조하대 각 정점에서는 저서동물 채집과 동시에 입도분석용 퇴적물을 채집하였다. 현장에서 표층퇴적물 250ml를 플라스틱 시료병에 담아 실험실로 운반 후, HCl과 H_2O_2로서 석회질 성분과 유기물을 제거한 다음, 조립질 퇴적물 (4φ 이하)은 Gradex 2000 입도분석기에 의한 체분석으로, 세립질 퇴적물은 Sedigraph 5100 입도분석기를 이용하여 입자 크기별 조성비율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Folk and Ward (1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도 등의 통계변수들을 구하였다.

3. 결 과

3.1 신두리 해안의 환경 특성

신두리 해안은 충청남도 태안군 원북면에 위치하고 있으며, 육지쪽은 비교적 규모가 크고 보존 상태가 양호한 신두리 해안 사구와 접해있다. 만의 형태인 해안은 길이 약 4km, 폭 1km 정도이며, 남쪽과 북쪽 끝은 방조제가 건설되어 있다 (해양수산부, 2002). 조사해역의 전체적인 수심분포 범위는 2~5m 정도이며 수심 3m까지는 해안선에 나란한 방향으로 완만하게 깊어진다. 그 이후 외해 쪽으로는 4~5m 수심의 평탄한 지형이 형성되어 있으며, 남서부 해역에 국한하여 약 10m까지 수심이 급격히 깊어지는 지형적 특성을 보인다 (김 등, 2002).

조하대 해역은 대체로 모래가 우세한 퇴적 환경이었다. 대부분의 해역 (정점 2~정점 8)은 모래가 주성분으로 구성된 모래 혹은 펄모래 퇴적상이었다 (Table 1). 그리고 신두리 해안 남서부의 작은 섬과 육지 사이에 위치한 정점 10의 경우는 기질이 암반으로 되어 있었으며 자갈과 모래가 혼재하는 퇴적상을 보였다. 양식장과 인접해 있는 정점 1과 정점 9 해역은 퇴적물 내 펄 성분이 상대적으로 많이 함유되어 있었다. 그러나 정점 1과 정점 10에서는 퇴적물 입도 분석을 위한 퇴적물을 채집하지 못하였다.

신두리 사구와 조하대 해역 사이에 위치한 신두리 모래갯벌의 지형을 살펴보면, 조사선 1이 위치한 북부에서는 약 0.86° 의 기울기를 나타내었으며, 조사선 2가 위치한 중앙부에서는 1.22° 의 기울기를 보였다 (해양수산부, 2002). 퇴적상은 대부분의 지역에서 모래가 무게백분율 기준 99% 함량 이상이었으며, 약 2φ 정도의 평균입도를 보이는 균질한 퇴적환경이었다. 퇴적물의 분급도 역시 전 정점에서 0.38~0.50 범위로 양호한 분급을 보였다 (Table 1). 조사선 1의 각 정점은 상부에서 하부로 가면서 평균해수면으로부터 각각 2.8, 0.9, 0.1, −0.9m의 높이에 위치하였으며, 조사선 2의 정점들은 2.1, 1.3, −0.4, −1.7m의 높이에 위치하였다 (Table 1).

3.2 조하대 저서동물

(1) 종조성

신두리 해안 조하대 10개 정점에서는 총 109종, 1,298개체/m^2, 69.4gWwt/m^2의대형저서동물이 출현하였다. 이 중 갯지렁이류 (Polychaeta)가 54종, 813개체/m^2의 분포를 보이며 출현 종수 (49.5%)와 서식밀도 (62.7%) 면에서 가장 우점하는 분류군이었다. 갑각류 (Crustacea)의 출현 종수와 서식밀도는

Table 1. The characteristics of surface sediments in subtidal and intertidal area of Sindu-ri coast and tidal height from mean sea level (MSL) at each station along the intertidal transects

Area	Station	Composition (%)				Sediment Type by Fork	Statistical Parameters		Tidal height from MSL(m)
		Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz(ϕ)	St.De	
Subtidal area	st.1	-	-	-	-	-	-	-	
	st.2		81.33	9.70	8.97	mS	3.72	2.40	
	st.3		63.79	22.33	13.88	mS	4.41	2.85	
	st.4		67.90	17.46	14.64	mS	4.20	3.12	
	st.5		93.08	6.92		S	2.06	0.72	
	st.6		86.74	7.71	5.55	mS	3.07	2.15	
	st.7		93.17	4.05	2.78	S	2.78	1.51	
	st.8		87.68	7.94	4.39	mS	3.26	1.87	
	st.9		48.01	31.99	20.00	sM	5.35	3.52	
	st.10	-	-	-	-	-	-	-	
Intertidal area	L1-50		99.92	0.08		S	1.94	0.38	2.8
	L1-100		99.89	0.11		S	1.81	0.42	0.9
	L1-200		99.92	0.08		S	1.99	0.41	0.1
	L1-300		99.84	0.16		S	2.12	0.41	-0.9
	L2-50		99.96	0.04		S	1.98	0.44	2.1
	L2-100		99.98	0.02		S	1.9	0.5	1.3
	L2-200		99.95	0.05		S	2.28	0.42	-0.4
	L2-300		99.96	0.04		S	1.91	0.42	-1.7

Table 2. Number of species, abundance, and biomass of the macrobenthos in Sindu-ri subtidal area during the study period

Taxa	No. of species (%)	Abundance		Biomass	
		ind./m^2	%	gWwt./m^2	%
Mollusca	25 (22.9)	173	13.3	26.3	37.9
Polychaeta	54 (49.5)	813	62.7	2.9	4.3
Crustacea	28 (25.7)	270	20.8	39.8	57.4
Others	2 (1.8)	41	3.2	0.3	0.4
Total	109	1,298		69.4	

갯지렁이류 보다 적었으나 39.8gWwt/m^2의 생체량을 보이며 전체 저서동물 생체량의 절반 이상을 차지하였다. 갯지렁이류와 갑각류와 함께 연체동물 (Mollusca)도 신두리 조하대의 주요 우점 분류군이었다. 특히, 연체동물의 생체량은 38%로 갑각류에 이어 많은 양을 차지하였다 (Table 2). 따라서 신두리 연안 조하대에는 출현종수와 밀도에서는 갯지렁이류가, 생체량에서는 갑각류가 우점하는 군집이 형성되어 있었다.

조사 기간 중 출현한 저서동물 중 최우점종은 전체 출현개체수의 15.5%를 차지한 갯지렁이류의 *Scoloplos armiger* (삼각모자갯지렁이)였다. 이 종의 평균서식밀도는 200개체/m^2에 달했으며, 조사해역의 모든 정점에서 출현하는 양상을

보였다. 다음으로는 전체 출현개체수의 11.4%를 차지한 갯지렁이류의 *Aonides oxycephala* (얼굴갯지렁이류)가 바위 기질로 이루어진 정점 10을 중심으로 집중 출현하는 특징을 보였다. 8.5%의 우점율을 보인 단각류의 *Grandifoxus cuspis* (긴뿔옆새우류)는 갯벌과 연결되는 얕은 해안의 모래 함량이 높은 기질에서 우점하는 양상을 보였다. 이외에 갯지렁이류인 *Cirrophorus armatus* 와 *Lumbrineris longifolia* (송곳갯지렁이류)는 양식장이 밀접해 있는 정점 1과 9에서 많은 개체수 빈도를 보였다. 정점 2에서 높은 밀도를 보인 연체동물의 *Umbonium moniliferum* (흑비단고둥)도 전체 출현개체수의 5% 이상을 차지하는 우점종으로 나타났다. 상기 6종에 의한 개체수는 전체 저서동물 출현개체수의 약 55%를 차지하였다 (Table 3).

(2) 공간 분포 양상

저서동물의 종수 분포는 정점별로 9종에서 55종의 분포를 보이며 공간적으로 편차가 심하였다. 조사정점에서의 평균 출현 종수는 23종/0.12m^{2}이었다. 출현 종수의 공간적인 분포는 최저조선에 가까운 정점들에서 상대적으로 많았으며 북쪽에 비해 남쪽해역에서 상대적으로 많았다. 특히 굴 양식장 가장 자리에 위치한 정점 1에서는 55종이나 출현하여 신두리 조사 해안 중에서 가장 많은 출현 종을 기록하였다. 반면, 저층 기질이 바위와 자갈이 혼재하면서 모래가 일정량 섞여 있는 정점 10에서는 가장 적은 출현 종수 (9종)를 보여 이와는 비교되었다 (Fig 2).

저서동물의 서식밀도는 정점별로 267개체/m^{2}에서 3,375개체/m^{2}로 종수 분포와 마찬가지로 공간적으로 편차가 심하였으나, 종수의 공간적인 분포 패턴과는 차이가 있었다. 해안의 남쪽에 위치한 정점 1, 2, 10에서 상대적으로 개체수가 많았다. 특히, 정점 1에서는 출현 종수와 마찬가지로 출현 개체수 면에서도 가장 많은 3,375개체/m^{2}가 출현하였다. 한편 가장 적은 출현 종수를 보였던 정점 10에서는 출현 종수에 비해 높은 밀도 (2,017개체/m^2)로 저서생물이 출현하였다. 한편 외해와 근접하면서 상대적으로 모래 함량이 높은 곳인 정점 7과 8에서는 각각 267, 300개체/m^{2}의 서식밀도를 보이며 가장 적은 출현 개체수 분포를 보였다 (Fig 3). 출현 종수는 갯벌과 연결되는 얕은 해안에서 많았던 반면, 서식밀도는 다양한 기질 특성이 나타나는 남서 해역에서 높아지는 뚜렷한 경향을 보였다.

Table 3. Dominant species accounting for over 5% of the total macrofauna abundance in all stations. They are ranked according to total abundance (P : polychaeta, C : crustacea, M : mollusca)

Species name	Faunal group	Total individuals	Abundance (ind./m^2)	Occurring frequence	Percent occurrence(%)
Scoloplos armiger	P	241	200.8	10	15.5
Anoides oxycephala	P	177	147.5	4	11.4
Grandifoxus cuspis	C	133	110.8	7	8.5
Cirrophorus armatus	P	113	94.2	3	7.3
Lumbrineris longifolia	P	94	78.3	2	6.0
Umbonium moniiferum	M	93	77.5	2	6.0

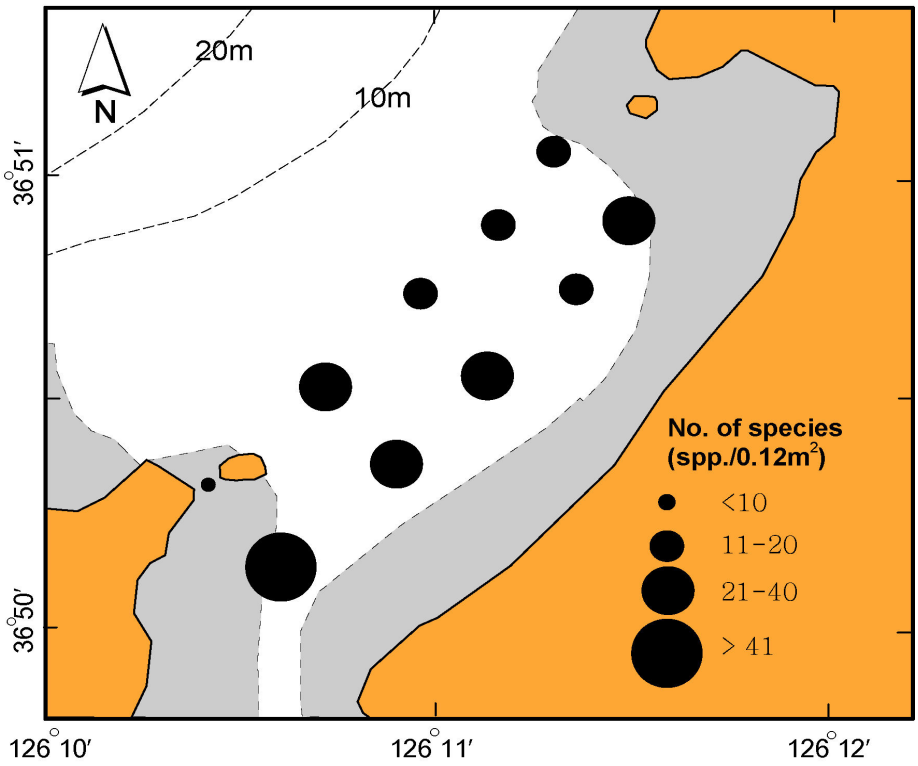

Fig 2. Spatial distribution of species richness of the macrobenthos at each station.

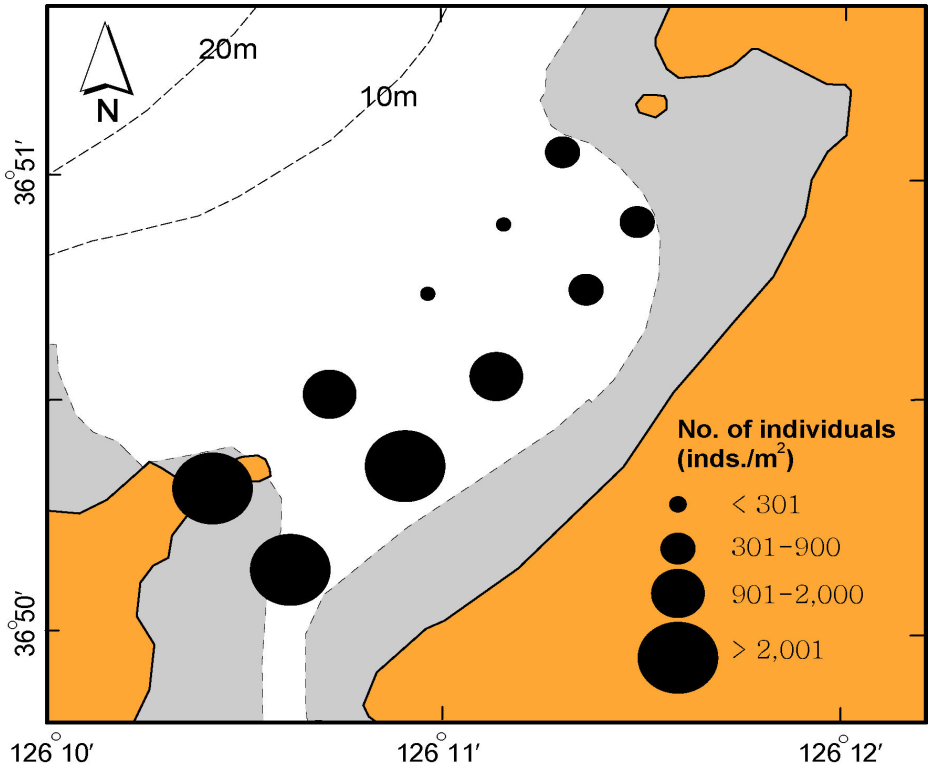

Fig 3. Spatial distribution of abundance of the macrobenthos at each station.

(3) 군집분석과 우점종 분포

신두리 조하대 해역에서 출현한 각 정점별 저서동물 출현종별 개체수 자료를 이용하여 집괴분석을 실시하였다. 분석 결과, 유사도지수 약 30%를 기준으로 크게 네 개의 정점군으로 구분할 수 있었으며, 편의상 정점군 A, B, C, D로 칭하였다 (Fig 4). 일차적으로, 정점 10은 유사도지수 약 5%에서 나머지 정점들과 구분되었으며 정점군 A로 칭하였다. 정점 10을 제외한 나머지 정점들은 유사도지수 약 17%에서 갯벌과 인접한 정점군 D와 그 이외의 정점들로 구분되었다. 나머지 정점들은 다시 약 30%의 유사도에서 정점군 B와 C로 구분할 수 있었다. 보다 시각적인 효과를 위해 집괴분석에 의해 구분된 각 정점군을 조사해역의 지도에 표시하여 구분하였다 (Fig 5). 정점군 A는 바닥이 암반으로 구성되어 있는 지역으로 기질 특성상 독립적 해역이었으며, 정점군 B는 양식장 인근 해역에 해당하였다. 정점군 D는 갯벌과 연결되는 얕은 해역에 해당하였으며, 정점군 C는 바같쪽 정점들을 포함하고 있었다.

출현 종수, 평균서식밀도, 종다양도지수 그리고 우점종 분포 등에 의해 각 정점군별로 저서동물군집의 제반 생태학적 특징을 요약하였다 (Table 4). 먼저 정점군 A는 조사 정점들 중 군집 유사도에서 가장 이질적인 지역으로 평균 출현 종수, 종다양도지수 그리고 균등도지수가 가장 낮은 지역이었다. 우점종으로 출현한 얼굴갯지렁이과의 *A. oxycephala*와 집게류인 *Diogenes edwardsii* (넓적왼손집게)가 극우점하는 지역으로, 이 두 종을 제외한 나머지 종들의 밀도는 아주 낮은 곳이었다. 또한 이 두 종은 이 지역에만 국한되어 출현하는 양상을 보였다. 정점군 B는 굴 양식장 주위의 정점 1과 9가 해당하는 지역으로 평균 출현 종수와 평균서식밀도가 각각 45.5종/0.12m^2, 2,279개체/m^2로 조사해역 중 가장 높은 정점군이었다. 또한 종다양도지수가 3.02로 아주 높은 곳이었다. 서식밀도의 대부분을 갯지렁이류인 *C. armatus, L. longifolia, Mediomastus californiensis, Tharyx sp.* 등이 차지하는 정점군이었으며, 극피동물인 거미불가사리류 (Ophiuroidea)가 유일하게 출현한 곳이기도 하였다. 특히 *C. armatus, L. longifolia, Tharyx sp.* 등은 이 지역에서만 국한적으로 출현하는 종이었다. 정점군 A와 B가 갯지렁이류에 의해 극우점되는 정점군이었다면, 최저조선과 인접한 지역인 정점군 D는 갯지렁이류인 *S. armiger*, 연체동물인 *U. moniliferum*, 옆새우류인 *G. cuspis* 등 다양한 분류군들이 서식하는 정점군이었다. 한편, 외해 방향에 위치한 정점군 C는 전체 정점군 중에서 평균서식밀도와 평균생체량이 각각 283개체/m^2, 5.8gWwt./m^2로 가장 낮은 지역이었다. 그러나 극 우점하는 종없이 종별로 균등한 밀도분포를 보여 균등도지수가 0.91로 가장 높은 지역이었다.

이상의 결과를 요약하면, 굴양식장 주변의 정점군 B는 저서동물의 출현종수 및 서식밀도가 가장 높은 지역이었며, 저질이 자갈과 모래로 이루어진 정점군 A는 몇종에 의한 극우점 현상으로 종다양도가 가장 낮은 지역이었다. 갯벌과 연결되는 최저조선 주변의 얕은 연안을 포함하는 정점군 D에는 다양한 분류군이 우점종으로 출현하였으며, 외해쪽으로 접해 있는 해역의 정점군 C는 서식밀도는 낮으나 균등도지수가 상대적으로 높은 대형저서동물 군집이 형성되어 있었다.

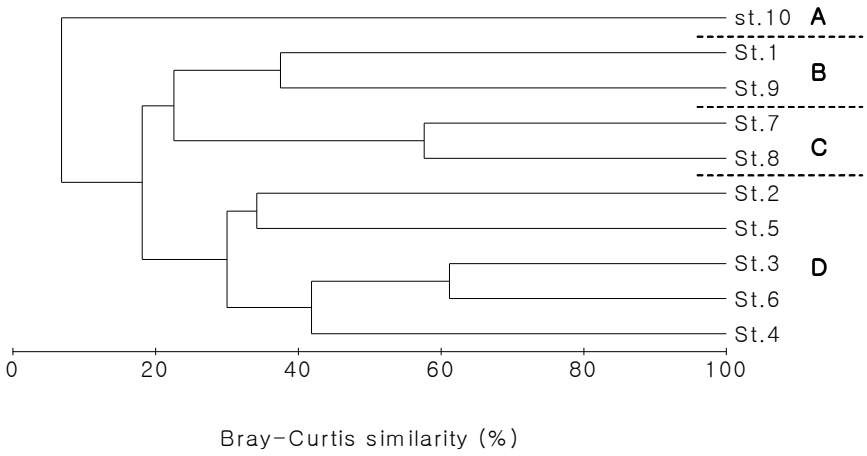

Fig 4. Dendrogram for group-average clustering of Bray-Curtis similarity for squared-root transformed macrobenthic abundance data from ten stations in Sindu-ri subtidal area. A~D indicate the stational groups.

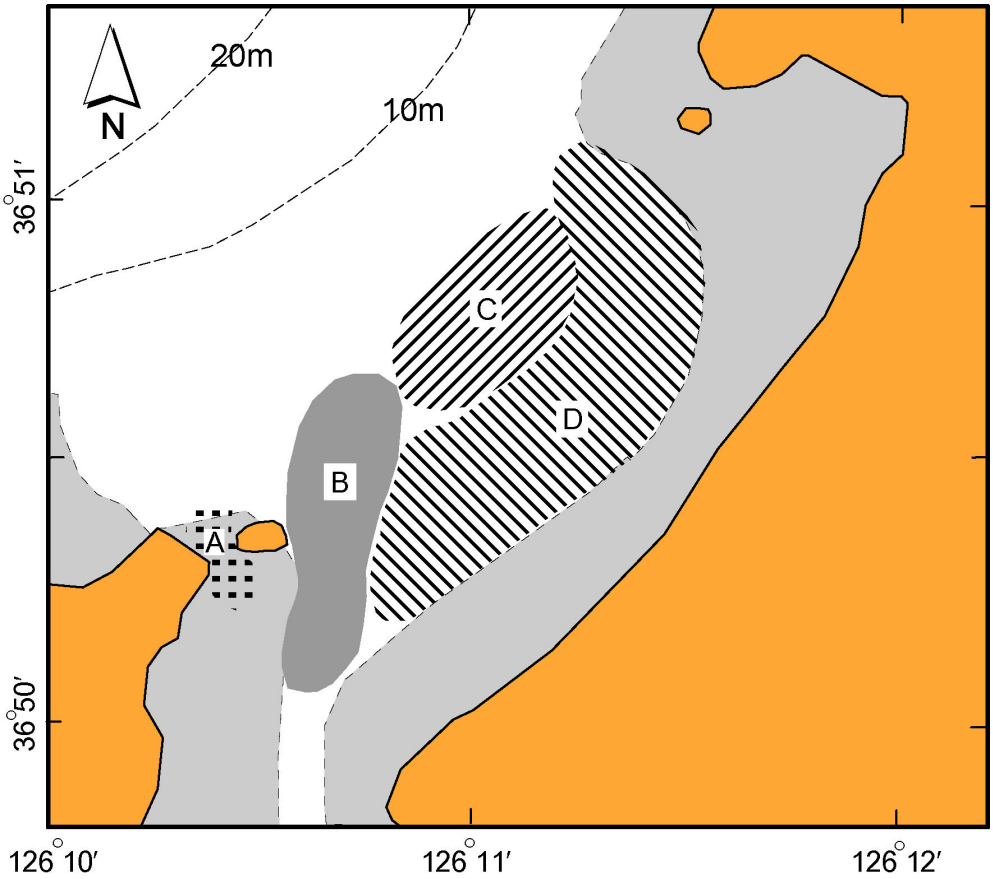

Fig. 5. Zones of the stational groups based on the cluster analysis.

Table 4. Ecological characteristics at each stational group in Sindu-ri subtidal area. P: polychaeta, M: mollusca, C: crustacea, E: echinodermata

Ecological parameter \ Station group	A	B	C	D
No. of station	1	2	2	5
Total species number	9	74	19	57
Mean species number (spp./0.12m^2)	9.0	45.5	13.5	20.6
Mean abundance (ind./m^2)	2,017	2,279	283	1,167
Mean biomass (gWwt./m^2)	394.8	14.5	5.8	51.8
Mean diversity (H')	0.84	3.02	2.36	2.08
Mean evenness (J)	0.38	0.80	0.91	0.70
Dominant species (ind./m^2)				
Aonides oxycephala (P)	1443	13	0	3
Diogenes edwardsii (C)	467	0	0	2
Cirrophorus armatus (P)	0	467	0	2
Lumbrineris longifolia (P)	0	392	0	0
Mediomastus californiensis (P)	0	133	54	10
Tharyx sp. (P)	0	117	0	0
Umbonium moniliferum (M)	0	0	0	155
Abra sp. (M)	0	13	0	55
Scoloplos armiger (P)	17	29	13	382
Grandifoxus cuspis (C)	0	4	21	212
Ophiuroidea unid. (E)	0	96	0	3

3.3 갯벌 저서동물

(1) 종조성

갯벌의 두 조사선 8개 정점에서는 총 50종, 1,954개체의 대형저서동물이 출현하였으며, 이들의 평균 서식밀도는 2,443개체/m^{2}이었다. 갯지렁이류가 출현 종수와 서식 밀도면에서 우점하였던 조하대와 달리, 갯벌에는 연체동물이 출현 종수, 서식밀도, 생체량에서 가장 우점하는 분류군이었다. 출현한 연체동물 종 수는 20종이었으며, 평균 서식밀도는 1,345개체/m^{2}나 되었다. 특히 연체동물의 생체량은 전체 출현 저서동물 생체량의 91.9% (350.4gWwt./m^2)를 차지하였다 (Table 5). 갑각류는 15종이 출현하였으며 평균 서식밀도는 600개체/m^{2}이었다. 조하대의 우점 분류군이었던 갯지렁이류는 갯벌에서 11종, 440개체/m^{2}가 출현하여 매우 제한적인 분포 양상을 보였다. 최우점종은 전체 출현 개체수의 27.8%를 차지한 연체동물인 *Umbonium thomasi* (서해비단고둥)였으며 평균 서식밀도가 679개체/m^{2}에 달했다. 그 다음으로는 연체동물인 Veneridae sp. (백합과)의 치패와 옆새우류인 *Mandibulophoxus mai* (일곱가시긴뿔옆새우)가 각각 17.6%와 9.1%의 순으로

Table 5. Number of species, abundance, and biomass of the macrobenthos in Sindu-ri sand flat during the study period

Taxa	No. of species (%)	Abundance		Biomass	
		ind./m^2	%	gWwt./m^2	%
Mollusca	20 (40.0)	1,345	55.1	350.4	91.9
Polychaeta	11 (22.0)	440	18.0	11.1	2.9
Crustacea	15 (30.0)	600	24.5	19.0	5.0
Others	4 (8.0)	58	2.4	0.6	0.2
Total	50	2,443		381.3	

우점하였다. 이외에 갯지렁이류의 *Armandia lanceolata* (침보석요정갯지렁이), 옆새우류인 *Eohaustorius spinigerus* (가시발모래무지옆새우)와 *Urothoe convexa* (볼록손모래무지옆새우사촌)도 전체 출현개체수의 4% 이상을 차지하며 신두리 갯벌의 우점종으로 출현하였다.

(2) 공간 분포 양상

대형저서동물 종 수 및 서식밀도 분포는 조사선 1과 2에서 차이를 보였다 (Fig. 6). 신두리 갯벌 중앙부에 위치한 조사선 2에서는 4개의 조사정점에서 31종이 출현하였으며, 평균 서식밀도는 2,695개체/m^{2}였다. 300m에서 4,870개체/m^{2}로 가장 높은 출현밀도를 보였으며, 출현종수는 50m와 200m에서 각각 16, 17종/0.1m^{2}으로 상대적으로 많았다. 갯벌 북쪽에 위치한 조사선 1에서는 전체 43종이 출현하였으며 평균 서식밀도는 2,190개체/m^{2}이었다. 조사선 2에 비해 출현 종은 많았으나 서식밀도는 오히려 낮았다. 출현 종수는 100m와 200m에서 각 26종으로 갯벌 조사 정점 가운데 제일 많았으며, 출현 개체수는 200m에서 3,320개체/m^{2}로 많았다 (Fig. 6).

(3) 군집분석 및 우점종 분포

저서동물 집괴분석 결과, 신두리 갯벌의 저서동물군집은 약 50% 유사도 수준에서 네 개의 정점군으로 구분할 수 있었다. 우선 정점의 평균해수면으로부터의 높이에 따라 상부 정점들과 하부 정점으로 크게 구분되었다. 상부의 정점들은 평균해수면으로부터 가장 높은 곳 (2.8m)에 위치한 L1-50이 하나의 정점군으로 구분되었으며, 평균 해수면으로부터의 높이 약 2m와 1m 근처에 위치한 L2-50, L2-100이 또 다른 정점군으로 구분되었다. 그리고 하부에 위치한 정점들은 평균해수면 기준 0.9m의 높이에 위치한 L1-100이 독립된 정점군으로 구분되었으며, 평균해수면 아래에 위치한 L1-200, 300, L2-200, 300이 높은 유사성을 가지며 하나의 정점군으로 구분되었다 (Fig. 7). 신두리 갯벌의 저서동물군집은 서식지의 조위에 의해 구분되는 특징을 보였다.

우점종의 분포에서도 평균해수면으로부터의 높이에 따른 대상분포 특징이 잘 반영되어 나타났다. 조사선 1과 2의 우점종 조성은 유사하였으며, 종별로 서식지의 구분이 뚜렷이 나타났다 (Fig. 8). 즉, 평균해수면으로부터의 높이에 의한 노출시간의 정도에 따라 그 분포가 결정되어 있었다. *U. thomasi*는 모든 정점에 서식하였으나 평균해수면으로부터의 표고가 0m 이하인 곳에서 주로 서식하였다. *Umbonium moniliferum* (흑비단고둥)는 조사선 2의 300m (표

고가 −1.7m)에만 서식지가 한정되어 있었으며, 조사선 1의 300m (표고가 −0.9m)에서는 출현하지 않았다. 이는 두 지역의 표고차 때문인 것으로 추정되었다. *Scopimera globosa* (발콩게)와 *U. convexa*는 약 2m 조위 근처에서 주로 서식하였다. 조사선 2의 50m (표고가 2.1m)에 이 두 종은 높은 밀도를 보였으나 보다 높은 곳인 조사선 1의 50m (표고가 2.8m)에서는 출현하지 않았다. *M. mai*는 해수면으로부터 높이가 2.1m에서 −0.9m인 곳에 분포하였으나 평균해수면 근처 높이에서 서식밀도가 높았다. 조사선 2의 300m지점과 조사선 1의 50m 정점에서는 전혀 출현을 하지 않았는데, 이 역시 서식지의 범위를 벗어나는 높이로 인한 결과인 것 같았다. *Armandia lanceolata* (침보석요정갯지렁이)는 표고가 2.1m 이하인 곳에서 출현하였으며, *E. spinigerus*는 주로 하부역에서만 출현하는 경향을 보였다. 이외의 우점종으로는 전 조사지역에서 출현한 Veneridae sp. (백합과)의 치패와 조사선 1에서만 제한적으로 출현한

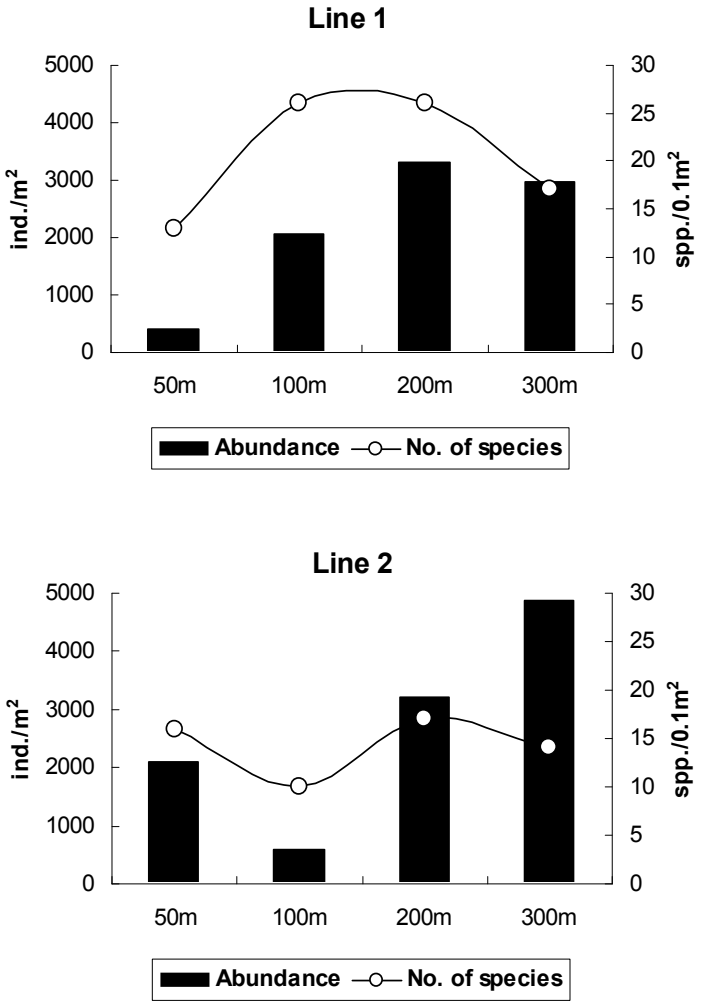

Fig. 6. Distribution of the number of species and abundance of macrobenthos along each transect line on Sindu-ri sand flat.

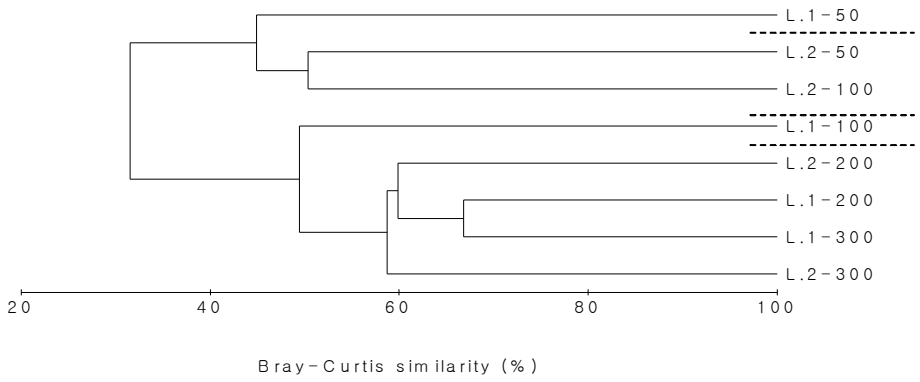

Fig. 7. Dendrogram for group-average clustering of Bray-Curtis similarity for squared-root transformed macrobenthic abundance data in Sindu-ri sand flat.

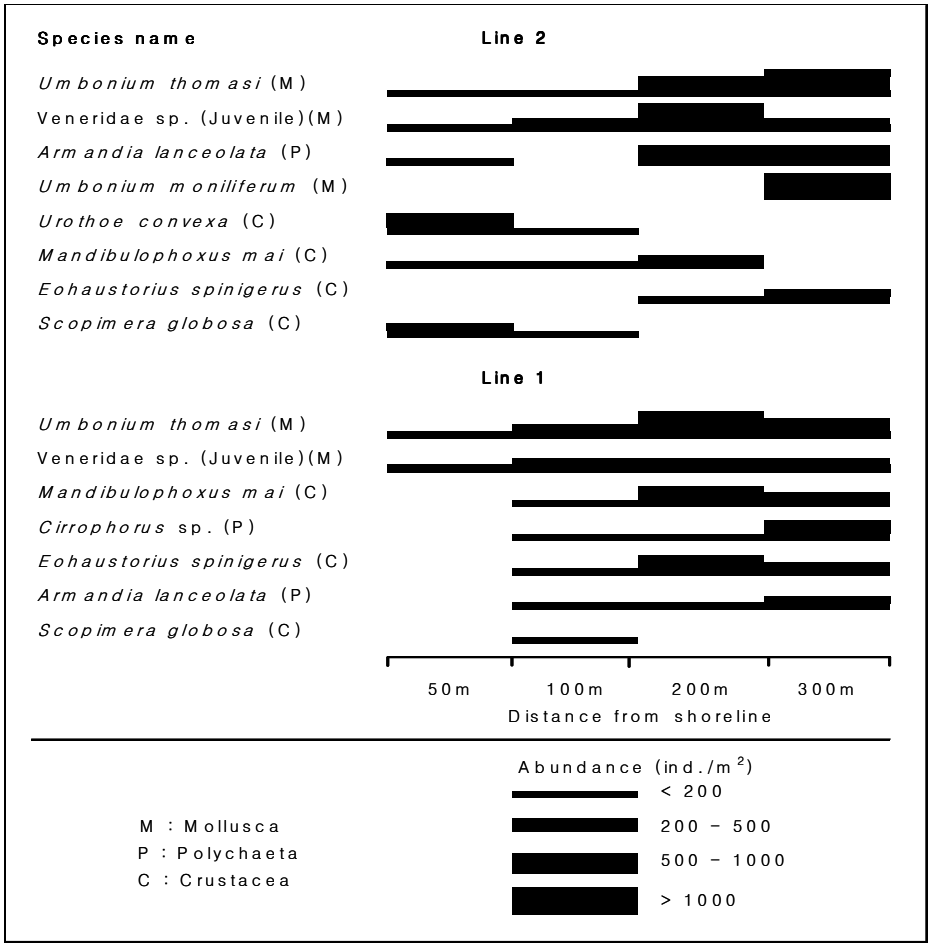

Fig. 8. Spatial distribution of the dominant species of macrobenthos along two transects on Sindu-ri sand flat.

갯지렁이류의 *S. armiger, Cirrophorus sp.* 등이 주요 우점종이었다.

4. 고찰 및 결론

2002년 7월 신두리 해안에 설정한 조하대 정점 열 곳과 갯벌 정점 여덟 곳의 조사에서 총 134종의 대형저서동물이 출현하였다. 조하대에서 109종, 갯벌에서 50종이 출현하였으며, 서식밀도는 서식지별로 각각 1,298개체/m^2, 2,443개체/m^2였다. Table 6은 우리나라 연안 조하대에서 저서동물을 대상으로 수행된 연구 결과를 요약하여 나타낸 것이다. 채집 강도와 퇴적물의 평균입도 분포를 기준으로 각 지역별 출현 종수, 서식밀도, 우점종의 분포를 비교하였다. 본 조사의 채집강도가 다른 지역에 비해 낮았다는 점을 고려할 때 조하대의 출현 종수는 우리나라 다른 해역의 결과와 비교하여도 결코 적은 양이 아니었다. 평균서식밀도에 있어서도 비교 대상해역에 비해 높은 편이었다. 그러나 출현 종수와 출현개체수의 많은 부분이 양식장 주변의 정점군 B 해역에 집중하여 출현하였다는 점은 고려해야 할 대목이었다. 일반적으로 조사지역의 환경이 다양할수록 출현 종수는 증가하게 된다. 본 조사해역의 퇴적상이 모래가 우세한 환경과 함께 암반 기질에 자갈이 섞여 있는 지역 그리고 펄과 자갈이 함께 나타나는 지역 등 다양한 서식지로 구성되어 있었기 때문에 작은 채집강도 하에서도 상대적으로 많은 종이 출현한 것으로 판단되었다. 양식장 주변에서 출현한 종, 암반 기질에서 출현 한 종, 그리고 모래해역에서 출현한 종이 각각 달랐음이 이를 뒷받침하고 있었다. 이러한 서식지 중 양식장 주변에서 가장 많은 종이 출현하였으며 서식밀

Table 6. A comparison of benthic community studies in Korean coast. An asterisk (*) means that some data for sediment grain size are not included.

Survey area	Sampling gear	No. of sites	Replicate time	Month sampled	Total area sampled (m^2)	Mean grain size (phi)	Total species	Abundance (ind./m^2)	Biomass (g/m^2)	Dominant species	References
Sindu-ri coastal area	van Veen (0.03m^2)	10	4	July	1.2	2.1 - 5.4*	109	1,298	69.4	*Scoloplos armiger* (P) *Aonides oxycephala* (P) *Grandifoxus cuspis* (C) *Lumbrineris longifolia* (P) *Umbonium moniliferum* (M)	The present study
Chonsu Bay	van Veen (0.1m^2)	53	3	April and August	15.9	2.8 - 8.1	273	846	-	*Lumbrineris longfolia* (P) *Nephtys oligobranchia* (P) *Theora fragilis* (M) *Eriopisella sechellensis* (C)	Lee and Park (1998)
Kamak Bay	van Veen (0.1m^2)	12	5	May and August	12.0	7.1 - 9.2	182	766	141.6	*Tharyx* sp. (P) *Theora fragilis* (M) *Capitella capitata* (P) *Lumbrineris longifolia* (P)	Koo *et al.* (2004)
Gwangyang Bay	van Veen (0.1m^2)	38	3	June	11.4	-	154	428.7	-	*Tharyx* sp. (P) *Lumbrineris longifolia* (P) *Mytilus edulis* (M) *Corophium sinense* (C)	Choi *et al.* (2003)
Taebudo coastal area	van Veen (0.1m^2)	13	3	July and October	7.8	1.9 - 7.5	209	1,093	134.9	*Heteromastus filiformis* (P) *Scoloplos armiger* (P) *Tharyx* sp. (P) *Ampelisca* sp. (C)	Lim and Choi (1998)
Inchon coastal araea	van Veen (0.1m^2)	10	3	March and July	6.0	0.3 - 6.8	212	1,392	-	*Amphioplus japonicus* (E) *Heteromastus filiformis* (P) *Theora fragilis* (P) *Ampharete* sp. (P)	Yu *et al.* (2004)

도 또한 제일 높았다. 이 지역은 퇴적물 성분이 주로 펄로 구성되었으며, 또한 양식장으로부터 퇴적물로 유기물 공급이 많을 것으로 짐작되는 곳이었다. Gowen 과 Bradbury (1987)는 양식장으로부터 퇴적물로 유입되는 유기물 양의 증가는 양식장 주변에 점이역을 형성하며, 점이역의 유기물 양은 대형저서동물군집을 증가시키기에 충분하다고 하였다. 이러한 사례는 스코틀랜드와 우리나라 양식장 주변 해역에서도 보고되었다 (Brown *et al.,* 1987; 박 등, 2000; 정 등, 2002; Koo *et al.,* 2004). 양식장 주변에 위치한 정점군 B 해역에서 많은 저서동물이 출현한 것은 유기물 유입에 의한 점이역 형성의 결과인 것으로 판단되었다. 잠재적인 유기물 오염지표종으로 알려진 *Lumbrineris longifolia* (Kitamori and Funae, 1959), 비교적 유기물 농도가 높은 해역에서 출현하는 것으로 알려진 Tharyx sp. (임과 최, 2001; 신, 1995), 그리고 유기물 오염이 진행된 곳에 많이 출현하는 *Mediomastus californiensis* (Pearson and Rosenberg, 1978) 등은 이 해역에서만 집중 출현하였으며 양식장 운영에 따른 유기물의 저층 서식지로의 유입정도를 시사해 주었다.

양식장 주변 정점 (정점 1과 9)과 암반 기질로 된 정점 (정점 10)을 제외한 모래가 주성분으로 구성된 나머지 정점에서는 총 64종의 저서동물이 출현하였으며, 이들의 평균서식밀도는 914개체/m^2였다. 이 지역에는 모래 성분이 우세한 조하대 퇴적물에서 많이 출현하는 *Scoloplos armiger* (임과 최, 1998)가 최우점종으로 출현하였으며, 이 종은 특히 최저조선과 인접한 정점군 D에서 382개체/m^2의 높은 밀도를 보였다. 해당 해역에는 *Grandifoxus cuspis, Umbonium moniliferum* 등의 모래서식지를 선호하는 종들이 높은 밀도로 출현하였다. *U. moniliferum*은 갯벌 조사선에서도 우점종으로 출현한 종으로 그 서식지가 갯벌 하부에서부터 조하대 얕은 해역까지 확대되어 있었다. 신두리 모래조하대 해역에서 출현한 저서동물의 종 수 및 서식밀도는 인근 천수만 모래 퇴적물에서 조사된 자료 (78종, 787개체/m^2, Lee and Park (1998)의 Table 6)에 비해 서식밀도는 높았으나 출현 종수는 다소 적은 편이었다. 출현 종수의 차이는 채집강도 차이에 의한 결과로 판단되었으며, 이를 고려하면 신두리 조하대와 천수만 모래 조하대에서 출현하는 저서동물의 종 수 및 밀도 분포는 유사한 정도였다. 그러나 출현 종의 조성은 두 지역간에 많은 차이를 보였다.

분급도가 양호하며 조립한 모래퇴적물이 균질하게 분포하는 신두리 갯벌에는 전사구 (Foredune)를 일부 포함하는 갯벌 상부에서부터 최저조선까지 저서생물의 분포가 뚜렷한 대상분포 (Zonation)를 보이고 있었다. 평균입도가 대부분의 지역에서 2φ 이하의 조립질로 구성되어 있어 대부분의 생물은 갯벌 상부나 표층에 서식하는 연체동물과 갑각류로 구성되어 있었다. 우리나라 서해안 모래갯벌의 대표종인 *Umbonium thomasi*와 백합과 (Veneridae)의 치패가 가장 높은 밀도를 보인 종이었으며, 상기 두 종은 갯벌 전역에서 출현하는 양상을 보였다. 그러나 우점 갑각류들의 분포에서는 뚜렷한 대상분포가 관찰되었다 (Fig. 8). 가장 상부에는 *Scopimera globosa*와 *Urothoe convexa*, 중부에는 *Mandibulophoxus mai*, 그리고 하부에는 *Eohaustorius spinigerus*가 우점하는 뚜렷한 대상분포 특징을 보였다. 갯벌의 이러한 대상분포는 일차적으로 조석작용에 의해 결정되며 (고 등, 1997), 특히 연속노출시간과 퇴적물의 입자크기에 의해 주로 영향을 받는다 (Swinbanks and Murray, 1981). 조사지역 갯벌의 퇴적물 입자크기는 매우 균질한 상태였으며,

따라서 이러한 대상분포는 노출시간 정도에 의해 영향을 받은 것으로 여겨졌다.

갯벌 저서동물의 출현 종수 및 서식밀도 분포에서도 노출시간 대별로 분포 양상이 서로 달랐다. 일반적으로 퇴적상이 균질하게 구성된 모래 갯벌에서 저서동물의 출현 종수와 서식밀도는 하부로 가면서 증가하는 경향을 보인다. Rakocinski *et al.* (1993)은 플로리다주의 모래 해변 조사의 결과에서 저서동물의 종 수 및 서식밀도가 최저조선으로 가면서 증가함을 보고하였다. 우리나라의 승봉도 모래갯벌 조사 자료에서도 동일한 경향이 보고 되었다 (환경부, 2002). 새만금 갯벌의 자료에 의하면 저서동물의 출현 종수 및 서식밀도는 하부로 가면서 점차 증가하는 경향을 보이나 평균해수면 근처의 연속노출시간이 12시간 이상으로 나타나기 시작하는 조고에서 종수 및 개체수가 높아진다고 보고하였다 (해양수산부, 2005). 본 조사에서는 노출범위를 분석하지 못한 관계로 연속노출시간대별로 생물분포 정도를 파악할 수는 없었으나, 서식밀도는 하부로 가면서 점차 증가하는 경향을 보였으며 출현 종수는 평균해수면 높이에서 최고점을 형성한 후 하부로 가면서 다시 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 9).

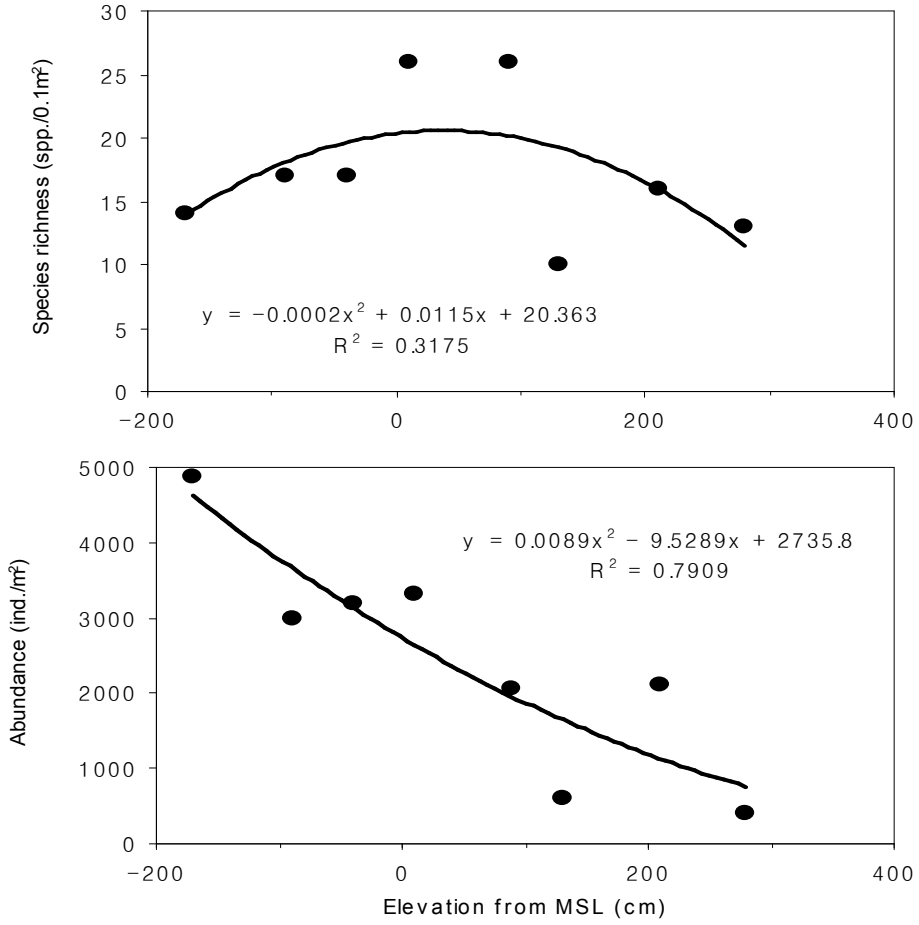

Fig. 9. Distribution of species richness and mean density along the tidal height level on Sindu-ri sand flat.

신두리 갯벌에서 출현한 저서동물은 총 50종이었으며, 이들의 서식밀도는 2,443개체/m^2이었다. 모래 퇴적물로 이루어진 다른 지역의 갯벌 (강화도 여차리, 대부도 방아머리, 승봉도 이일레 해수욕장 등) 자료와 비교하여 서식밀도는 훨씬 높았으며 출현 종수는 조하대의 경우처럼 비교지역에 비해 다소 적었다. 같은 모래갯벌이라 하더라도 신두리 갯벌은 비교 지역에 비해 훨씬 조립한 퇴적물 (평균입도가 2φ 이하)로 구성되어 있었으며, 또한 전 지역이 매우 균질한 퇴적상 특징을 보였다. 따라서 서식지 다양성을 증가시킬 수 있는 환경 구배의 다양성이 노출시간에 의한 구배 이외에는 특별한 것이 없었기 때문에 출현 종수가 상대적으로 적은 것으로 판단되었다.

결론적으로, 신두리 주변 연안의 저서동물은 조하대에서는 퇴적상 차이에 의하여 군집이 구분되어 있었으며, 갯벌에서는 노출시간 정도에 따라 저서동물이 분포하는 특징을 보였다. 신두리 해안 조하대와 갯벌의 퇴적물은 모래가 주요 성분이었으며, 이에 따라 모래 퇴적물을 선호하는 종들로 저서동물군집이 형성되어 있었다. 또한 이들 저서동물은 일부를 제외한 대부분의 해역에서 자연조건에서 출현하는 종들로 구성되어 있었으며, 따라서 신두리 해안은 오염되지 않은 건강한 서식지인 것으로 판단되었다. 특히 천연기념물보호구역인 신두리 사구와 연결되는 갯벌과 인근의 조하대 해역에는 인위적인 구조물이 거의 없으며, 외부로부터의 오염원도 거의 없기 때문에 향후 보전을 위한 가치가 충분히 있는 서식지로 판단되었다. 그러나 조하대 서식지 중 유기물 유입이 많을 것으로 추정되는 양식장 주변 해역은 오염지시종의 서식밀도가 높은 곳이었다. 따라서 생태계 보전지역의 효율적인 관리를 위해서는 보호지역 주변 해역까지 지속적인 모니터링과 함께 오염원을 저감할 수 있는 방안을 찾는 것이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 2002년도 “갯벌 생태계조사 및 지속가능한 이용방안 연구 (BSPM 16100-1465-3)” 사업의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

고철환, 박철, 유신재, 이원재, 이태원, 장창익, 최중기, 홍재상, 허형택, 해양생물학, 서울대학교출판부, 654p, 1997.

김대현, 박수진, 유근해, 해수와 해빈 모래 기원 영양소의 공간적 분포 -신두리 해안사구 지대를 대상으로-, 대한지리학회 춘계학술대회발표논문집, pp. 36-36, 2004.

김성렬, 우한준, 이용국, 정갑식, 제종길, 박건태, 정백훈, 조진형, 신두리 해안 Scan Sonar 해저면 음향의 영상과 해저퇴적물, 대한지구과학회지, 제23권, 제8호, pp. 707-721, 2002.

류호상, 겨울철 모래이동과 전사구의 지형변화 - 신두리 해안사구 지대를 사례로-, 대한지리학회 춘계학술대회 요약집, pp. 137-139, 2002.

민병미, 통보리 사초(Carer Kobomugi Ohwi), 한국생태학습지, 제27권, 제1호, pp. 49-55, 2004.

박흥식, 최진우, 이형곤, 통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집 구조, 한국수산학회지, 제33권, 제1호, pp. 1-8, 2000.

신현출, 가막만의 저서다모류 군집, 한국해양학회지, 제30권, 제4호, pp. 250-261, 1995.

안영희, 신두리 해안 사구지 식생의 식물사회학적 연구, 한국환경과학회 추계 학술대회 논문집, pp. 254-256, 2003.

임현식, 최진우, 경기만 대부도 주변 조하대 해역의 저서동물 군집, 한국수산학회지, 제31권, 제4호, pp. 453-462, 1998.

임현식, 최진우, 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포, 한국수산학회지, 제34권, 제3호, pp. 225-237, 2001.

정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구, 한국해양학회지, 제7권, 제4호, pp. 235-246, 2002.

최진우, 현상민, 장 만,저서생물에 의한 여름철 광양만의 저서환경 상태파악, 한국환경생물학회지, 제21권, 제2호, pp. 101-113, 2003.

환경부, 우리나라 사구 실태파악과 보전·관리 방안에 대한 연구, BSPG 329-00 -1367-3, 263p, 2001.

환경부, 훼손된 해안생태계 복원기술 개발, BSPN423-00-1388-3, 1065p, 2002.

해양수산부, 신두리 해안 생태계 보전 방안 - 갯벌 생태계조사 및 지속가능한 이용방안 연구 보고서 부록, BSPM 16100-1465-3, 95p, 2002.

해양수산부, 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구 (3차년도) -유용저서생물자원 관리 및 이용-, BSPM 26007-1687-3, 228p, 2005.

Brown, J.R., R.J. Gowen and D.S. McLusky, The effect of salmon farming on the benthos of a scottish sea loch. *J. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 109, pp. 39-51, 1987.

Folk, R. L. and Ward, W., Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters, *J. Sedi. Petro.*, Vol. 27. pp. 3-26, 1957.

Gowen, R.J. and N.B. Bradbury, The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review, *Oceanogra. Mar. Biol. Annu. Rew.*, Vol. 25, pp. 533-563, 1987.

Kennedy, M., J.-W. Kim, J.-H. Choi, K.-H. Choi and J.-M. Byun, The development and luminescence chronology of a coastal dune from the Shindu dunefield, T'aean Peninsula, J. Kor. Geo. Soc. Vol. 39, No. 2, pp. 269-282, 2004. (in Korean)

Kitamori, R. and K. Funae, The benthic community in polluted coastal water (Ⅲ) Osaka Bay, Bull, Nakai Reg. Fish. Res. Lab., Vol. 12, pp. 215-221, 1959.

Koo, B. J., J.-G. Je and S.-H. Shin, Benthic Pollution Assessment Based on Macrobenthic Community Structure in Gamak Bay, Southern Coast of Korea, *Ocean and Polar Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 11-22, 2004.

Lee, J.-H. and H.-S. Park, Community Structures of Macrobenthos in Chonsu Bay, Korea, *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, Vol. 33, No. 1-2, pp. 18-27, 1998.

Pearson, T.H. and R. Rosenberg, Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment, *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, Vol. 16, pp. 229-311, 1978.

Rakocinski, C.F., R.W. Heard, S.E. LeCroy and J.A. McLelland, T. Simons, Sea-

ward change and zonation of the sea-shore macrofauna at Perdido Key, Florida, U.S.A., *Est. Coast. Shelf Sci.*, Vol. 36. pp. 81-104, 1993.

Swinbanks, D.D. and J.W. Murray, Biosedimentological zonation of Boundary Bay tidal flats, Fraser river Delta, British Columbia, *Sedimentology*, Vol 28, pp. 201-237, 1981.

Yu, O. H., B.-S. Koh, H.-G. Lee and J.-H. Lee, Effect of environmental variables on changes in macrobenthic communities in the coastal area of Inchon, Korea, *J. Kor. Fish. Soc.*, Vol. 37, No. 5, pp. 423-432, 2004. (in Korean)