가로림만 저서다모류군집의 시·공간 분포 및 건강 상태

위찬우¹ · 이정호² · 신현출^{3,*}

¹(주)오션그래픽 해양환경팀

²안양대학교 해양바이오시스템공학과

³전남대학교 해양기술학부

Spatio-temporal Distribution of Benthic Polychaetous Communities and Their Health Conditions in Garolim Bay, West Coast of Korea

CHAN WOO WI¹, JUNG HO LEE² AND HYUN CHOO SHIN^{3,*}

¹Ocean Graphic Ocean Environment Division, Gwangju, Korea

²Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon, Korea

³Faculty of Marine Technology, Chonnam Natinal University, Yeosu, Korea

가로림만 저서다모류군집의 특성을 파악하기 위하여 2006년 4월부터 2007년 4월까지 5회에 걸쳐 현장조사를 실시하였다. 가로림만은 반폐쇄성 매만으로 2분지형의 수로를 통해 해수의 유출입이 일어나며 수로 주변으로 넓은 갯벌이 형성되어 있다. 저서다모류는 전체 대형저서동물군집중 개체수에 있어서 65.1%를 차지하는 우점 동물군이였다. 출현종수는 내만역이 만입구나 외해역에 비해, 그리고 갯벌 지역이 수로 지역에 비해 많은 편이였다. 서식밀도 역시 수로 지역보다 갯벌 지역에서 높았다. 주요 우점다모류는 기회주의종으로 잘 알려진 *Prionospio* sp., *Heteromastus filiformis*, *Lumbrineris longifolia* 등이였다. *Prionospio* sp.와 *H. filiformis*는 주로 내만역의 갯벌에 주로 서식하였고, 반면 *L. longifolia*는 수로지역과 만 입구역에 서식하였다. 집괴분석과 nMDS 분석 결과 정점군들은 내만역에서 외해쪽으로의 분포 경향을 보였으며, 이는 각 정점군의 종조성이 순차적으로 차이가 남을 의미한다. AMBI와 BPI를 이용하여 가로림만의 저서 환경 건강도를 평가한 결과 만 입구역에서는 약간 오염(slightly polluted)된 정도이였으나, 내만역으로 들어갈수록 중간정도의 오염(moderately polluted) 상태를 보여주었다. 우점종의 종조성과 저서건강도 상태를 고려해볼 때, 가로림만의 저서환경은 약간 불안정하고 교란이 진행되고 있는 상태이며, 대규모 양식장들로 인한 유기물오염이 현재 진행되고 있는 것으로 판단된다.

This study was carried out to estimate the benthic environments and polychaetous community in Garolim Bay, through five field surveys from April 2006 to April 2007. Garolim Bay is a semi-enclosed bay and composed of a biramous tidal channel and nearby wide tidal flats. Surface sediment in the inner bay was composed of fine grained particles whereas that in the mouth area of bay was of coarse grained ones. Benthic polychaete worms were the most dominant taxa occupying 65.1% of total benthic macrofauna. Species number was higher in the inner bay than mouth and outer area of bay, and in the bay higher on the tidal flat than channel area. Density was higher on the tidal flat than channel area. Dominant polychaetous species were *Prionospio* sp., *Heteromastus filiformis*, *Lumbrineris longifolia* and so on, which is known as opportunistic species. *Prionospio* sp. and *H. filiformis* inhabited mainly on the tidal flats in inner bay, while *L. longifolia* in the channel area and mouth of the bay. Cluster analysis and nMDS showed the typical inner-to-outward distribution of station groups, which indicated the sequential difference of the species composition of each station group. To assess the benthic healthiness of Garolim Bay by AMBI and BPI analysis, the benthic condition was analyzed from slightly polluted in the outer and mouth of the bay to moderately polluted in the inner bay. Assumed from dominant species composition and benthic healthiness condition, benthic environments of Garolim Bay was slightly unstable and disturbed and organic enrichment was currently underway by massed fisheries farms.

Key words: Garolim Bay, Benthic Polychaetes, Benthic Environments, Healthiness

Received August 21, 2014; Revised September 16, 2014; Accepted October 16, 2014

*Corresponding author: shinhc@chonnam.ac.kr

서 론

저서동물은 부식질 먹이를 통하여 퇴적물 내의 영양염을 변화시키며, 퇴적물-수괴의 영양염 재순환에 중요한 매개자 역할을 함으로써, 생태계 물질순환에 중요한 위치를 차지하고 있다. 즉 저서동물은 퇴적물 내의 환원층에 있는 유기물을 표면으로 운반해 주며, 영양분이 풍부한 저층 퇴적물을 수괴로 재부유시켜 여과식자의 잠재적인 먹이가 되게 한다(Rhoads, 1974; Henriksen *et al.*, 1980). 그리고 일생 동안 혹은 어느 안정된 시기에 저서생활을 하기에 이동성이 적으며, 번식력이 강하여 환경의 장기적인 지표가 될 수 있다(Bilyard, 1987).

해양의 연성기질에 서식하는 저서다모류의 분포에 영향을 주는 환경요인은 지역에 따라 차이를 보이지만 대체로 퇴적물의 입도 조성이나 퇴적상(Sanders, 1958, 1960; Rhoads and Young, 1970; Gray, 1974), 수심(Lampitt *et al.*, 1986; Choi and Koh, 1990), 유기물의 공급(Grebmeier *et al.*, 1988), 용존산소량(Hong, 1987; Friligos and Zenetos, 1988), 수괴나 수온(Long and Lewis, 1987), 조류나 해류의 세기(Wildish and Kristmanson, 1979) 등과 같은 물리적인 환경요인이 대규모적인 분포에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 반면 이런 환경에서 종간의 포식(Peterson, 1979; Gray, 1981), 경쟁(Rhoads and Young, 1970; Woodin, 1976) 등의 생물학적인 상호작용 또한 군집의 분포 및 구조에 영향을 미친다. 이처럼 저서다모류 군집은 환경에 따라 다른 군집 구조를 보이기 때문에 환경이 교란되면 이에 따라 군집의 구조가 변하게 된다.

저서다모류의 생태 특성을 이용하여 어느 한 해역에서 저서생물의 종조성이나 각 종의 개체군 변동 등에 미치는 계절적 영향이나 장기변동에 관한 조사는 서식지 악화와 이로 인한 군집의 파괴 또는 군집의 회복이나 천이와 관련된 생태학적 변화 파악 및 영향 예측을 알아보기 위해 필요하다. 이러한 환경의 변화에 따른 생태계의 변화를 알아보기 위해서는 주된 관심이 저서동물군집에 집중되어 왔다. 즉 대상 생물들이 정착성이기 때문에 그들의 분포는 곧 그 지역의 환경을 반영하고, 환경의 변화를 반영하기에 적당한 생활사로 인해 시간에 따른 스트레스의 기원을 잘 반영하며, 대부분의 많은 종들이 오염물질이 집중되는 퇴적물-수 경계면(Sediment-Water Interface)에 서식하기 때문이다. 또 이런 군집들은 스트레스의 종류 및 정도에 따라 다른 내성을 보이는 다양한 종들로 구성되어 있기 때문이다(Boesch and Rosenberg, 1981; Hartley, 1982; Phillips and Segar, 1986; Gray *et al.*, 1988). 이런 특징으로 인해 해양환경의 변화가 군집에 미치는 시·공간적인 연구는 유기물 오염(Rosenberg, 1975; Pearson and Rosenberg, 1978, Jensen, 1986), 준설(Bondsdroff, 1980), 유류오염(Sanders *et al.*, 1980) 등과 같이 오염원별로 많은 연구가 진행되어왔다. 이런 일련의 연구결과들은 군집이 파괴된 후 재형성되는 과정에서 유사한 양상을 보여주고 있다.

본 연구지역인 가로림만은 충청남도 태안반도와 서산시의 해안으로 둘러싸인 반폐쇄성 내만이다. 가로림만 유역에는 현재 해역을 오염시키는 대규모의 시설은 없으나, 대산항의 기능상 유류 또는 화학물질의 유출사고 우려가 상존하고, 조력발전소가 건설되면 내부지형 및 해수의 유동 변화로 환경 변화가 예상되며 이에 따른 생태계 변화가 나타날 것으로 전망된다. 가로림만은 서해안 고속

도로의 개통으로 중소규모 관광지 개발의 수요가 크게 증가할 것으로 예상되고 행정중심복합도시의 충청권 이전으로 관광을 중심으로 한 개발압력이 크게 증가되고, 조력발전소 후보지로서 관심이 집중되고 있는 곳이지만 이 지역의 저서동물군집상에 대한 조사는 많지 않으며, 조하대 대형저서동물군집상을 dredge로 채집한 조사결과(Lee *et al.*, 1983)와 갯벌 저서동물군집상(Shin *et al.*, 2004)을 조사한 연구만이 있다. 이에 본 연구에서는 가로림만을 중심으로 한 인근 해역 저서다모류 군집의 시공간적 분포양상을 파악하여 가로림만의 저서환경의 건강도를 알아보고자 하였다.

연구지역의 개황

가로림만은 충청남도 태안반도와 서산시의 해안으로 둘러싸인 반폐쇄성 내만으로 해안선길이가 161.84 km, 해역면적 112.57 km² 이고 만 입구의 폭은 3.2 km, 남북방향의 폭 22.4 km로 남북 방향으로 잘 발달된 넓은 호리병 모양이다. 조석에 의해 북쪽 만 입구로 유입된 해수는 수심 20 m 정도인 2개의 수로로 나뉘어져 만 내로 유입되는데, 동쪽수로만 대산을 연안을 끼고 약 10여 km 정도로 연장되고 서쪽 수로는 만의 서쪽연안을 따라 약 20 km 정도 연장되어있다. 만 입구의 평균조차는 4.72 m, 대조차는 6.56 m 정도의 대조차 환경으로 창조시 약 1.4 m/s, 낙조시 1.1 m/s이며, 만 내부로 갈수록 유속은 떨어진다. 상대적으로 유속이 느린 만 내부에는 김, 굴 등의 양식이 활발하게 이뤄지고 있다.

가로림만은 유역면적이 좁아 큰 하천은 발달하지 못하였고, 태안군의 반계천, 갈두천, 삭선천을 비롯하여 26개, 서산시의 방길천(방길천의 지류인 황곡천 포함)을 포함하여 41개 등 총 67개의 작은 지류를 통해 하천수가 유입되고 있는데 유량이 적고 하천으로부터 유입되는 토사의 양도 미미하다. 특히 대산읍에서 유입되는 하천은 전체 가로림만 연안 유입하천의 34.3%인 23개로, 주변 대산산단, 도시지역 등 육상기원오염물질 유입으로 가로림만의 연안 오염이 우려된다.

가로림만의 기후는 연평균 기온 11.7°C, 최저기온을 보이는 1월 평균기온은 -1.9°C, 가장 더운 8월의 평균기온은 25.0°C이고, 강수량은 연간 1,235 mm로 8월에 최고 288 mm, 1월에 최저 29 mm이다. 가로림만의 염분분포는 매우 균일하며, 만의 입구에서 내부로 갈수록 낮아지는 현상을 보였으나, 그 차이는 1.0 psu 이하이었으며, 충남 연안의 다른 해역에 비하여 상대적으로 높은 값을 보였다. 이와 같은 이유는 가로림만 내부로 유입되는 대형하천이 없어 담수유입이 매우 제한되기 때문에 염분이 높고, 공간분포 역시 균일한 것으로 여겨진다. 용존산소도 가로림만 내부 수역은 90~100%의 포화도를 보여 충남의 다른 수역에 비하여 양호한 상태를 보이는 데, 이는 가로림만으로 유입되는 하천이 적은 관계로 담수유입이 제한되고 이에 따른 육상오염물질의 유입이 제한되기 때문이다.

재료 및 방법

충청남도 태안반도에 위치한 가로림만의 저서동물분포를 알아보기 위해 만 내부와 외부해역에 걸쳐 총 23개의 정점을 설정하였다. 2006년 4월(15개 정점), 7월(19개 정점), 10월(23개 정점), 12월(23개 정점), 2007년 4월(23개 정점)까지 5회에 걸쳐 계절별로 현장

조사를 실시하였다 (Fig. 1). 각 정점에서 유기물함량, 표층퇴적물의 입도조성, 저서동물군집에 대한 조사를 실시하였다.

표층퇴적물 시료는 과산화수소(15%)와 염산(10%)을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 완전히 제거하였다. 전처리 과정이 끝난 퇴적물 시료는 망목크기가 40인 체를 이용한 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리하였다. 분리된 퇴적물 시료 중 조립질 시료는 110 °C에서 24시간동안 건조시킨 후 표준체를 이용하여 건식체질(dry sieving)로 입도별 무게를 구하였고, 세립질 시료는 X-선 자동 입도 분석기인 Sedigraph 5100으로 분석하여 입도의 백분율을 산출하였다. 분석 후 얻어진 자료는 Folk and Ward(1957)의 방법에 의해 계산하였다.

유기물함량 분석을 위한 조사는 2006년 7월부터 2007년 4월까지 총 4회 실시되었다. 각 정점별 유기물함량을 분석하기 위한 시료 채취 후 냉장 보관하여 실험실로 운반하였으며, 실험실로 운반된 시료의 유기물함량은 고온전기로 이용하여 550 °C에서 4시간동안 강열하여 유기물을 회화시키는 강열감량법(Loss on Ignition; %)을 이용하여 구하였다.

저서다모류를 채집하기 위하여 개량형 van Veen Grab 채니기 (1회 채취면적: 0.1m²)를 사용하여 각 정점에서 2회씩 퇴적물을 채취하였다. 선상으로 인양된 퇴적물은 입도분석과 유기물 분석을 위한 표층퇴적물을 채취한 후, 즉시 망목크기 1.0 mm인 체와 해수를 사용하여 퇴적물을 씻어내었다. 체에 걸린 잔존물은 10% 중성포르말린으로 고정된 후 실험실로 운반하여 잔존물 내의 모든

저서동물을 선별하였다. 선별된 저서동물은 실체현미경(Nikon SMZ-U)과 광학현미경(Carlzeiss AxioLab)하에서 동물군별로 구분하고, 저서다모류는 가능한한 종 수준까지 동정하였으며 이를 다시 계수하고(ind./0.2 m²), 면적당 출현개체수(ind./m²)로 환산하였다. 저서다모류군집의 특성을 알아보기 위하여 종다양도지수(H') (Shannon and Weaver, 1963), 종풍부도지수(R) (Margalef, 1958), 종균등도지수(J) (Pielou, 1966), 우점도지수(D) (McNaughton, 1968)를 정점별로 계산하였다.

종조성의 유사도에 기초하여 정점별로 구분하기 위하여 집괴분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 분석시 사용한 자료는 저서다모류 전 출현종을 대상으로 대수변환하였고, 정점간 유사도 지수는 Bray-Curtis similarity index(Bray and Curtis, 1957)를 사용하였으며, 정점간의 결합은 Group average mode를 사용하였다. 더불어 집괴분석 결과를 비교 검증하고, 분석의 정확성을 기하기 위하여 다차원척도법(nMDS)을 실시하였다. 생태지수를 포함한 모든 자료 분석은 PRIMER ver 5.0을 이용하였다.

유기물 오염에 반응하는 정도는 섭식유형에 따른다는 가정 하에 우점종을 중심으로 저서다모류를 4개군으로 나누고 섭식형 구조를 0~100 사이의 지수로 나타내어 시·공간적인 비교가 가능하도록 Benthic Pollution Index(BPI)를 구하였다(Choi and Seo, 2007; Lim *et al.*, 2007). 또한 유기물 유입량에 반응한 감소·증가 정도에 따라 저서생물을 크게 5개의 생물군으로 구분하여 각 생물군의 조성 비율에 의해 생물계수(AMBI: Azti's Marine Biotic Index)를 구하였다(Borja *et al.*, 2000). 자료 분석은 Primer ver. 4.0을 이용하였다.

결 과

가로림만 저서환경

유기물함량(Organic Matter Content): 가로림만의 표층 퇴적물 유기물함량의 계절 변동은 Table 1과 같다. 조사기간 동안 유기물함량은 최대 13.8%에서 최소 0.5%를 보였고, 2.7±1.7%의 평균 함량을 보였다. 2006년 7월에 1개 정점(정점 3)에서 13.8%로 매우 높은 값을 보였던 경우를 제외하면, 계절간 그리고 각 계절 내 정점간 유기물 함량의 편차는 심하지 않았다.

표층퇴적물의 입도조성: 가로림만 내 조사 시기별 표층퇴적물의 입도분석 결과는 Fig. 2와 같다. 계절에 따라 평균 입도 및 퇴적상의 차이가 나타나기는 하지만, 그 차이는 크지 않고 거의 유사한 분포 경향을 보이고 있다. 평균입도는 매 계절 0.0~6.5φ 이내에서 변화하였으며, 전반적으로 만 내부에서 만 입구 혹은 만 외부 해역으로 가면서 세립질에서 조립질 퇴적물로 변화하였다. 퇴적상 역시 이러한 현상을 잘 반영하고 있는데, 만 내부지역은 sandy mud 혹은 muddy sand가 우세하였고, 만 가운데 해역(오지리 선착장의 인근)을 중심으로 sand 퇴적상이 나타났으며, 만 입구지역은 gravelly

Fig. 1. A map showing the bathymetry and sampling stations in Garolim Bay, west coast of Korea.

Table 1. The organic matter content(%) of surface sediment in the study area

	Jul., 2006	Oct., 2006	Dec., 2006	Apr., 2007	overall
Min	1.0	0.8	0.7	0.5	0.5
Max	13.8	4.1	8.5	4.3	13.8
Mean	3.7±2.9	2.2±1.0	3.0±1.8	1.8±1.2	2.7±1.7%

Fig. 3. Distribution of species number (ind./0.2 m²) and density (ind./m²) of benthic polychaetous species.

Table 3. Dominant polychaete species collected above 5.0% percentage among total individual number in Garolim Bay. (Density unit is ind./m², the numbers in parentheses are percentages)

Species Name	2006				2007
	April	July	October	December	April
<i>Dorvillea</i> sp.	-	-	-	42(24.9)	-
<i>Glycera chirori</i>	-	-	16(6.4)	11(6.3)	-
<i>Heteromastus filiformis</i>	310(15.4)	191(24.3)	84(25.5)	15(8.7)	138(44.6)
<i>Lumbrineris longifolia</i>	-	82(10.4)	59(24.2)	26(15.5)	40(13.6)
<i>Prionospio</i> sp.	1,203(59.8)	264(33.5)	-	10(5.9)	-

림만의 저서환경이 상당히 불안정함을 의미한다고 볼 수 있다.

상위 우점종들의 분포 양상은 계절에 따라 약간의 차이는 있으나, 전반적으로 유사한 분포 패턴을 보여주고 있다. *Prionospio* sp.는 주로 만 내부의 갯벌에 위치하는 정점에서 출현하고 있으며, 출현량의 시공간적 변동 폭이 상당히 심하였다. *Heteromastus filiformis*는 전반적으로 많은 정점에서 출현하고 있으나, 만 내부의 갯벌 상에 위치하는 정점에서 서식밀도가 높은 값을 보이고 있다. *Lumbrineris longifolia*와 *Glycera chirori*는 상대적으로 수로 상의 정점 및 만 입구 해역에서 출현하는 경향을 보이고 있으며, *Dorvillea* sp.는 2006년 12월에 만 입구에 위치하는 일부 정점에서 극우점 출현하였다.

정점군 분포: 유사한 다모류 종조성을 보이는 정점군을 파악하기 위하여 집괴분석과 다차원척도법(nMDS)을 실시한 결과 5계절 모두 분석법 간에 큰 차이가 없이 유사한 패턴을 보이고 있다. 이 유사 종조성을 보이는 정점군 분석 결과를 해도상에 도시하면 Fig. 4와 같다. 계절에 따라 차이를 보이기에는 하나 전반적으로 가로림만의 수로역과 갯벌 지역, 그리고 가로림만의 내만역에서 만 입구역, 그리고 만 외해역으로 가면서 순차적으로 저서다모류 군집의 종조성이 차이를 보이는 것으로 나타났다. 계절에 따른 차이는 있지만 대체적으로 갯벌 상에 위치한 정점군들이 수로 상 점점군들보다, 그리고 내만역에 위치한 정점군들이 만 입구나 외해역에 위

치한 정점군들 보다 출현종수와 서식밀도가 높았다. 그리고 갯벌이나 내만역에 위치한 정점군들의 주요 저서다모류는 *Prionospio* sp.와 *H. filiformis*, *L. longifolia* 등이었다. 반면 사질, 역질 함량이 높은 수로 지역이나 만 입구역, 외해역은 조사 시기에 따라, 그리고 특정 정점에서 *Armandia lanceolata*, *Lumbrineris japonica*, *Dorvillea* sp. 등의 몇몇 종들이 극우점 출현하여 군집 종조성의 시·공간적 변동이 상당히 심한 편이었다.

저서환경 건강도 분석: 가로림만 저서환경의 건강도를 파악하기 위하여 저서다모류 군집 종조성에 의거 분석한 저서오염지수(BPI)와 Azti's Marine Biotic Index(AMBI)의 시·공간적 분포 양상은 Fig. 5와 같다.

저서오염지수(BPI)는 2006년 4월에는 평균 48.90±20.75의 값을 보였고, 2006년 7월에는 57.47±24.43, 2006년 10월에는 59.80±26.08, 2006년 12월에는 61.66±25.61, 그리고 2007년 4월에는 53.97±24.21의 값을 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 전체 조사기간 동안 10~100의 값을 보여 가로림만의 저서환경 상태는 공간적인 정도의 차이가 있음을 알 수 있었다. 지역적으로 살펴보면 만 입구를 포함한 외부 해역은 60~90정도의 값을 보여 비교적 오염이 덜 진행되었음을 알 수 있었고, 오지리 선착장 인근지역과 만 안쪽에서 10~50의 값을 보여 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다.

AMBI 지수는 2006년 4월에는 평균 3.04±1.02를 나타냈으며,

Fig. 4. Dendrogram of Bray-Curtis similarity, nonmetric-multidimensional scaling ordinations (nMDS) plot of the sampling sites and distribution of station group based on the species composition of benthic polychaetous communities in each sampling season.

Fig. 5. Distribution of BPI (Benthic Pollution Index) and AMBI (Azti's Marine Biotic Index) in the study area.

2006년 7월에는 2.91 ± 1.81 , 2006년 10월에는 3.05 ± 1.28 , 2006년 12월에는 2.68 ± 1.53 그리고 2007년 4월에는 2.72 ± 1.05 의 값을 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 전체 조사기간 동안 2~3이상의 값을 보여 가로림만의 저서환경 상태는 약간의 오염(slightly polluted)이 진행되었음을 보여주었다. 지역적으로 살펴보면 만 입구를 포함한 외부 해역은 1~2정도의 값을 보여 비교적 오염이 덜 진행되었음을 알 수 있었고, 오지리 선착장 인근지역과 만 안쪽에서 4~6의 값을 보여 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다.

AMBI와 저서오염지수(BPI)를 이용하여 가로림만 저서생태계의 건강도를 분석한 결과 전반적으로 약간의 오염이 진행되고 있다고 볼 수 있으며, 외해역과 만 입구역에서 내만역으로 들어가면서 오염의 정도가 심해지고 있음을 알 수 있다.

고 찰

저서동물군집의 서식밀도와 분포에 가장 중요한 영향을 미치는 요인으로 퇴적환경을 들 수 있다. 퇴적환경은 해수유동 등의 물리적인 요인에 의해 영향을 받기 때문에 퇴적물은 물리, 화학적 환경에 대한 전반적인 상황을 포괄적으로 내포하고 있다고 볼 수 있다(Warwick and Uncles, 1980; Snelgrove and Butman, 1994). 가로림만의 표층퇴적물 입도분석 결과, 만 외부지역은 대부분 sand의 특성을 보이는 것으로 나타났고, 입구역을 포함한 내만의 경우는 전체적으로 mud를 다량 포함하고 있으며 지역에 따라 gravel과 sand가 차지하는 비중이 달랐다. 이 때문에 만 입구해역은 매우 복잡한 퇴적상을 나타냈다. 조사결과에서 나타난 본 연구해역의 계

절적인 퇴적상 변화는 시간에 따른 변화 양상이기보다는 지역적 특성에 의한 결과를 우선 고려해야 한다. 이러한 급격한 퇴적상의 변화가 나타나는 지역의 경우 실제로 종조성에서도 차이를 보이고 있고 'heterogeneity state' 라고 불리는 독특한 해역으로 저서동물 군집에 의한 장기적 모니터링이나 환경변화에 대한 영향 등을 파악하기 어려운 지역이다(Sanders, 1968; McCall and Tevesz, 1982). 이러한 특성을 지닌 해역에서 단기적 조사를 실시할 경우에는 환경 특성이나 종조성에서 계절적인 변화가 크다고 해석될 수 있으며, 실제로 군집구조가 단기적인 시간변화에 따라 빠른 변화를 보인다고 해석할 수도 있다(박 등, 2006). 본 연구 해역과 유사한 천수만의 연구결과와 비교하여 보면, 본 연구 해역에서 장기적인 조사를 통해 자료를 축적하여 보다 다양한 측면에서 바라보아야 할 것으로 사료된다.

조사 해역에서의 저서동물의 평균서식밀도는 $1,087 \text{ ind/m}^2$ 이었는데, 이는 서해 경기만의 $368\sim550 \text{ ind/m}^2$ (Shin et al., 1989, 1992b) 보다 높고, 남해 진해만의 $2,151 \text{ ind/m}^2$ (Lim and Shin, 2005)보다 낮은 값이었다. 그러나 조사기간 중 몇몇 정점에서 나타난 일부 극우점으로 인해 저서동물 서식밀도가 높게 나타난 것을 제외하면 가로림만의 보편적인 서식밀도는 외부 해역인 경기만보다 약간 높은 수준이었다. 전체 저서동물 중 다모류가 차지하는 비율은 57.8%로 한국연안의 다른 해역보다 다소 낮았다. 서해 경기만 북부해역에서의 63.2%(Shin et al., 1989)와 동해 영일만의 71.3%(Shin et al., 1992a) 보다는 낮았지만, 가로림만 외해역인 경기만 남부해역의 57.4%(Shin et al., 1992b)와는 유사한 수준이었다. 가로림만의 저서동물 군집은 2006년 4월과 7월에 저서동물 서식밀도가 높게 나타났고, 그 이후의 3회 조사에서는 서식밀도가 낮게 나타났다. 이처럼 조사시기에 따라 저서동물 서식밀도가 차이를 보이는 것은 조사시기에 따라 몇몇 정점에서 나타난 저서동물의 극우점 현상 때문인 것으로 사료되며, 이러한 극우점 현상은 저서환경의 교란, 지형적인 특성의 영향 등 때문인 것으로 보다 다양한 환경인자와의 관계에 대해 지속적인 연구가 있어야 할 것으로 생각된다. 몇 차례 극우점으로 인해 저서동물 서식밀도가 높은 값을 보이는 것을 제외하더라도 만 외부해역에 비해 만 내부, 특히 수로인근의 갯벌에 위치한 정점에서 저서동물의 서식밀도가 높게 나타났는데, 이처럼 만 내부는 저서동물이 서식하기에 비교적 안정적인 환경을 유지하고 있는 것으로 볼 수 있다.

본 해역에서의 계절별 주요 우점종의 출현 양상은 약간씩의 차이는 있지만, 공통적으로 *Heteromastus filiformis*, *Lumbrineris longifolia*, *Prionospio* sp.는 상위 1% 이내에 항상 포함되어 있었다. 이 종들은 모두 유기물 오염에 대한 내성이 매우 강하거나 환경에서 급격히 증식할 수 있는 기회주의종(opportunistic species)의 특성을 나타낸다(Word, 1978; Borja et al., 2000). 이들과 같은 일부 소형 다모류들은 유기물 오염이 진행된 해역 또는 교란된 저서환경의 잠재적 지표종으로 알려져 있으며(Grizzle, 1984; Weston, 1990; Tsutsumi et al., 1991; Horng and Taghon, 1999), 한국 연안에서도 유기물 오염이 일어나고 있는 해역에서 *Capitella capitata*, *Lumbrineris longifolia*, *Heteromastus filiformis* 등의 우점출현 경향이 보고되고 있다(Shin and Koh, 1990; Park et al., 1992; Jung, 1998). 이처럼 안정적이지 못하고 교란된 환경에서 우점 출현하는 경향을 보이고, 동시에 국내외적으로 퇴적물 내에 유기물이 과다

집적된 유기물 오염(organic enrichment) 해역에서 집중 출현하는 특성을 가지기도 하는 기회주의종들이 2006년 4월부터 2007년 4월까지 매 계절 주요 우점종으로 출현하고 있다는 사실은 청정해역으로 알려진 본 조사해역의 유기물 오염 현상에 대해 관심을 가져야 함을 일깨워 주었다. 특히 기회종은 만 내부지역에서 높은 서식밀도를 나타내었는데, 만 내부에서도 수로 인근 지역과 갯벌 인근에서 특히 높았다. *Heteromastus filiformis*는 본 조사 결과와 마찬가지로 2002년의 가로림만 갯벌 조사에서도 주요 우점종으로 출현하는 등(Shin et al., 2004), 니질 퇴적물로 구성된 지역에서 일정량의 유기물이 축적되는 경우 계절성에 관계없이 일정 서식밀도를 나타내는 것으로 알려져 있는데(Jung, 1998) 이처럼 니질 퇴적물로 구성된 만 내부의 갯벌은 유기물이 축적되어 기회종이 서식하기에 안정적인 환경인 것으로 보인다. 2006년 4월 만 외부에 위치한 정점 18번에서 *Prionospio* sp.가 극우점 현상을 보이는데 해수 유통이 원활하며, 비교적 수심도 깊은 지형적인 특성을 고려하여 볼 때 주변에 위치한 대산산단과 대산항의 영향을 무시할 수는 없을 것이며, 또한 앞으로 이 지역에 대한 다양한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

1980년-1981년에 가로림만의 조하대 해역을 dredge로 조사한 결과에 의하면(Lee et al., 1983), 저서다모류 중 우점 출현한 종은 *Lumbrineris longifolia*, *Nephtys polybranchia*, *Tharyx* sp., *Sternaspis scutata*, *Glycera chirori* 등으로 25년이 경과한 2006년 본 조사의 우점 저서다모류와는 확연한 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 채집기구의 차이에서 비롯된 것으로 볼 수도 있지만, 주요 우점 저서다모류가 소형 갯지렁이들로서 grab 채집기에서도 주로 채집되는 종임을 감안하면 환경의 변화에 의한 우점종의 변화가 있었다고 볼 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 2006년 본 조사에서는 1980년에 비해 기회주의종 혹은 잠재적 유기물오염지시종의 출현량 및 우점율이 높아졌다고 볼 수 있다.

AMBI와 BPI를 이용하여 본 연구 해역의 저서환경을 평가해 본 결과, 몇 정점에서 매우 오염된 상태를 나타내기는 하지만 전체적으로 중간정도의 오염을 나타내었다. 본 연구해역의 계절별 평균 AMBI는 2.68~3.05의 변동을 보여 진해만의 3.39 ± 1.04 (Lim et al., 2007), 가막만의 2.3~5.4(Seo et al., 2012)보다 낮고, 거제도 남동부 연안의 1.84~2.48(Lim et al., 2006)보다 다소 높은 값을 나타내었다. 이것은 본 조사해역이 진해만에 비해 산업시설 등 경제적인 활동으로 인한 오염이 크지 않기 때문인 것으로 생각되며, 거제도 남동부 연안의 경우 외해에 노출되어 해수 소통이 상대적으로 원활하기 때문인 것으로 사료된다. 가막만의 경우 Hypoxia 상황을 전후한 기회주의종의 대량 번성으로 AMBI가 상당히 높은 값을 보이고 있었다. 그러나 표층퇴적물의 유기물 함량과 AMBI 값을 비교하여 보면 유기물 함량에 비해 AMBI 값이 다소 높게 나타난 것을 알 수 있었는데, 이는 기회주의적 특성을 나타내는 생태그룹 IV에 속하는 종의 출현비율이 높았기 때문이다. BPI의 경우 지금까지 조사된 연안역의 저서동물 군집에서는 BPI값이 30이하의 낮은 값을 보이며, 유기물 오염현상이 없다고 간주되는 외해역에서는 BPI값이 60 이상의 값을 보였다(Choi and Seo, 2007; Lim et al., 2007). 가막만의 경우 여름철에 hypoxia zone이 형성되는 북서내만역에서 가을과 겨울에 BPI 값이 15~49로 중간 정도의 오염에서 매우 심한 오염 상태를 보이고 있었으며(Seo et al., 2012), 진해만은 BPI가

11~23로 저서생태학적 건강도가 매우 악화된 상태를 보이고 있었다(Seo *et al.*, 2014). 반면 주변에 산업시설과 같은 해양오염을 야기시킬 가능성이 별로 없는 득량만은 BPI가 55~61로 양호한 환경임을 나타내주고 있다(Seo *et al.*, 2014). 그리고 광양만과 마산만의 저서환경의 오염 정도 및 건강도를 BPI 지수 값으로 확인한 연구 결과도 있다(Choi *et al.*, 2003; Choi and Seo, 2007). 본 조사 지역인 가로림만의 경우 각 계절별로 BPI 값이 평균 56.38 ± 24.21 으로 '약간의 오염'이 진행 중이거나 '상당히 양호'한 저서환경을 유지하고 있다고 볼 수 있다. 하지만 AMBI와 마찬가지로 유기물 함량과 비교하여 보면 다소 BPI 값이 낮게 나타난 것을 알 수 있다. Borja *et al.*(2000)에 의하면 유럽의 경우 AMBI 값이 1.2~3.3이면 약간의 오염이, 3.3~5.0이면 중간정도의 오염의 상태를, 5.0~6.0이면 매우 오염된 상태라고 분류하였다. 따라서 AMBI 값에 의한 가로림만의 저서환경 상태는 내만에 약간의 오염이 진행 중인 것으로 보이고 외해쪽으로 나갈수록 양호한 상태를 나타냈다. 유기물 오염에 민감한 종이 출현하였다고 해서 반드시 오염이 되었거나 진행 중인 해역이라고 말 할 수 없다. 이처럼 AMBI 및 BPI와 같은 저서동물군집의 기능적 관점에서의 분석을 통한 저서환경 평가를 위해서는 표층퇴적물의 입도조성뿐만 아니라 유기물함량, 용존산소 등의 환경자료 분석이 병행되어 AMBI 및 BPI와 환경자료간의 상관성이 검증되어야 할 것이다.

사 사

본 논문의 완성도를 높이기 위하여 세심하게 살펴 주신 두 분 심사위원께 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌(References)

- Bilyard, G.R., 1987. The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Pollut. Bull.*, **18**: 581–585.
- Boesch, D.F. and R. Rosenberg, 1981. Responses to stress in marine benthic communities. In: *Stress effect on natural ecosystems*. Edited by G.W. Barret and R. Rosenberg, John Wiley and Sons, New York, 179–200.
- Bondsdorff, E., 1980. Macrozoobenthic recolonization of a dredged brackish water bay in S. W. Finland. *Ophelia. Suppl.*, **1**: 145–155.
- Borja, A., J. Franco and V. Pérez, 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.*, **40**: 1100–1114.
- Bray, J.R. and Curtis, J.T., 1957. An ordination of upland forest community of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 325–3493.
- Choi, J.W. and C.H. Koh, 1990. Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea (south-western sea of Japan). *Korea. J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**(1): 36–48.
- Choi, J.W. and J.Y. Seo, 2007. Application of botic indices to assess the health condition of benthic community in Masan Bay, Korea. *Ocean Polar Res.*, **29**(4): 339–348.
- Choi, J.W., S.M. Hyun and M. Jang, 2003. The Summer benthic environmental conditions assessed by the functional groups of macrobenthic fauna in Gwangyang Bay, southern coast of Korea. *Env. Biol.*, **21**(2): 101–113.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petol.*, **27**: 3–26.
- Friligos, N. and A. Zenetos, 1988. Elefsis Bay anoxia: Nutrient conditions and benthic community structure. *Mar. Ecol.*, **9**(4): 273–290.
- Gray, J.S., 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **12**: 223–261.
- Gray, J.S., 1981. *The ecology of marine sediments*. Cambridge University Press, NY, 185pp.
- Gray, J.S., M. Ascan, M.R. Carr, K.R. Clarke, R.H. Green, T.H. Pearson, R. Rosenberg and R.M. Warwick, 1988. Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Frierfjord/ Langesundfjord and in a mesocosm Experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **46**: 151–165.
- Grizzle R.E., 1984. Pollution indicator species of macrobenthos in a coastal lagoon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **18**: 191–200.
- Grebmeier, J.M., H.M. Feder, and C.P. Mcroy, 1988. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**: 58–67.
- Hartley, J.P., 1982. Methods for monitoring Offshore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.*, **13**: 150–154.
- Henriksen, K., J.I. Hansen and T.H. Blackburn, 1980. The influence of benthic infauna on exchange rates of inorganic nitrogen between sediment and water. *Ophelia. Suppl.*, **1**: 249–256.
- Hong, J.S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in Chinhae Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**(4): 246–256.
- Hornig, C.Y. and G.L. Taghon, 1999. Effects of contaminated sediments on particle size selection by the polychaete *Capitella* sp. I. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **242**: 41–57.
- Jensen, K., 1986. Changes of the macrozoobenthos at 3 monitoring stations in the western Baltic Sea and Sound. *Hydrobiologia*, **142**: 129–135.
- Jung, R.H., 1998. Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea. Ph.D Thesis, Inha Univ., 1–304.
- Lampitt, R.S., D.S.M. Billett, and A. L. Rice, 1986. Biomass of the invertebrate megabenthos from the 500–4100 m in the northeast Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, **93**: 69–81.
- Lee, J.H., J.S. Hong and S.K. Yi, 1983. Studies on the benthic fauna in Garolim Bay, Korea - Subtidal soft-bottom community. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **18**(2): 111–116.
- Lim, K.H., J.H. Lee and H.C. Shin, 2006. Spatio-temporal distribution of benthic polychaetous community along the south-eastern coast of Geoje Is.. *Env. Biol.*, **24**(4): 392–407.
- Lim K.H. and H.C. Shin, 2005. Temporal and spatial distribution of benthic polychaetous community in the northern Jinhae Bay. *Env. Biol.*, **23**(3): 238–249.
- Lim, K.H., H.C. Shin, S.M. Yoon and C.H. Koh, 2007. Assessment of benthic environment based on macrobenthic community analysis in Jinhae Bay, Korea. 「The Sea」 *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **12**(1): 9–13.
- Long, B. and Lewis, 1987. Distribution and community structure of the benthic fauna of the north shore of the Gulf of st. Lawrence described by numerical methods of classification and ordination.

- Mar. Biol., **95**: 93–101.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 157–175.
- McCall, P.L. and M.J.S. Tevesz, 1982. Animal-sediment relations the biogenic alteration of sediments. Plenum press, New York, 1-336.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grassland. *Ecology*, **49**: 962–972.
- Park, H.S., J.W. Choi, J.G. Je and J.H. Lee, 1992. Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, **25**(2): 115–132.
- Park, H.S., R.S. Kang and J.H. Lee, 2006. Distribution patterns of the dominant macrobenthos and the benthic environments on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, (Special Issue): 214–222.
- Pearson, T. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **16**: 229–311.
- Peterson, C.H., 1979. Predation, competitive exclusion, and diversity in the soft-sediment benthic communities of estuary and lagoons. In: *Ecological processes in coastal marine systems*, (ed) R.J. Livingston, Plenum Press, NY., 233–264.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.*, **13**: 131–144.
- Phillips, D.J.H. and D.A. Segar, 1986. Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. *Mar. Pollut. Bull.*, **17**: 10–17.
- Rhoads, D.C., 1974. Organism-sediment relations on the muddy floor. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **12**: 263–300.
- Rhoads, D.C. and D. K. Young, 1970. The influence of deposit-feeding organism on the sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.*, **25**: 150–178.
- Rosenberg, R., 1975. Benthic faunal dynamics during succession following pollution abatement in a swedich estuary. *Oikos*, **27**: 414–427.
- Sanders, H.L., 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. *Limnol. Oceanogr.*, **3**(3): 245–258.
- Sanders, H.L., 1960. Benthic studies in Buzzards Bay. III. The structure of the soft-bottom community. *Limnol. Oceanogr.*, **5**: 138–153.
- Sanders, H.L., 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *Am. Nat.*, **102**: 243–282.
- Sanders, H.L., J.F. Grassle, G.R. Hampson, L.S. Morse, S. Garner-Price, and S.S. Jones, 1980. Anatomy of an oil spill: long-term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth, Massachusetts. *J. Mar. Res.*, **38**(2): 265–380.
- Seo J.Y., S.W. Park, J.H. Lee, and J.W. Choi, 2012. Structural changes in macrozoobenthic communities due to summer hypoxia in Gamak Bay, Korea. *Ocean Sci.*, **47**(1): 27–40.
- Seo J.Y., H.S. Lim, and J.W. Choi, 2014. Threshold value of benthic pollution index (BPI) for a muddy healthy benthic faunal community and its application to Jinhae Bay in the southern coast of Korea. *Ocean Sci.*, **49**(3): 313–328.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois press. Urbana, 177pp.
- Shin, H.C. and C.H. Koh, 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **25**(4): 205–216.
- Shin, H.C., J.W. Choi and C.H. Koh, 1989. Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter-and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, West coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 184–193.
- Shin, H.C., S.S. Choi and C.H. Koh, 1992a. Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil Bay, Southeastern Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 46–54.
- Shin H.C., S.G. Kang and C.H. Koh, 1992b. Benthic polychaete community in the southern area of Kyeonggi bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 164–172.
- Shin, S.H., B.J. Gu and J.G. Je, 2004. Spatial distribution of benthic macrofauna on the tidal flat of Garolim Bay, West Coast of Korea. *J. Kor. Wet. Soc.*, **6**(1): 57–72.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman, 1994. Animal sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **32**: 111–177.
- Tsutsumi H., T. Kikuchi, M. Tanaka, T. Higashi, K. Imasaka and M. Miyazaki, 1991. Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Mar. Poll. Bull.*, **23**: 233–238.
- Warwick, R.M. and R.J. Uncles, 1980. Distribution of benthic macrofauna associations in the bristol Channel in relation to tidal stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **3**: 97–103.
- Weston, D.P., 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **61**: 233–244.
- Wildish, D.J. and D.D. Kristmanson, 1979. Tidal energy and sublittoral macrobenthic animals in estuaries. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **36**: 1197–1206.
- Woodin, S.A., 1976. Adult-larval interactions in dense infaunal assemblage: Patterns of abundance, *J. Mar. Res.*, **34**: 25–41.
- Word, J.Q., 1978. The Infaunal Trophic Index. In: *Coastal Water Research Project. Ann. Rep.*, 19–39.

2014년 8월 21일 원고접수

2014년 9월 16일 수정본 접수

2014년 10월 16일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백