

가로림만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

정래홍* · 서인수**† · 이원찬*** · 김형철*** · 김정배*** · 최병미** · 윤재성** · 나종현**

*, *** 국립수산물과학원 어장환경과, ** (주)저서생물연구센터

Community Structure and Health Assessment of Macrobenthic Assemblages at Spring and Summer in Garorim Bay, West Coast of Korea

Rae-Hong Jung* · In-Soo Seo**† · Won-Chan Lee*** · Hyung-Chul Kim*** · Jeong-Bae Kim***
· Byoung-Mi Choi** · Jae-Seong Yun** · Jong-Hun Na**

*, *** Marine Environment Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

** Korea Benthos Research Center, Co. Ltd. 14, Suyeong-ro 366 beon-gil, Nam-gu, Busan 608-804, Korea

요 약 : 본 연구는 가로림만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 건강도를 평가하는데 목적이 있다. 대형저서동물의 채집을 위한 현장조사는 2012년 5월(이하 춘계)과 7월(이하 하계)에 실시하였다. 가로림만에서는 총 247종 4.4 m²과 35,745개체(1,625개체 m⁻²)의 대형저서동물이 출현하였고, 다모류가 120종과 27,310개체(1,241개체 m⁻²)의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다. 가로림만의 주요 우점종은 다모류의 작은사슴갯지렁이(*Ampharete arctica*), 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), *Mediomastus californiensis* 및 *Euclymene oerstedii* 등이었다. 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 파악한 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개로 구별되었고, 조립질 퇴적물(그룹 1과 2)과 혼합 및 세립질 퇴적물(그룹 3)이 우세한 정점군으로 나뉘었다. 가로림만의 건강도를 평가한 결과, BPI지수는 춘계와 하계에 공통적으로 가장 양호한 상태(high status; normal)를 나타낸 반면, AMBI지수는 양호한 상태(good status; slightly polluted)를 반영하고 있었다. 따라서 가로림만의 건강도는 양호한 상태를 나타내는 것으로 판단할 수 있었다.

핵심용어 : 대형저서동물 군집구조, 건강도 평가, BPI, AMBI, 가로림만

Abstract : This study was performed to investigate the community structure and health assessment of macrobenthic assemblages in Garorim Bay, West Coast of Korea. Macrobenthos were collected by van Veen grab sampler at May(spring) and July(summer) 2012. A total of 247 species occurred and mean density was 1,625 ind. m⁻², both of which were dominated by annelid polychaetes(120 species and 1,241 m⁻²). Dominant species were the polychaetes *Ampharete arctica*, *Lumbrineris longifolia*, *Mediomastus californiensis* and *Euclymene oerstedii*, with a density of 445(±1,837 ind. m⁻²), 103(±148 ind. m⁻²), 55(±83 ind. m⁻²) and 50(±104 ind. m⁻²), respectively. The study area was divided into 3 station group based on the cluster analysis and nMDS ordination. These assemblage were : 1)the group 1 and 2 were associated with coarse sediment dominated stations and 2)the group 3 was connected with a mixed and fine sediment dominated stations group. The BPI and AMBI index were applied to assess the benthic ecological status. The ecological status of the Garorim Bay was "good status(slightly polluted)" to "high status(normal)" at most sampling stations during spring and summer. In conclusion, the two marine biotic index calculated shown that the Garorim Bay had a good ecological status.

Key Words : Macrobenthos community structure, Health assessment, BPI, AMBI, Garorim Bay

* First Author : rhjung@korea.kr, 051-720-2530

† Corresponding Author : seois@pknu.ac.kr, 051-626-3950

1. 서론

가로림만은 황해 중부해역의 태안반도 북쪽에 위치한 111.9 km² 면적의 반폐쇄성 만으로 남북방향 25.0 km에, 만의 입구 폭이 2.1 km인 호리병 모양이다(MOMAF, 2006). 가로림만은 동, 서 및 남쪽으로 충청남도 태안군과 서산시에 둘러싸여 있고, 만의 내부에는 고파도 및 용도 등의 유인도와 울도 및 조도 등의 무인도가 존재한다. 한편 가로림만은 최대 7.9 m의 조석차로 인해 형성된 약 80.0 km²의 갯벌이 비교적 잘 보전되어 있다. 또한 가로림만은 참굴(*Crassostrea gigas*) 및 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 등의 수산자원이 풍부하고, 만 내부에는 양식어장이 발달해 있다. 특히 수산업적으로 동계에 산란한 흰베도라치(*Pholis fangi*) 및 까나리(*Ammodytes personatus*)의 성육장인 동시에 송어(*Mugil cephalus*), 전어(*Konosirus punctatus*) 및 가자미류의 산란과 섭이를 위한 장소로 이용되고 있다(KEI, 2011). 최근에는 천연기념물 331호 및 보호대상해양생물인 잔점박이물범(*Phoca largha*)의 서식도 확인된 바 있다. 이러한 이유로 가로림만은 환경가치 1위로 평가된 해역이기도 하다(MOMAF, 2007).

한편 대형저서동물은 생활사 전반을 통해서 행동학적으로 이동성이 적거나 또는 정주성이 강하기 때문에 급성 또는 만성적인 서식처 교란에 반응하여 능동적으로 도피하는데 한계가 있다. 또한 개체의 수명이 상대적으로 길기 때문에 환경변화의 정도를 비교적 잘 반영하는 생물군이다(Dauer et al., 2000). 이렇듯 대형저서동물은 환경교란에 반응하는 내성의 정도차이가 개체(군)별로 매우 다양하여 군집의 생태학적 천이과정과 건강도를 잘 표현함과 동시에 매질과 기질사이의 영양염 순환과 상위 영양단계의 생물에게 에너지 전달자로서 물질순환의 측면에서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다(Diaz et al., 2004; Dauvin et al., 2007). 따라서 대형저서동물의 출현 종수, 개체수 및 군집구조는 해역의 구조적 안정성 및 건강도 평가와 함께 환경교란의 감시인자로서 매우 중요한 생태학적 지위를 가지고 있다(Parker, 1975; Rosenberg and Nilson, 2005; Wildsmith et al., 2009).

지금까지 해양생태계를 대상으로 서식처 교란에 따른 대형저서동물 군집의 변화정도를 파악하기 위하여 출현 종수, 개체수 및 생태학적 지수 등을 이용한 단변량 분석과 다양한 그래픽 분석법(SAB curve, Rank-Frequency diagram, ABC method)이 이용되어 왔다(Pearson and Rosenberg, 1978; Gray, 1981; Warwick and Clarke, 1994). 그러나 최근에 이르러 생물학적 지수를 이용한 새로운 방법들이 꾸준히 개발 및 소개되고 있어 국외에서는 AMBI(ATZI's Marine Biotic Index, Borja et al., 2003), B-IBI(Benthic Index of Biotic Integrity, Weisberg et al., 1997), BQI(Benthic Quality Index, Rosenberg et

al., 2004)지수 등이, 국내에서는 BPI(Benthic Pollution Index, Choi et al., 2003)와 ISEP(Inverse function of Shannon-Wiener Evenness Proportion, Yoo et al., 2010)지수 등이 대표적으로 적용 중에 있다. 우리나라의 경우에도 BPI와 ISEP지수가 정부주관의 사업에 대표적으로 이용되고 있으나, 일반화 또는 상용화라는 관점에서는 아직 고려해야 할 점이 있는 것이 사실이다. 한편 본 연구해역에서 대형저서동물을 대상으로 한 연구들로는 갯벌을 대상으로 한 공간분포(Shin et al., 2004)와 조하대 해역을 대상으로 하는 군집(Lee et al., 1983) 및 저서다모류 군집(Wi, 2008)에 한정되어 수행된 바 있다. 본 연구는 가로림만의 저서생태계에 대한 기초자료의 확보를 목표로 해역에 서식하는 대형저서동물 군집의 춘계와 하계 조사를 통하여 생물다양성, 개체수 및 군집구조를 파악하고, 건강도를 평가하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 현장조사

연구해역의 조하대에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 개체수, 군집구조 및 건강도 등을 파악하기 위하여 2012년 5월(이하 춘계)과 7월(이하 하계)에 공통적으로 11개 정점을 대상으로 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 채집면적이 0.1 m²인 채니기(van Veen grab sampler)를 이용하여 정점 당 2회(0.2 m²)의 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 10%의 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시하였고, 개체수를 계수하였다. 한편 연구해역의 환경요인은 대형저서동물의 채집과 동시에 실시하였고, 수질항목으로는 저층수의 수온, 염분농도 및 용존산소농도를, 퇴적물항목으로는 평균입도(mean phi), 분급도(sorting value), 자갈·모래·펄함량, 강열감량(Ignition Loss), 총탄소함량(Total Organic Carbon) 및 산화발성황화물(Acid Volatile Sulfide)농도를 대상으로 하였다. 또한 측정된 환경요인은 출현 종수 및 개체수와 관련성을 파악하기 위하여 SPSS program을 이용하여 상관분석(Spearman rank correlation coefficient)을 실시하였다.

2.2 군집분석

대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여, 종 다양도(Shannon and Weaver, 1949)와 균등도(Pielou, 1977)지수를 구하였다. 한편 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 Bray and Curtis(1957)의 유사도지수(similarity index)를 이용하였고, 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 적용하였다. 군집분석은

가로림만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

PRIMER(Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram)와 다차원배열법(nMDS ordination)으로 나타내었다(Clarke and Warwick, 2001). 우점종은 출현 개체수를 기초로 선정하였다.

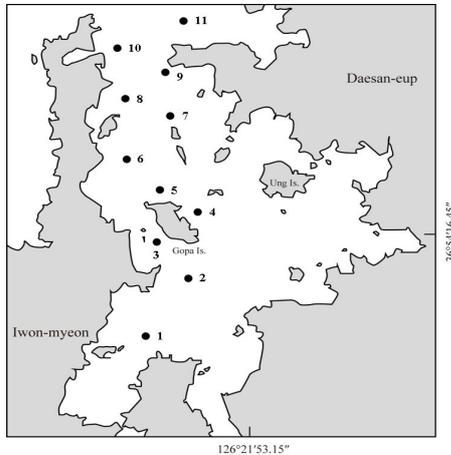


Fig. 1. Location of sampling stations in Garorim Bay, West Coast of Korea.

2.3 건강도

연구해역 저서생태계의 건강도를 평가하기 위하여, 해역에 서식하는 대형저서동물의 자료를 기초로 BPI와 AMBI지수를 산출하였다. 건강도 지수의 식은 아래와 같다.

$$1) BPI = [1 - (a \times n1 + b \times n2 + c \times n3 + d \times n4) / n3] \times 100$$

$$\therefore N = n1 + n2 + n3 + n4$$

n1=여과식자 및 대형육식자의 출현량

n2=표층퇴적물식자 또는 소형육식자의 출현량

n3=표층하퇴적물식자의 출현량

n4=오염지시종 또는 기회종의 출현량

a, b, c, d=섭식군의 가중치(a=0, b=1, c=2, d=3)

결과 값은 $0 < BPI < 100$ 의 범위를 나타내며, 값이 높아질수록 환경상태가 양호함을 의미한다(Table 1).

$$2) AMBI = [0 \times \%GI + 1.5 \times \%GII + 3.0 \times \%GIII + 4.5 \times \%GIV + 6.0 \times \%GV / N]$$

$$\therefore N = GI + GII + GIII + GIV + GV$$

GI=유기물 증가에 매우 민감한 종(정상환경에서만 출현하며, 특정 육식자와 서관을 가진 식자를 포함함)

GII=유기물 증가에 둔감한 종(정상환경에서 낮은 밀도를 가지는 종으로, 여과식자, 일반적인 육식자 및 부식자를 포함함)

GIII=유기물 증가에 내성이 강한 종(표층퇴적물식자로 얼굴갯지렁이류(Spionidae)등이 포함됨)

GIV=2차 기회종(표층하퇴적물식자로 실타래갯지렁이류

(Cirratulidae)등이 포함됨)

GV=1차 기회종(현저한 불균형 환경상태의 종으로 환원환경의 퇴적물에서 번성하는 퇴적물식자를 포함함)

결과 값은 $0 < AMBI < 6$, =7은 무생물조건을 나타내며, 값이 높을수록 환경상태가 불량함을 의미한다(Table 1).

한편 본문에서 건강도는 유럽연합에서 제시하는 바와 같이 high(가장 양호)와 good(양호)은 양호한 환경상태를, moderate는 중간상태를, poor(불량)와 bad(가장 불량)는 불량한 환경상태를 반영하는 것으로 고려하고 있다(ECJRC, 2008).

Table 1. Classification criteria of each biotic indices from Choi and Seo(2007)^{*}, Borja et al.(2003)^{**} and ECJRC(2008)^{***}

Condition / Index	BPI [*]	AMBI ^{**}	Ecological status ^{***}
Normal(unpolluted)	$BPI \geq 60$	$0 < AMBI \leq 1.2$	H(high)
Slightly polluted	40-60	$1.2 < AMBI \leq 3.3$	G(good)
Moderately(meanly) polluted	30-40	$3.3 < AMBI \leq 4.3$	M(moderate)
Highly(heavily) polluted	20-30	$4.3 < AMBI \leq 5.5$	P(poor)
Very high(extremely) polluted or Azoic	$BPI \leq 20$	$5.5 < AMBI \leq 7.0$	B(bad)

3. 결과

3.1 환경요인

연구해역에서 저층수의 수온은 춘계와 하계에 각각 8.81~14.23 °C(평균 11.04±2.06 °C)와 21.88~25.00 °C(평균 22.95±1.05 °C)의 범위를 나타내었다. 염분농도는 춘계에 최소 32.32 psu에서 최대 32.46 psu를 나타내었고, 평균값은 32.39(±0.04) psu이었다. 또한 하계에도 32.32~32.69 psu(평균 32.44±0.12 psu)의 범위를 보였다. 용존산소량은 춘계에 최소 9.62 mg L⁻¹에서 최대 10.22 mg L⁻¹를 나타내었고, 평균값은 9.88±0.21 mg L⁻¹이었다. 반면 하계에는 5.58~7.51 mg L⁻¹(평균 6.58±0.63 mg L⁻¹)의 범위를 보여 매우 감소하였다(Table 2). 한편 퇴적물의 자갈함량은 춘계와 하계에 각각 평균 3.0%(0.0~19.3%)와 4.0%(0.0~13.4%)를 나타내었다. 이 중 춘계에는 정점 3, 10과 11에서, 하계에는 정점 2, 4, 5, 6, 10과 11에서 소량의 자갈이 포함되어 있었다. 모래함량은 춘계와 하계에 각각 30.7~97.7%(평균 66.2%)와 30.1~88.4%(평균 64.2%)의 범위를 나타내었다. 조사시기 및 정점별로 춘계에는 3, 4, 7 및 9~11에서, 하계에는 4, 5 및 7~11에서 60.0% 이상을 점유하여 만의 중앙부에 위치한 고파도 인근해역, 사구해역과 만 입구부해역에서 높았다. 반면 펄함량은 춘계에 평균 30.9%(2.3~69.2%)를, 하계에 평균 31.8%(4.6~66.0%)의 수치를 보여 만의 안쪽에서 비교적 높았다. 평균입도는 춘계에 최소 0.2ϕ에서 최대

5.20의 범위에 평균값은 3.0±2.00이었다. 하계에는 0.7~5.40의 범위에 평균 3.1±1.60를 나타내었다. 분급도는 춘계에 1.4~3.20(평균 2.2±0.60)의 범위를, 하계에 2.2~7.60(평균 3.9±1.50)의 범위를 보여 전체적으로 매우 불량한 분급도(very poorly sorted)를 나타내었다. 결국 가로림만은 일부 정점에서 펄 또는 모래함량이 극단적으로 높은 양상을 보이고 있으나, 분급도를 기초로 고려한다면 이질적인 퇴적물이 우세하게 분포하는 해역으로 고려할 수 있다. 퇴적물의 강열감량은 춘계와 하계에 각각 0.59~5.05%(평균 2.48±1.55%)와 0.40~3.41%(평균 1.60±1.06%)의 범위를 나타내었다. 총탄소함량은 춘계에 0.04~0.49%(평균 0.29±0.17%)를, 하계에 0.05~1.88%(평균 0.47±0.49%)의 범위를 보였다. 산화발생량화물농도는 춘계에 최소 0.000 mg g⁻¹ dry wt.에서 최대 0.074 mg g⁻¹ dry wt.를 나타내었고, 평균값은 0.022±0.027 mg g⁻¹ dry wt.이었다. 하계에도 최소 0.000 mg g⁻¹ dry wt.에서 최대 0.044 mg g⁻¹ dry wt.(평균 0.012±0.017 mg g⁻¹ dry wt.)의 범위를 보였다(Table 2). 이상에서와 같이 본 연구해역에서 대형저서동물의 출현종수 및 개체수와 환경요인과의 상관관계를 파악한 결과, 출현종수와 개체수는 공통적으로 펄함량, 평균입도 및 강열감량과는 양의 상관관계를, 반대로 모래함량과는 음의 상관관계를 나타내었다(Table 3).

3.2 출현 종수 및 개체수

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 247종 4.4 m²과 35,745 개체(1,625개체 m²)이었다(Table 4). 출현종수에 있어서는 환형동물의 다모류와 절지동물의 갑각류가 각각 120종과 85종이 출현하여 전체의 48.58%와 34.41%를 점유하였고, 다음으로 연체동물이 27종, 10.93%를 차지하였다. 이 외에 기타동물군과 극피동물은 각각 8종과 7종이 채집되어 3.24%와 2.83%를 나타내 점유율이 매우 낮았다. 조사시기에 따라서는 춘계와 하계에 공통적으로 177종 2.2 m²이 출현하여 동일하였으나, 평균 출현종수는 춘계와 하계에 각각 45종(±33종)과 40종(±28종)이 출현하여 차이가 있었다(Fig. 2). 한편 조사정점에 따른 평균 출현종수는 9~91종 m²의 범위에 정점 7에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았다. 이 외에 정점 3, 5와 8에서 각각 65종 m², 71종 m² 및 70종 m²이 출현하여 상대적으로 다양하였다(Fig. 3). 출현 개체수에 있어서도 다모류는 27,310개체의 밀도를 나타내 전체의 76.40%를 점유하였고, 다음으로 갑각류, 연체동물 및 극피동물의 순서로 각각 4,880개체(13.65%), 1,845개체(5.16%) 및 1,215개체(3.40%)가 채집되었다. 이 외에 기타동물군은 495개체가 출현하여 1.38%로 점유율이 매우 낮았다. 조사시기별로는 출현종수의 경향과는 차이를 보여 춘계와 하계에 각각 12,705개체 11 m²(평균 1,155±1,029개체)와 23,040개체 11 m²(평균

2,095±3,418개체)가 채집되어 하계에 약 1.5배 이상 밀도가 증가하였다(Fig. 2). 조사정점에 따른 평균 출현 개체수는 최소 248개체 m²(정점 10)에서 최대 7,293개체 m²(정점 6)의 범위를 나타내었고, 이 밖에 정점 3과 8에서 각각 2,120개체 m²와 2,348개체 m²가 채집되어 상대적으로 많았다(Fig. 3). 이상을 종합하면, 조사시기에 따라 출현종수는 춘계에, 개체수는 하계에 상대적으로 많았다. 또한 조사정점별 출현종수 및 개체수는 공통적으로 정점 2, 3, 5, 6 및 8에서 높았다.

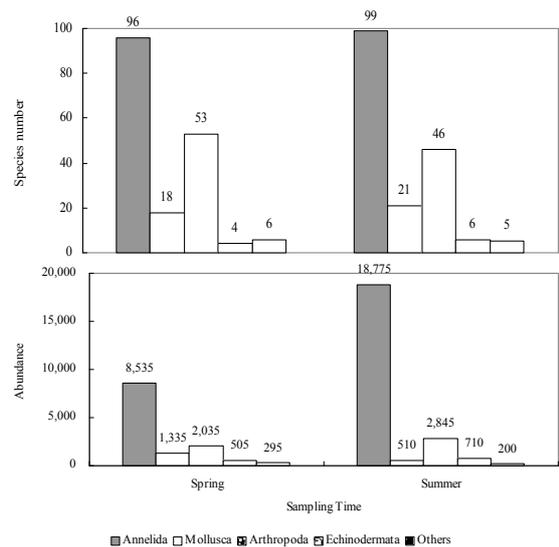


Fig. 2. Temporal variations of total species number and abundance of macrobenthic animals in Garorim Bay, West Coast of Korea.

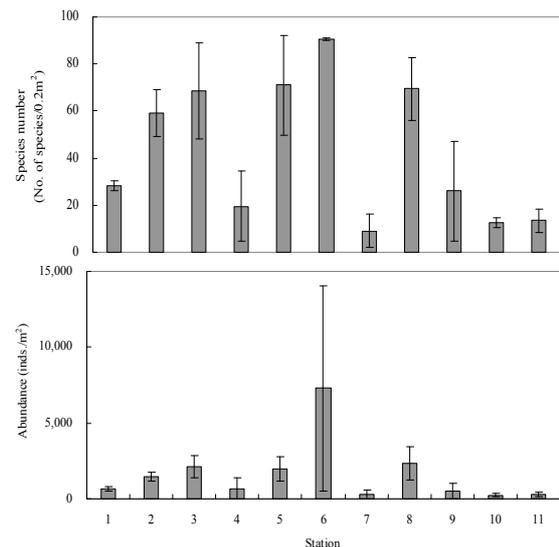


Fig. 3. Spatial variations of mean species number and abundance of macrobenthic animals in Garorim Bay, West Coast of Korea.

가로림만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

Table 2. Summary of physical and sedimental parameters at each station in Garorim Bay, West Coast of Korea(S, spring; Su, summer)

Station	Bottom Water Temperature (°C)		Bottom Water Salinity (psu)		Bottom Dissolved Oxygen (mg L ⁻¹)		Gravel (%)		Sand (%)		Mud (%)		Mean phi (Ø)		Sorting Value (Ø)		Ignition Loss (%)		Total Organic Carbon (%)		AVS (mg g ⁻¹ dry wt.)	
	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su
1	14.23	25.00	32.32	32.39	9.80	5.58	0.0	0.0	34.6	34.0	65.4	66.0	5.2	5.4	2.4	5.0	3.12	1.78	0.44	0.46	0.009	0.006
2	14.02	24.46	32.38	32.38	9.62	5.66	0.0	13.0	45.8	30.1	54.2	56.9	4.8	4.2	2.5	4.6	3.30	2.95	0.32	0.48	0.074	0.010
3	12.30	23.40	32.38	32.32	9.77	6.16	6.9	0.0	78.2	48.6	14.9	51.4	2.1	5.0	2.8	3.0	3.17	3.41	0.13	0.44	0.010	0.044
4	12.14	23.52	32.41	32.62	9.84	6.40	0.0	6.3	97.7	85.6	2.3	8.1	1.2	0.7	1.4	2.2	1.70	0.40	0.43	1.88	0.000	0.000
5	12.39	22.93	32.41	32.33	9.88	6.31	2.6	6.0	30.7	82.5	66.7	11.5	5.1	1.8	3.2	4.3	5.05	1.70	0.49	0.22	0.000	0.000
6	10.30	22.69	32.46	32.69	9.65	6.49	0.0	3.7	30.8	58.1	69.2	38.1	5.0	3.4	2.4	3.6	4.11	1.18	0.46	0.25	0.046	0.026
7	10.28	22.53	32.38	32.38	9.90	7.16	0.0	0.0	96.4	62.3	3.6	37.7	1.6	3.9	1.5	2.7	0.81	0.99	0.04	0.05	0.063	0.000
8	8.94	22.07	32.38	32.48	10.19	7.05	0.0	0.0	49.4	62.5	50.6	37.5	4.8	3.3	2.6	3.3	3.64	2.94	0.37	0.37	0.000	0.003
9	9.08	22.08	32.46	32.46	9.67	7.07	0.0	0.0	92.8	88.4	7.2	11.6	1.8	3.4	1.4	2.6	0.81	0.57	0.05	0.09	0.014	0.039
10	8.81	21.88	32.37	32.46	10.22	6.98	4.1	2.3	92.9	71.3	3.0	26.4	1.2	2.5	1.5	3.5	0.59	0.78	0.25	0.53	0.000	0.000
11	8.90	21.94	32.38	32.36	10.12	7.51	19.3	12.5	78.4	82.9	2.4	4.6	0.2	0.8	1.8	7.6	0.98	0.86	0.18	0.42	0.032	0.000
Minimum	8.81	21.88	32.32	32.32	9.62	5.58	0.0	0.0	30.7	30.1	2.3	4.6	0.2	0.7	1.4	2.2	0.59	0.40	0.04	0.05	0.000	0.000
Maximum	14.23	25.00	32.46	32.69	10.22	7.51	19.3	13.0	97.7	88.4	69.2	66.0	5.2	5.4	3.2	7.6	5.05	3.41	0.49	1.88	0.074	0.044
Average	11.04	22.95	32.39	32.44	9.88	6.58	3.0	4.0	66.2	64.2	30.9	31.8	3.0	3.1	2.2	3.9	2.48	1.60	0.29	0.47	0.022	0.012

Table 3. Spearman rank correlation coefficient within the environmental and biological parameters(*p<0.05, **p<0.01)

Index	SP	ABU	WT	SA	DO	Gravel	Sand	Mud	MP	SV	IL	TOC	AVS
Species number(SP)	1.000	0.955**	0.151	0.175	-0.191	0.027	-0.608*	0.638**	0.483*	0.353	0.680**	0.211	0.138
Abundance(AB)	0.955**	1.000	0.278	0.199	-0.310	0.117	-0.632*	0.616**	0.442*	0.439*	0.650**	0.262	0.095
Water Temperature(WT)	0.151	0.278	1.000	0.082	-0.937*	0.080	-0.346	0.368	0.293	0.685**	-0.019	0.368	-0.078
Salinity(SA)	0.175	0.199	0.082	1.000	-0.177	-0.124	0.069	0.031	-0.074	-0.075	-0.233	0.155	0.036
Dissolved Oxygen(DO)	-0.191	-0.310	-0.937*	-0.177	1.000	-0.062	0.311	-0.334	-0.241*	-0.665*	0.051	-0.344	-0.040
Gravel	0.027	0.117	0.080	-0.124	-0.062	1.000	0.071	-0.295	-0.510*	0.296	-0.222	0.133	-0.263
Sand	-0.608*	-0.632*	-0.346	0.069	0.311	0.071	1.000	-0.944*	-0.841*	-0.504*	-0.756*	-0.515*	-0.163
Mud	0.638**	0.616**	0.368	0.031	-0.334	-0.295	-0.944*	1.000	0.939**	0.439*	0.724**	0.480*	0.197
Mean phi(MP)	0.483*	0.442*	0.293	-0.074	-0.241*	-0.510*	-0.841*	0.939**	1.000	0.336	0.706**	0.330	0.227
Sorting Value(SV)	0.353	0.439*	0.685**	-0.075	-0.665*	0.296	-0.504*	0.439*	0.336	1.000	0.232	0.321	-0.209
Ignition Loss(IL)	0.680**	0.650**	-0.019	-0.233	0.051	-0.222	-0.756*	0.724**	0.706**	0.232	1.000	0.289	0.175
Total Organic Carbon(TOC)	0.211	0.262	0.368	0.155	-0.344	0.133	-0.515*	0.480*	0.330	0.321	0.289	1.000	-0.306
Acid Volatile Sulfide(AVS)	0.138	0.095	-0.078	0.036	-0.040	-0.263	-0.163	0.197	0.227	-0.209	0.175	-0.306	1.000

Table 4. Total species number, abundance and ecological indices(diversity and evenness) in Garorim Bay, West Coast of Korea (parenthesis refer to mean species number(0.2m²) and density(m⁻²))

Component / Time	May	July	Total
Total Species number	177(45)	177(40)	247(43)
Annelida	96	99	120
Mollusca	18	21	27
Taxa			
Arthropoda	53	46	85
Echinodermata	4	6	7
Others	6	5	8
Total Abundance	12,705(1,155)	23,040(2,095)	35,745(1,625)
Annelida	8,535	18,775	27,310
Mollusca	1,335	510	1,845
Taxa			
Arthropoda	2,035	2,845	4,880
Echinodermata	505	710	1,215
Others	295	200	495
Ecological indices			
Diversity	1.33~3.72 (2.77)	1.62~3.43 (2.54)	
Evenness	0.67~0.96 (0.82)	0.36~0.89 (0.75)	

3.3 우점종

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 기초로 상위 우점종을 선정하였다. 분류군별로는 다모류가 9종으로 가장 많았고, 극피동물은 1종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 보면, 다모류의 작은사슴갯지렁이(*Ampharete arctica*), 긴자락송곳지렁이(*Lumbrineris longifolia*), *Mediomastus californiensis*, *Euclymene oerstedii*, 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*), 극피동물의 순양거미불가사리(*Amphioplus japonicus*), 다모류의 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*), 민코별난가시갯지렁이(*Cirrophorus armatus*), *Protodorvillea egena* 및 고리사슴갯지렁이(*Amphisamytha japonica*) 등이었다. 이 중 작은사슴갯지렁이와 긴자락송곳지렁이는 각각 9,780개체, 27.36%와 2,275개체, 6.36%를 점유하여 단일 종으로 가장 우점하는 생물이었다(Table 5). 한편 주요 우점종의 시·공간 분포를 보면, 작은사슴갯지렁이는 춘계와 하계에 각각 255개체(23 ± 42 개체 m^{-2})와 9,525개체($866 \pm 2,587$ 개체 m^{-2})가 출현하여 하계에 밀도가 매우 증가하였다. 조사정점에 따라서는 최소 평균 3개체 m^{-2} (정점 4)에서 최대 4,343개체 m^{-2} (정점 6)의 범위를 나타내었다. 이 외에도 정점 8에서 평균 320개체 m^{-2} 가 채집되었고, 정점 7, 9, 10 및 11에서는 출현하지 않았다. 다음으로 긴자락송곳지렁이는 조사시기별로 춘계에는 1,540개체(140 ± 174 개체 m^{-2})가, 하계에는 735개체(67 ± 113 개체 m^{-2})가 채집되어 춘계에 밀도가 높았다. 조사정점별로는 정점 1, 4, 7, 10 및 11에서는 출현하지 않은 가운데 평균 43~413개체 m^{-2} 의 범위에 정점 5에서 가장 적었고, 정점 3에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 2와 6에서 각각 평균 218개체 m^{-2} 와 208개체 m^{-2} 가 채집되어 상대적으로 많았다. *M. californiensis*는 춘계와 하계에 각각 695개체(63 ± 90 개체 m^{-2})와 505개체(46 ± 77 개체 m^{-2})가

채집되어 춘계에 개체수가 많았으나, 그 밀도차이는 크지 않았다. 조사정점에 따라서는 최소 평균 10개체 m^{-2} (정점 9)에서 최대 180개체 m^{-2} (정점 8)의 범위를 나타내었고, 정점 7, 10 및 11에서는 출현하지 않았다. 다음으로 *E. oerstedii*는 춘계에는 290개체(26 ± 70 개체 m^{-2})가, 하계에는 805개체(73 ± 129 개체 m^{-2})가 채집되어 하계에 밀도가 높았다. 조사정점별로는 평균 3~213개체 m^{-2} 의 범위에 정점 4에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았다. 이 외에 정점 1, 7, 9, 10 및 11에서는 출현하지 않았다(Fig. 4).

3.4 생태학적 제 지수 및 군집구조

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 기초로 종 다양도와 균등도 지수를 구하였다. 종 다양도는 춘계와 하계에 각각 1.33~3.72(평균 2.77 ± 0.91)와 1.62~3.43(평균 2.54 ± 0.68)의 범위를 나타내었다. 조사정점에 따른 평균 다양도 수치는 최소 1.63(정점 4)에서 최대 3.52(정점 5)의 범위를 보였고, 이 외에 정점 2, 3과 8에서 각각 평균 3.26, 3.42 및 3.38의 값을 나타내 높았다. 다음으로 균등도는 춘계에 0.67~0.96의 범위에 평균값은 0.82 ± 0.08 이었고, 하계에는 0.36~0.89의 범위에 평균 0.75 ± 0.16 을 나타내었다. 조사정점별 평균 균등도 수치는 최소 0.59(정점 6)에서 최대 0.91(정점 7)의 범위를 보였다. 이 밖에 정점 4에서 0.60의 값을 나타내 상대적으로 낮았다. 이렇듯 정점 4와 6에서의 낮은 균등도 수치는 다모류의 *P. egena*와 작은사슴갯지렁이의 대량 출현에 그 원인이 있었다(Fig. 5). 한편 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물 군집구조 분석을 실시하였다. 분석에서는 총 380개체 이상(출현 밀도의 1.00% 이상)의 밀도를 나타낸 18종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 원자료는 $\log(X+1)$ 로 변환하였다. 또한 하계의 정점 9는 선정된

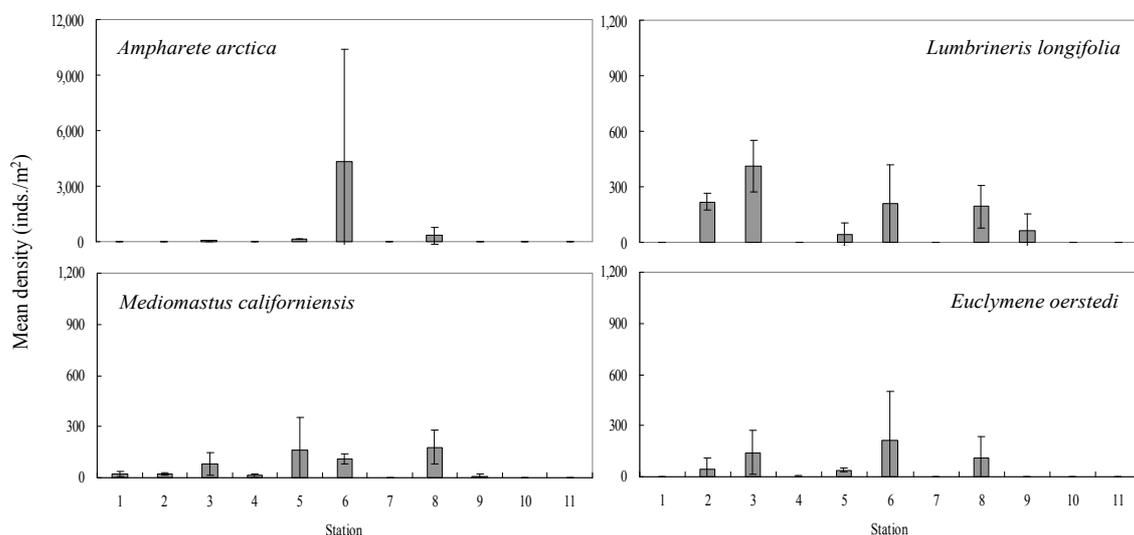


Fig. 4. Spatial variations of dominant species in Garorim Bay, West Coast of Korea.

18종에 단 1종도 포함되지 않아 분석에서 제외하였다. 그 결과, 크게 3개의 그룹과 2개의 정점(춘계의 정점 4와 7)으로 구분되었다. 이 중, 그룹 1은 하계의 정점 7, 춘계와 하계의 정점 10과 11이 포함되었고, 그룹 2는 하계의 정점 4와 5가 속해 있었다. 마지막으로 그룹 3은 2개의 정점과 그룹에 포함된 정점을 제외한 대부분의 정점들로 구성되었다. 한편 2개의 정점으로 분리된 춘계의 정점 4와 7은 전반적으로 생물다양성이 낮았고, 분석에 포함된 출현 종의 밀도도 비교적 빈약한 정점이었다. 이를 제외하면, 그룹 1에서는 반다리미갯지렁이(*Hemipodus yenourensis*)가 특징적으로 많았던 반면, 그룹 2와 3에서는 각각 민코별난가시갯지렁이, *P. egena*와 작은사슴갯지렁이, 긴자락송곳지렁이, 오뚜기갯지렁이, 남방백금갯지렁이 및 순양거미불가사리가 우점하였다(Fig. 6).

3.5 건강도

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 먹이식성을 기초로 계산한 BPI지수 값을 보면, 춘계에는 48~96의 범위에 평균값은 68이었다. 정점 3에서 가장 낮았고, 정점 11에서 가장 높았다. 또한 하계에도 최소 41(정점 2)에서 최대 94(정점 10)의 범위에 평균값은 69를 나타내었다. 따라서 연구해역의 BPI 지수는 평균값에 있어 춘계와 하계에 공통적으로 가장 양호한 상태(high status; normal)를 나타내었다. 한편 대형저서동물의 민감도(내성도)를 기초로 산출된 AMBI지수 값을 보면, 춘계에는 1.45~2.48의 범위에 평균값은 1.85이었다. 정점 11에서 가장 낮았고, 정점 1에서 가장 높았다. 또한 하계에는 0.72~3.20(평균 1.96)의 범위에 정점 4에서 가장 낮았고, 정점 9에서 높았다. 이 밖의 정점들에서는 1.49~2.36의 범위를 보

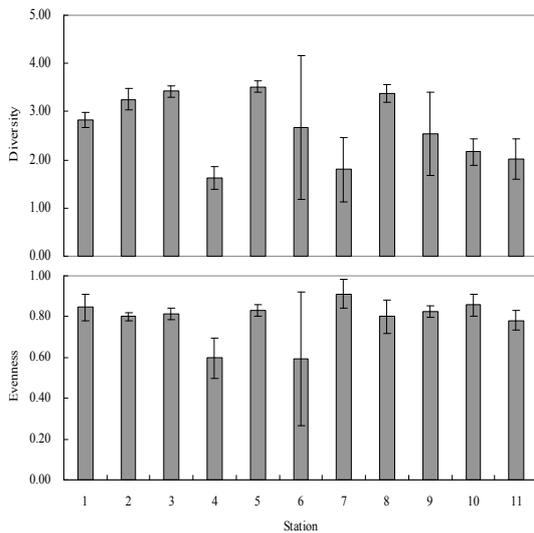


Fig. 5. Spatial variations of diversity and evenness of macrobenthos in Garorim Bay, West Coast of Korea.

여 정점 간의 차이가 상대적으로 크지 않았다. 따라서 가로림만 해역은 AMBI지수의 평균값에 있어서 양호한 상태 (good status; slightly polluted)를 나타내었다(Table 6).

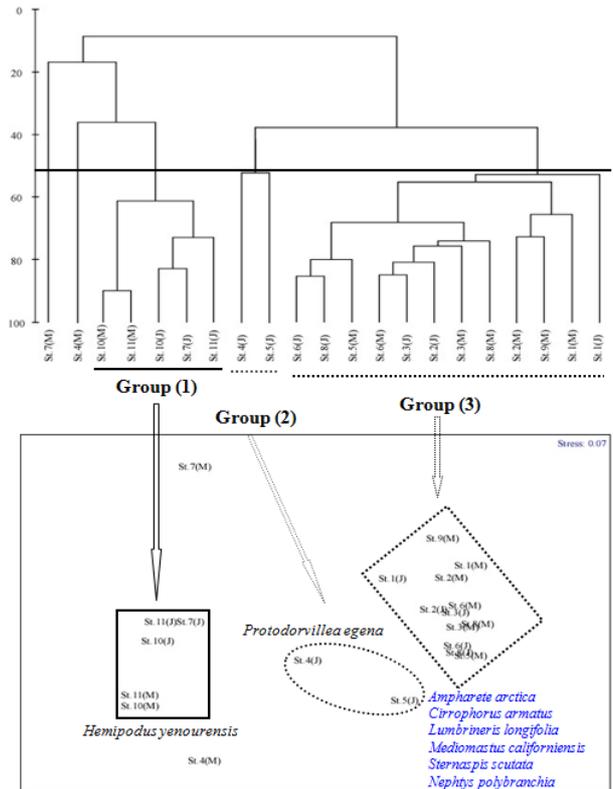


Fig. 6. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional MDS configuration (lower) using group average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the log(X+1) transformed abundance data in Garorim Bay, West Coast of Korea (M, Spring; J, Summer).

4. 고찰

4.1 환경요인 및 생물지수(출현 종수 및 개체수)

연구해역에서 저층수의 수온과 염분농도는 춘계와 하계에 각각 평균 11.04 °C, 22.95 °C와 32.39 psu와 32.44 psu를 나타내 수온은 계절변화 양상을 나타낸 반면, 염분농도는 조사 시기에 따라 차이가 없었다. 그러나 용존산소량은 춘계와 하계에 각각 평균 9.88 mg L⁻¹과 6.58 mg L⁻¹의 범위를 보여 하계에 상대적으로 낮았다. 특히 하계에 만의 가장 안쪽에 위치한 정점 1과 2에서 각각 5.58 mg L⁻¹과 5.66 mg L⁻¹의 수치를 나타내 상대적으로 낮았으나, 연구해역의 수질환경 조건은 전반적으로 양호하다고 판단된다. 반면 퇴적환경에서는 춘

Table 5. The top 10 dominant species raking based on abundance data in Garorim Bay, West Coast of Korea

Rank	Taxa	Species name / Sampling Time	Density (mean ind./m ²)			Proportion (%)
			Spring	Summer	Total	
1	APOL	<i>Ampharete arctica</i>	255	9,525	9,780(445±1,837)	27.36
2	APOL	<i>Lumbrineris longifolia</i>	1,540	735	2,275(103±148)	6.36
3	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	695	505	1,200(55±83)	3.36
4	APOL	<i>Euclymene oerstedii</i>	290	805	1,095(50±104)	3.06
5	APOL	<i>Sternaspis scutata</i>	465	530	995(45±76)	2.78
6	EOP	<i>Amphioplus japonicus</i>	390	555	945(43±122)	2.64
7	APOL	<i>Nephtys polybranchia</i>	725	80	805(37±59)	2.25
8	APOL	<i>Cirrophorus armatus</i>	150	605	755(34±80)	2.11
9	APOL	<i>Protodorvillea egena</i>	-	740	740(34±152)	2.07
10	APOL	<i>Amphisamytha japonica</i>	330	385	715(33±53)	2.00

Table 6. Summary of BPI and AMBI index at each station in Garorim Bay, West Coast of Korea(parenthesis refer to H-high status and G-good status)

Biotic Index / Time / Station		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BPI	Spring	59(G)	58(G)	48(G)	88(H)	58(G)	57(G)	80(H)	51(G)	63(H)	93(H)	96(H)
	Summer	53(G)	41(G)	45(G)	92(H)	65(H)	65(H)	81(H)	56(G)	81(H)	94(H)	87(H)
AMBI	Spring	2.5(G)	1.7(G)	1.5(G)	2.4(G)	1.8(G)	1.7(G)	2.0(G)	1.8(G)	1.8(G)	1.8(G)	1.5(G)
	Summer	2.4(G)	2.1(G)	1.7(G)	0.7(H)	2.1(G)	1.5(G)	2.3(G)	1.6(G)	3.2(G)	2.0(G)	2.0(G)

계에 정점 3, 4, 7, 9~11과 하계에는 정점 4, 5 및 7~11까지 모래함량이 60% 이상을 나타내 만의 중앙부에 위치한 고파도 인근해역, 사구해역과 만 입구부해역에서 조립질 퇴적물이 우세하게 분포하였다. 그럼에도 불구하고, 퇴적물의 분급도는 전반적으로 불량 또는 매우 불량한 상태를 나타내고 있어 매우 이질적인 특성을 보이고 있다. Wi(2008)도 가로림만은 펄모래 또는 모래펄 등으로 매우 복잡한 양상을 보이는 만의 내부를 제외하면, 연중 평균입도가 0.0~6.5 ϕ 의 범위에 만 입구부와 외곽해역은 조립질 퇴적물이 우세하게 분포하는 것으로 보고한 바 있어 본 결과와 잘 일치하고 있다. 따라서 가로림만의 퇴적상은 시간경과에 따라 변화정도가 비교적 미비하다는 것을 알 수 있다. 한편 퇴적물의 강열감량과 총탄소함량은 춘계와 하계에 각각 평균 2.48%, 1.60%와 0.29%, 0.47%를 나타내 매우 낮은 값을 보이고 있다. 또한 산화발성황화물농도도 춘계와 하계에 각각 평균 0.022 mg g⁻¹ dry wt.와 0.012 mg g⁻¹ dry wt.를 나타내 비교적 낮았다. 이것은 본 연구해역이 모래를 포함한 조립질 퇴적물이 우세한 환경에 놓여 있다는 점에서 일반적인 결과로 판단할 수 있다. 결국 가로림만은 내만에 넓은 갯벌을 포함하고 있으나, 주 수로를 포함하여 만의 입구부해역은 빠른유속에 의한 조립질 퇴적물이 우세한 환경으로 원활한 조류 소통이 해역의 유기물 축적과 오염부하를 저감하는 원동력이 되고 있음을 추정할 수 있다.

한편 본 연구에서 출현한 대형저서동물은 총 247종에 단

위면적당(m²) 개체수는 1,625개체이었다. 본 연구에서의 247종은 이웃한 천수만의 311종과 378종(Park et al., 2000a; Park et al., 2006)과 아산만의 317종(Yu et al., 2011)보다는 적었으나, 황해에 위치한 인천연안역의 231종(Koh et al., 1997), 함평만의 168종(Lim and Choi, 2001), 목포 주변해역의 238종(Park et al., 2000b)보다는 많았다. 또한 대형저서동물 군집 중에서 생물다양성이 매우 높은 다모류의 경우에도 본 연구해역에서 총 120종이 출현하여 천수만의 143종(Park et al., 2000a)을 제외하면, 인천연안역의 89종(Koh et al., 1997), 동일한 해역의 45~65종(Wi, 2008), 아산만의 100~105종(Yu et al., 2011), 함평만의 58종(Lim and Choi, 2001) 및 목포 주변해역의 88종(Park et al., 2000b)보다도 다양하였다. 이렇듯 대형저서동물 군집의 모든 생물군과 다모류를 대상으로 고려해 볼 때, 본 연구해역의 생물다양성은 천수만과 아산만을 제외하면, 황해의 만환경 또는 항만에서의 그것과 비교해서 전반적으로 높다고 볼 수 있다. 특히 본 연구가 다른 연구와 비교해 춘계와 하계만을 대상으로 하고 있다는 점에서 특기할 만하다. 또한 단위 면적당(m²) 총 출현 개체수와 다모류의 밀도도 각각 1,625개체와 1,241개체를 나타내 인천연안역의 455개체와 286개체(Koh et al., 1997), 아산만의 1,155개체와 771~1,008개체(Yu et al., 2011), 천수만의 769개체와 474개체(Park et al., 2000a), 동일해역의 1,087개체와 780개체(Wi, 2008), 함평만의 1,168개체와 381개체(Lim and Choi, 2001) 및 목포 주변해역의 663개체와 389개체(Park et al., 2000b)와 비교해도 높았다. 이

상에서와 같이 가로림만은 대형저서동물의 서식환경과 출현 종수 및 개체수가 양호하거나 또는 풍부함을 알 수 있다. 한편 대형저서동물의 출현 종수 및 개체수와 환경요인과의 상관관계를 파악한 결과에서 출현 종수와 개체수는 공통적으로 필함량, 평균입도 및 강열감량과는 양의 상관관계를, 반대로 모래함량과는 음의 상관관계를 나타내었다. 이것은 펄과 유기물이 많은 세립질 정점에서는 출현 종수와 밀도가 높고, 반대로 조립한 퇴적물이 우세한 정점에서는 그 반대의 경향을 나타냄을 의미한다. 그러나 본 연구에서 춘계의 정점 3과 하계의 정점 6은 상대적으로 모래함량이 매우 많음에도 불구하고 생물다양성과 개체밀도가 높아 차이를 보였다. 따라서 분석 결과가 대형저서동물 군집의 일부 생물지수와의 상관성을 적절하게 반영한다고 보기에는 무리가 있었다. 반면 대형저서동물 군집은 기질이 모래 또는 펄 등 어느 하나의 퇴적물이 우세하게 분포할 때는 낮은 생물다양성과 개체수를 보이게 된다. 그러나 가로림만은 매우 높은 생물다양성과 개체밀도를 나타내 상반되는 결과를 보이고 있다. 이것은 결국 본 연구해역의 분급도가 전반적으로 매우 불량하다는 점에서 서식처 퇴적물의 이질성(heterogeneity)이 증가할수록 그것과 비례하여 생물다양성이나 개체수가 높다는 연구결과와도 잘 부합된다고 볼 수 있다(Seo, 2003).

4.2 우점종 및 군집구조

대형저서동물 군집의 현존량이나 종 조성에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하는 분류군은 다모류이다(Kunde et al., 2009). 본 해역에서도 상위 10위까지의 우점종 가운데 9종이 위치하고 있어 잘 일치하고 있다. 특히 작은사슴갯지렁이와 긴자락송곳갯지렁이는 각각 9,780개체, 27.36%와 2,275개체, 6.36%를 점유하여 단일 종으로 가장 우점하는 생물이었다. 본 연구에서 작은사슴갯지렁이는 춘계와 하계에 각각 255개체와 9,525개체가 출현하여 하계에 밀도가 매우 증가하였다. 특히 하계의 정점 6에서는 8,645개체의 밀도를 나타내 특정 정점에서 극단적으로 우점하는 현상을 보였다. 이와 같은 현상은 남해에 위치한 광양만의 일부 정점에서도 집중분포를 나타낸다는 점에서 동일하였다(Jung, 1998). 한편 본 종은 광양만이나 동해의 대륙사면의 경우에도 비교적 모래함량이 높은 조립질 퇴적물에서 주로 분포하는 것으로 알려져 있다(Jung, 1998; Choi and Koh, 1990). 이웃한 아산만에서도 자갈과 모래함량이 각각 20.0%와 50.0%를 점유하는 3.0 ϕ 이하의 내부 정점에서 가장 높은 밀도를 나타내었다(Yu et al., 2011). 본 연구에서도 하계에 모래함량이 각각 58.1%와 62.5%를 점유한 정점 6과 8에서 상대적으로 높은 밀도를 보이고 있어 동일하였으나 조립한 퇴적물이 이들의 밀도를 조절하는 것으로 고려할 만한 근거는 없었다. 다만 정점 6과 8

은 분급도가 각각 3.6 ϕ 와 3.3 ϕ 로 매우 불량한 분급을 나타낸다는 공통점을 가지고 있다. 따라서 본 종이 광양만과 아산만의 경우에서와 동일하게 환경요인 중에서 분급도와 양의 상관관계를 보인다는 점에서 오히려 이질적인 퇴적상을 선호하는 것으로 추정할 수 있었다(Jung, 1998; Yu et al., 2011). 다음으로 긴자락송곳갯지렁이는 단위 면적당(m²) 103개체의 밀도를 나타내 울산만의 451개체(Yoon et al., 2009)와 257개체(Yi et al., 1982), 진해만의 417개체(Paik and Yun, 2000)와 천수만의 310개체와 127개체(Park et al., 2000a; Park et al., 2006) 및 후포주변 해역의 250개체(Paik et al., 2007) 등 여타 해역의 출현 밀도와 비교해 상대적으로 적었으나, 상위 우점종으로 출현하고 있다. 이렇듯 긴자락송곳갯지렁이는 우리나라 전역에서 출현하는 종으로 국내에서 유기물 오염과 관련된 종으로 보고되어 있다(Shin et al., 2001; Jung et al., 2002; Jung et al., 2007; Yoon et al., 2007). 또한 본 종은 펄이 많이 혼합된 퇴적물에서 주로 출현하며, 빈산소환경이 빈번하게 발생하는 양식어장에서도 높은 밀도를 나타낸다(Jung et al., 2002; Jung et al., 2007). 따라서 지금까지 대부분의 연구에서 유기물 오염의 가능성을 반영하는 지표종으로 또는 서식환경 조건이 좋지 않을 때 일시적(또는 지속적)으로 높은 밀도를 나타내는 기회종으로 간주되어 대상해역의 환경질을 판단하는 근거가 되어 왔다. 그러나 본 종은 인위적인 간섭요인이 없거나 또는 유기물 함량이 상대적으로 적은 동해 연안역에서도 높은 밀도를 보여 오히려 서식처 지위가 매우 넓은 종으로 고려된 바 있다(Kim et al., 2011). 특히 본 연구해역에서도 일부 모래가 많은 정점에서 고른 출현 양상을 나타내고 있어 본 종 역시도 지금까지 주로 고려되고 있는 서식처의 유기물 함량의 정도보다는 퇴적물의 분급도가 불량한 퇴적상에서 높은 밀도를 나타낸다는 결과와 보다 부합된다고 볼 수 있다(Yi et al., 1982). 한편 해양생태계에서 대형저서동물 군집구조는 서식처의 다양한 환경요인이 종내 및 종간에서의 생물학적인 작용을 통하여 정점 또는 계절간의 차이를 유발한다(Seo, 2003). 본 연구에서도 대형저서동물의 군집은 서식기질과 출현 종의 생물학적 특성에 의해 구조를 달리하는 것으로 고려할 수 있다. 즉, 서식기질의 관점에서 그룹 1과 2에서의 대표종은 모래가 많이 포함된 퇴적물에서 높은 밀도를 나타내는 반다리미갯지렁이와 *P. egena*이었다. 반면 그룹 3에서는 펄 또는 펄모래가 혼합된 퇴적물이 우세한 장소에서 개체수가 많은 작은사슴갯지렁이, 긴자락송곳지렁이, 오투기갯지렁이, 남방백금갯지렁이 및 순양거미불가사리등이 대표종으로 출현하여 차이를 보였다. 또한 그룹 2가 퇴적상이 유사한 그룹 1과 비교해 그룹 3과 유사도가 보다 높게 나타난 이유는 반다리미갯지렁이를 제외한 주요 출현종이 혼합질 퇴적물에서 출현하는 종들로 구성되어 있

기 때문이다. 반면 종의 생물학적 관점에서 보면, 그룹 2를 구분하는 대표종인 *P. egena*는 현재 개체군 연구가 미진하여 생물·생태학적인 특성을 정확히 규정할 수는 없으나, 본 연구에서 준계에는 출현하지 않은 가운데 하계에만 높은 밀도로 출현하고 있다. 특히 본 종이 속한 구슬수염갯지렁이과(Dorvilleidae)의 다모류도 기회종적인 특성을 나타낸다는 점에서 하계에 이들 종의 기질로의 성공적인 가입이 군집구조 변화를 유발하는 원인이 되었을 것으로 추정된다.

4.3 건강도

대형저서동물 군집은 서식처 교란에 반응하여 환경변화의 영향을 감지하는데 유용한 생물군으로 고려되고 있다. 따라서 이러한 특성을 이용하여 환경질을 평가하는 방법이 국내·외에서 다양하게 소개되고 있다. 본 연구에서는 BPI지수와 동시에 유럽연합에서 폭 넓게 이용되고 있는 AMBI지수를 활용하여 건강도를 비교하였다. 우선 BPI지수는 준계와 하계에 각각 48~96과 41~94의 범위에 평균 68과 69를 나타내 전반적으로 가장 양호한 상태(high status)를 반영하고 있다. 반면 Wi(2008)는 동일한 해역에서 수행된 결과를 기초로 본 해역의 정점 9를 포함한 내만의 정점에서는 10~50내외의 수치를 나타내 유기물 오염의 가능성을 제시한 바 있다. 그러나 본 연구에서 내만의 안쪽에 위치한 준계의 정점 3, 하계의 정점 2와 3은 비록 41~48의 범위를 나타내 상대적으로 낮은 값을 보이고는 있으나, 이 수치마저도 양호한 상태(good status)를 반영한다는 점에서 연구해역은 전반적으로 건강도가 좋은 해역으로 분류할 수 있다. 한편 BPI지수는 대형저서동물의 섭식유형에 기초하여 건강성을 평가한다. 그러나 개별 생물에 대한 섭식유형의 파악은 개체군 연구가 미비한 우리나라의 현실에서 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 Choi and Koh(1989; 1992), Choi and Seo(2007), KORDI(2010) 및 MacDonald et al.(2010) 등 다양한 정보를 수집하여 활용하였다. 그럼에도 불구하고, BPI지수 적용시 대상해역에서 출현한 전체 종에 대한 정보를 완전하게 획득하지 못하여 일부 종의 경우에는 속(屬) 수준에서 일치하는 종을 이용할 수 밖에 없는 한계가 있었다. 또한 본 지수는 먹이식성을 적용한다는 점에서 개별생물이 가지는 섭식전환 및 2중 섭식형태(예로 여과식성과 퇴적물식성 동시에 수행하는 형태)를 어떻게 구분하고 적용하느냐가 매우 중요하다. 왜냐하면 적용식에서 n1군과 n2군의 구분 및 가중치의 적용이 서로 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 한계점에도 국내에서 현재 보편적으로 이용되고 있는 본 지수의 적용과 이에 따른 해역의 정확한 건강도 평가를 위하여 개별종에 대한 생물학적 정보의 지속적인 수집과 축적이 절실히 요구된다. 반면 AMBI지수는 준계에는 1.45~2.48(평균 1.85)을,

하계에는 0.72~3.21(평균 1.96)의 범위를 보이고 있다. 따라서 본 지수의 평균값을 고려하면, 가로림만은 전반적으로 양호한 상태(good status)를 반영하고 있다. 이렇듯 AMBI지수는 개별생물의 환경에 대한 민감도(sensitivity 또는 내성도, tolerance)를 이용하여 산출하는 지수로 대상해역(무산소 및 빈산소해역, 양식어장 해역, 준설해역 및 유류오염해역 등)과 오염원(유류오염, 영양염 부하 및 오폐수의 유입 등)이 달라도 비교적 잘 적합되기 때문에 유럽연합에서는 폭 넓게 이용되고 있다(Borja et al., 2003). 다만 초기 적용시에 대부분 유럽에서 출현하는 대형저서동물에 대한 민감도를 기초로 구축되었다는 한계를 가졌으나, 2000년 이후 시간경과에 따라 아시아에서 출현하는 종을 포함한 많은 종들의 정보 추가가 지속적으로 이루어지고 있다. 또한 단변량 분석법인 다양도 지수와 서식처의 환경자료(퇴적상, 수심 등) 등을 다각적으로 이용하여 Table 1에서와 같이 객관화된 생태학적 상태를 제시하고 있다(ECJRC, 2008). 즉, 본 지수가 오염(또는 교란)이라는 관점에서의 접근으로 인하여 기존에 'normal'에서 'extremely polluted'로의 분류가 이루어져 환경상태의 규정에 있어 불분명성이 다소 존재하였으나, 현재는 다양한 연구결과와 보정을 통해서 보다 이해가 용이한 'high(가장 양호)'에서 'bad(가장 불량)'로의 생태적 등급을 나타내고 있다. 이러한 관점에서 가로림만은 BPI와 AMBI지수를 근거로 한 건강도가 현재까지 양호한 상태(high and good)를 반영하는 것으로 판단되었다.

5. 결 론

본 연구는 가로림만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 건강도를 평가하였다.

1. 가로림만에서는 총 247종 4.4 m²에 단위면적당 1,625개체 m²의 대형저서동물이 출현하였고, 분류군에 있어서는 다모류가 120종과 1,241개체 m²의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다. 가로림만의 출현 종수와 개체수는 황해의 만환경 및 항만해역에서의 그것과 비교해 상대적으로 높은 수준에 해당하였다.

2. 가로림만에서의 주요 우점종인 작은사슴갯지렁이와 긴자락송곳갯지렁이는 전체 출현 밀도의 27.36%와 6.36%를 점유하였다. 특히 상기 종들은 서식처의 분급도가 불량 또는 매우 불량한 해역에서 공통적으로 밀도가 높다는 점에서 이질적인 퇴적환경을 선호하는 것으로 추정된다.

3. 가로림만에 서식하는 대형저서동물의 군집은 서식기질과 종의 생물학적 특성에 의해 구조를 달리하는 것으로 파악되었다. 서식기질의 관점에서는 조립질 퇴적물(그룹 1과 2)과 혼합 및 세립질 퇴적물(그룹 3)이 각각 우세한 정점군

으로 나뉘어 이를 입증하였다. 반면 종의 생물학적 관점에서 *P. egena*의 개체군과 같이 하계에 서식기질로의 성공적인 가입이 군집구조 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 가로림만의 건강도를 평가한 결과, BPI지수는 춘계와 하계에 공통적으로 가장 양호한 상태(high status; normal)를 나타낸 반면, AMBI지수는 양호한 상태(good status; slightly polluted)를 반영하고 있었다. 따라서 가로림만의 건강도는 전반적으로 양호한 상태를 나타내는 것으로 판단할 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원의 "연안어장 생태계 통합평가 및 관리연구(RP-2014-ME-028)"의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Borja, A., I. Muxika and J. Franco(2003), The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 46, pp. 835-845.
- [2] Bray, J. R. and J. T. Curtis(1957), An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin, *Ecological Monograph*, Vol. 27, pp. 325-349.
- [3] Choi, J. W. and C. H. Koh(1989), Polychaete feeding guilds from the Continental Shelf off the southeastern coast of Korea, *The Journal of Oceanological Society of Korea*, Vol. 24, No. 2, pp. 84-95.
- [4] Choi, J. W. and C. H. Koh(1990), Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea(Southwestern Sea of Japan), Korea, *The Journal of Oceanological Society of Korea*, Vol. 25, No. 1, pp. 36-48.
- [5] Choi, J. W. and C. H. Koh(1992), The distribution and feeding guilds of the polychaete community in the west coast off Kunsan, Korea, *The Journal of Oceanological Society of Korea*, Vol. 27, No. 3, pp. 197-209.
- [6] Choi, J. W., S. M. Hyun and M. Chang(2003), The summer benthic environmental conditions assessed by the functional groups of macrobenthic fauna in Gwangyang Bay, southern coast of Korea, *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol. 21, No. 2, pp. 101-113.
- [7] Choi, J. W. and J. Y. Seo(2007), Application of biotic indices to assess the health condition of benthic community in Masan Bay, Korea, *Ocean and Polar Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 339-348.
- [8] Clarke, K. R. and R. M. Warwick(2001), *Change in marine communities-An approach to statistical analysis and interpretation*(2nd edition), PRIMER-E Ltd.
- [9] Dauer, D. M., J. A. Ransinghe and S. B. Weisberg(2000), Relationships between benthic community condition, water quality, sediment quality, nutrient loads and land use patterns in Chesapeake Bay, *Estuaries*, Vol. 23, pp. 80-96.
- [10] Dauvin, J. C., T. Ruellet, N. Desroy and A. L. Janson(2007), The ecological quality status of the bay of seine and the seine estuary:use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 55, pp. 241-257.
- [11] Diaz, R. J., M. Solan and R. M. Valente(2004), A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality, *Journal of Environment Management*, Vol. 73, pp. 165-181.
- [12] ECJRC(2008), European Commission Joint Research Center, Water framework directive intercalibration technical report, Part.3 Coastal and Transitional waters, Ed. Alessandro Carletti and Anna-Stiina Heiskanen, pp. 18-106.
- [13] Gray, J. S.(1981), Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 12, No. 5, pp. 173-176.
- [14] 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, Department of Oceanography, Graduate School Inha University, Korea, p. 306.
- [15] Jung, R. H., H. S. Lim, S. S. Kim, J. S. Park, K. A. Jeon, Y. S. Lee, J. S. Lee, K. Y. Kim and W. J. Go(2002), A study of the macrozoobenthos at the intensive fish farming grounds in the southern coast of Korea, *Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-*, Vol. 7, No. 4, pp. 235-246.
- [16] Jung, R. H., S. P. Yoon, J. N. Kwon, J. S. Lee, W. C. Lee, J. H. Koo, Y. J. Kim, H. T. Oh, S. J. Hong and S. E. Park(2007), Impact of fish farming on macrobenthic polychaete communities, *Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-*, Vol. 12, No. 3, pp. 159-169.
- [17] KEI(2011), Korea Environment Institute, Environmental assessment and reducing plan of environmental and social conflict for ocean energy, p. 204.
- [18] Kim, D. I., I. S. Seo, C. H. Moon, B. M. Choi, R. H. Jung and M. H. Son(2011), Community structure of macrobenthic assemblages around Gijang Province, East Sea of Korea,

- Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-, Vol. 16, No. 2, pp. 97-105.
- [19] Koh, B. S., J. H. Lee and J. S. Hong(1997), Distribution patterns of the benthic macrofaunal community in the coastal area of Incheon, Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-, Vol. 2, No. 3, pp. 31-41.
- [20] KORDI(2010), Korea Ocean Research and Development Institute, Development of Marine Ecosystem Health Index(MEHI) in the special management areas of the south sea, p. 381.
- [21] Kunde, S., M. Nityananda, P. S. Lyla and S. Ajmal Khan(2009), Biodiversity and seasonal variation of macro-benthic infaunal community in the inshore waters of Parangipettai Coast, Environment Monitoring Assessment, Vol. 163, pp. 67-79.
- [22] Lee, J. H., J. S. Hong and S. K. Yi(1983), Studies on the benthic fauna in Garolim Bay, Korea-Subtidal soft-bottom community-, The Journal of Oceanological Society of Korea, Vol. 18, No. 2, pp. 111-116.
- [23] Lim, H. S. and J. W. Choi(2001), Community structure of subtidal macrobenthos in Hampyung Bay during autumn in 1997, southwest coast of Korea, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 34, No. 4, pp. 327-339.
- [24] MacDonald, T. A., B. J. Burd, V. I. Macdonald and A. van Roodselaar(2010), Taxonomic and feeding guild classification for the marine benthic macroinvertebrates of the strait of Georgia, British Columbia, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, p. 62.
- [25] MOMAF(2006), Ministry of Maritime Affairs, Coast Regional Management plan of Garorim Gulf, p. 250.
- [26] MOMAF(2007), Ministry of Maritime Affairs, Assessment of Environmental Value of Garorim Gulf, p. 203.
- [27] Paik, S. G. and S. G. Yun(2000), Community structure of the macrobenthos in Chinhae Bay, Korea, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 33, No. 6, pp. 572-580.
- [28] Paik, S. G., R. S. Kang, J. O. Jeon, J. H. Lee and S. G. Yun(2007), Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area, in the east sea of Korea, Ocean and Polar Research, Vol. 29, No. 2, pp. 123-134.
- [29] Park, H. S., H. S. Lim and J. S. Hong(2000a), Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 33, No. 3, pp. 262-271.
- [30] Park, H. S., J. H. Lee and J. W. Choi(2000b), Spatio-temporal distribution of macrobenthic community on subtidal area around Mokpo, Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-, Vol. 5, No. 2, pp. 169-176.
- [31] 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, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 39(Special Issue), pp. 214-222.
- [32] Parker, R. H.(1975), The study of benthic communities, A model and a Review, Elsevier Oceanographic Series Oxford, p. 277.
- [33] Pearson, T. H. and R. Rosenberg(1978), Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment, Oceanography Marine Biology Annual Review, Vol. 16, pp. 229-311.
- [34] Pielou, E. C.(1977), Mathematical Ecology, Wiley Company, New York, p. 164.
- [35] Rosenberg, R., M. Blomqvist, H. C. Nilsson, H. Cederwall and A. Dimming(2004), Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive, Marine Pollution Bulletin, Vol. 49, pp. 728-739.
- [36] Rosenberg, R. and H. C. Nilsson(2005), Deterioration of soft-bottom benthos along the Swedish Skagerrak coast, Journal of Sea Research, Vol. 54, pp. 231-242.
- [37] Seo, I. S.(2003), Community structure and trophic relationships of macro- and megabenthic assemblages on Incheon macrotidal flat of the Yellow Sea, Department of Oceanography, Graduate School Inha University, Korea, p. 273.
- [38] Shannon, C. E. and W. Weaver(1949), The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, Urbana, p. 125.
- [39] Shin, H. C., S. M. Yoon and C. H. Koh(2001), Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan Bay and Onsan Bay, eastern coast of Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-, Vol. 6, No. 3, pp. 180-189.
- [40] Shin, S. H., B. J. Koo and J. G. Je(2004), Spatial distribution of benthic macrofauna on the tidal flat of Garolim Bay, West Coast of Korea, Journal of Korean Wetlands Society, Vol. 6,

No. 1, pp. 57-72.

- [41] Warwick, R. M. and K. R. Clarke(1994), Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities, *Marine Biology*, Vol. 118, pp. 739-744.
- [42] Weisberg, S. B., J. A. Ranasinghe, D. M. Dauer, L. C. Schaffner, R. J. Diaz and J. B. Frithsen(1997), An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for the Chesapeake Bay, *Estuaries*, Vol. 20, pp. 149-158.
- [43] Wi, C. W.(2008), Spatial and temporal distribution of benthic polychaetous community in Garolim Bay, West Coast of Korea, Department of Fisheries Science(Oceanography), Graduate School Chonnam National University, Korea, p. 88.
- [44] Wildsmith, M. D., T. H. Rose, I. C. Potter, R. M. Warwick, K. R. Clarke and F. J. Valesini(2009), Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large macrotidal estuary following extrema modificationas aimed at reducing eutrophication, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 58, pp. 1250-1262.
- [45] Yi, S. G., J. S. Hong and J. H. Lee(1982), A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea, *KORDI*, Vol. 4, pp. 17-26.
- [46] Yoo, J. W., Y. W. Lee, J. L. Ruesink, C. G. Lee, C. S. Kim, M. R. Park, K. T. Yoon, I. S. Hwang, J. H. Maeng, R. Rosenberg and J. S. Hong(2010), Environmental quality of Korean coasts as determined by modified Shannon-Wiener evenness proportion, *Environment Monitoring Assesment*, Vol. 170, pp. 141-157.
- [47] Yoon, S. P., R. H. Jung, Y. G. Kim, S. S. Kim, J. S. Lee, J. S. Park, W. C. Lee and W. J. Choi(2007), Characteristics of benthic environment and polychaete communities of Gamak Bay, Korea, *Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-*, Vol. 12, No. 4, pp. 287-304.
- [48] Yoon, S. P., R. H. Jung, Y. J. Kim, S. G. Kim, M. K. Choi, W. C. Lee, H. T. Oh and S. J. Hong(2009), Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea, *Journal of the Korean Society of Oceanography-The Sea-*, Vol. 14, No. 2, pp. 102-117.
- [49] Yu, O. H., H. G. Lee and J. H. Lee(2011), The influence of environmental variables on macrobenthic communities after dike construction in Asan Bay, Korea, *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol. 24, No. 4, pp. 326-344.

원고접수일 : 2014년 08월 28일

원고수정일 : 2014년 10월 13일 (1차)

2014년 10월 23일 (2차)

게재확정일 : 2014년 10월 28일