

아산만 중부해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조 및 저서 건강도 평가

김광배 · 정윤진* · 오정규** · 강훈*** · 손대선**** · 마채우†

경기도해양수산자원연구소(연구사) · *(주)한국생태연구원(대표) · **(주)한국생태연구원(원장) ·
*** (주)해양정보기술(이사) · ****순천향대학교(강사) · †순천향대학교(교수)

Macrobenthic Community and Benthic Health Assessment of Central Area in Asan Bay

Kwang-Bae KIM · Yoon-Jin JUNG* · Jeong-Kyu OH** · Hoon KANG*** · Dae-Sun SON**** · Chae-Woo MA†

Gyeonggi-do Maritime and Fisheries Resources Research Institute(researcher) · *Korea Ecology Institute Co.(president) ·

Korea Ecology Institute Co.(director) · *Marine Information Technology(director) ·

****Soonchunhyang University(lecturer) · †Soonchunhyang University(professor)

Abstract

This study was carried out to investigate the spatial distributions of the macrobenthic communities and ecological quality in the central Asan Bay from March to November 2014. In total, 78 species was found the mean abundance was 439 inds./m², Biomass was 17.28 gWWt/m². Based on the Le Bris (1988) index, there were 10 dominant species accounting for approximately 63% of total individuals. The major dominant species were *Heteromastus filiformis*, *Theora fragilis*, *Sternaspis scutata*, *Paralacydonia paradoxa* and *Chaetozone setosa*. Cluster and nMDS ordination analysis based on Bray-Curtis similarity identified 3 major station groups. BPI and AMBI analysis, it was found that the overall good status. These results showed that changes in sedimentary characteristics were the main factors behind spatial and temporal changes in the macrobenthic communities of the central area in Asan Bay

Key words : Macrobenthic, Community, BPI, AMBI, Asan bay

I. 서론

아산만 조하대는 하천으로부터 유출되는 담수와 외해로부터 유입되는 해수가 혼합되는 지역으로, 표층은 바다 쪽으로 나가는 흐름이 우세하며, 저층은 바다에서 강 쪽으로 들어오는 흐름이 우세한 이층 구조를 가진다. 이러한 형태의 연안역은 육상 물질이 해양으로 유입되는 통로기능 뿐만 아니라 강물에 포함되어 있는 여러 가지 물질

들을 변화시키고, 급격한 환경변화 충격을 완충하는 역할을 수행한다(Yang et al., 1999). 연안역은 빛의 투과(light penetration)가 좋고 강에서 유입되는 풍부한 영양염류로 인해 다양하고 풍부한 생물들이 서식하는 해역이며(Nybakken and Bertness, 2004), 포식자로부터 위협이 적어 많은 유영생물들이 산란하고 성장하는 곳으로 해양생태계에서 매우 중요한 곳으로 알려져 있다(Able et al., 1999; Jones et al., 2002; Dolbeth et al.,

† Corresponding author : 041-530-1283, cwooma@sch.ac.kr

2008; Franco et al., 2008).

그러나 전 세계적으로 연안역은 공업단지, 도시 개발 등 그 활용도가 점차 증가함으로 인하여 산업폐수의 유입, 어업양식 폐기물 등 인위적인 오염이 가중되고 있는 실정이다(Woo et al., 1999, 2003). 아산만의 경우, 연안을 따라 여러 곳에 대형 방조제가 조성되었고, 여러 산업시설공사 및 서해대교 등의 건설로 인한 해안선의 변화와 같이 지속적으로 연안역 해양환경에 영향을 주고 있다(Lee and Lee, 1997). 또한, 연안 관리를 위한 지속적인 준설 및 연안 선박운항 증가로 퇴적층의 부유물질이 부유하게 되어 연안 환경에 변화를 초래하였으며, 강과 하천을 통해 무분별하게 해양에 유입된 미량금속의 대부분이 부유입자에 흡착되거나, 퇴적물에 직접 흡착되어 저서생태계에 피해를 주고 있다(Hwang and Kim, 2013).

해양저서동물은 전 세계적으로 넓게 분포하며 대부분 저질의 상층 부분에 서식하기 때문에 저질의 특성, 입도, 유기물의 함량에 따라 독특한 군집을 형성한다(Hutchings, 1998; Fauchald, 1974; Conway, 1979). 대부분 해양의 연성기질에 서식하는 저서동물의 분포에 영향을 주는 환경요인은 서식처에 따라 차이를 보이거나 대체로 퇴적물의 입도 조성 및 특성(Sanders, 1958, 1960; Rhoads and Young, 1970), 수심(Lampitt et al., 1986; Choi and Koh, 1990), 용존산소량(Hong, 1987), 유기물(Grebmeier et al., 1988) 등과 같은 물리적 환경요인이 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 반면 이러한 환경에서 종간의 경쟁(Rhoads and Young, 1970; Woodin, 1976), 포식(Peterson, 1979) 등의 생물학적 상호작용 또한 군집 분포, 구조 등에 영향을 미치게 된다.

일반적으로 연안 환경의 오염도를 평가할 때 수-저층에 있는 오염물질을 평가하거나 해양생물의 변화 및 오염원에 대한 요인분석을 통해 오염의 영향 정도를 평가한다. 그러나 최근에는 발생된 오염물질 자체보다 해양에 서식하는 생물을 이용한 평가가 해양생태계를 평가하는데 실질적

인 도움이 된다(Dauer, 1993). 해양생물 중 대형저서동물은 어류나 플랑크톤에 비해 생활사 전반을 통해서 이동성이 적거나 또는 정주성의 특징을 보이기 때문에 환경변화에 능동적으로 대처하지 못하고, 상대적으로 조사 시기에 대한 영향이 적기 때문에 연안 환경을 평가하는데 매우 유용하다(Warwick and Clarke 1993; Burd et al., 2008). 외국의 경우 여러 가지의 환경지수를 이용하여 군집을 더 자세하게 분석하고, 교란에 대한 영향을 분석하는 연구가 많이 이루어졌으며, 해양생태계의 건강성을 평가하기 위해 오염 지수를 이용하는 연구가 많이 증가하고 있는 추세이다(Borja et al., 2000).

그러므로 본 조사에서는 아산만 증부해역에 서식하는 대형저서동물과 저서환경 요인을 상호 비교함으로써 서식분포를 결정하는 환경요인을 파악하고, 건강도 지수 산출로 연구지역의 전반적인 저서환경의 오염정도를 평가하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

아산만은 경기도 평택시와 충청남도 아산시, 당진시 사이에 위치하고 있으며, 동서방향으로 길이 40 km, 너비 최소 2.2 km 규모의 만이다. 아산만은 한반도 전체의 기후영향에 따라 동계에는 북서계절풍의 영향을 받고, 하계에는 온대 몬순의 영향을 받아 6-8월 홍수기에 연중 강우량의 약 55% 이상이 집중된다. 평균조차는 6.1 m(최대 9.6 m)로 서해안의 큰 조차 특징을 보인다(Jeong et al., 2016).

아산만은 동측 해안에 안성천의 하구를 막아 조성한 아산호(1973년 완공)를 시작으로 남양호(1974년 완공), 삼교호(1979년 완공), 석문호(1995년 완공) 순으로 담수호수가 조성되었다(Jeong et al., 2016). 아산만은 주변은 연안을 따라 국가 산업단지가 건설되었고, 이들 방조제 호수들의 방

류수는 주변 지역의 산업화 및 도시화 등과 함께 지속적인 영향을 주고 있다(Lee and Lee, 1997).

따라서 아산만의 자연환경은 조석으로 인한 일중 변화 및 일간 변화, 강수량과 바람의 변화 등이 존재하며, 아산만의 개발로 인한 높은 개발압력까지 받는 환경조건 하에 놓여 있다(Jeong et al., 2016).

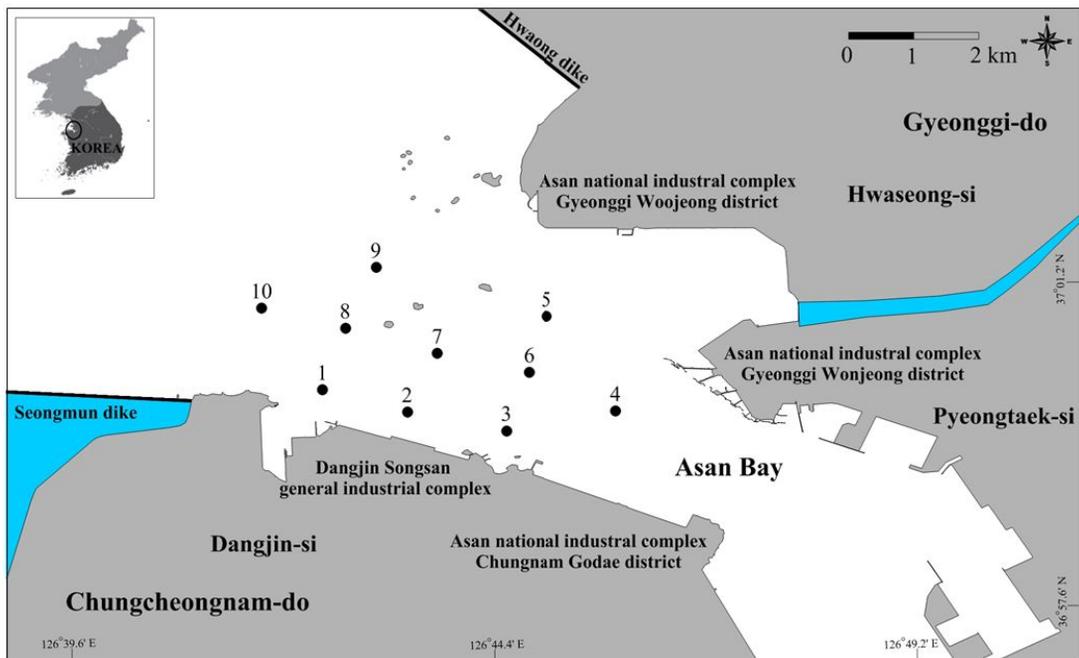
2. 현장조사

연구해역에 서식하는 대형저서동물의 생물량, 생물다양성, 군집구조 등을 파악하기 위하여 2014년 3월부터 11월까지 계절별로 아산만 중부해역의 10개 정점에서 현장조사를 실시하였다 (Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 van Veen grab sampler (0.1 m²)를 이용하여 정점 당 총 2회의 퇴적물을 채취하였다. 현장에서 채취된 퇴적물은 선상에서 1 mm의 sieve를 이용하여 대형저서동물

을 분리하였고, 10% 중성 포르말린으로 고정 후 실험실로 운반하였다. 이후 분류군별로 선별하여 종 동정하였고, 개체수와 생체량을 측정하였다. 환경요인은 대형저서동물의 채집과 동시에 모든 정점에서 저층(해저면 위 1 m)의 수온, 염분, pH 그리고 DO를 다항목 자동수질측정기(YSI-6920)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 또한 해양퇴적물 항목으로는 화학적산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand), 강열감량(IL, Ignition Loss), 산취발성황화물(AVS, Acid Volatile Sulfide)의 농도와 조직학적 특성(평균입도, 모래:펄 함량)을 대상으로 해양환경공정시험기준(MLTM, 2010)에 준하여 분석을 하였다.

3. 군집분석

대형저서동물의 전반적인 군집구조 파악을 위해 종 다양도지수(Shannon and weaver 1963), 풍부도지수(Margalef 1958)를 산출하였으며, 우점종은 정점별 개체수와 빈도를 근거로 산정하였다(Le Bris, 1988).



[Fig. 1] A map of sampling stations in central of Asan Bay.

집괴분석(Cluster analysis)과 nMDS (Non-metric multidimensional scaling)은 대형저서동물 군집구조의 유사성 파악을 위해 중별 개체수를 $\log(x+1)$ 로 변환 후 프로그램(Primer v 7.0.12, Primer-E Ltd.)을 사용하여 산출하였다. 또한, 유사도 분석시 SIMPROF (Similarity Profile) test를 병행하여 각 그룹을 구분하였으며, 각 그룹의 유의성은 ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 통해 검증하였다. 각 정점군 구분에 기여한 우점종의 기여율을 파악하고자 SIMPER (Similarity percentage procedure) test를 시행하였으며, 환경요인과 출현종수, 개체수 및 우점종 간의 관련성을 파악하기 위하여 정규성 검정 후 상관분석(Spearman rank correlation analysis)을 실시하였다(SPSS Statistics v 22.0).

4. 건강도 평가

연구해역의 저서환경 건강도 평가를 위하여 대형저서동물의 자료를 기초로 BPI (Benthic Pollution Index)와 AMBI (Azti's Marine Biotic Index)를 산출하였다. BPI에 이용되는 개체군의 생물학적 정보는 Choi and Seo (2007), KORDI (2010)을 이용하였으며, AMBI는 software program (<http://www.azti.es>)를 사용하였다. 건강도는 H(가장 양호, normal)와 G(양호, slightly polluted)은 양호한 환경상태를, M(중간, meanly polluted)는 중간상태(양호한 환경과 불량한 환경의 전이대)를, P(불량, heavily polluted)와 B(가장 불량, extremely polluted)는 불량한 환경상태를 반영하는 것으로 고려하였다(ECJRC, 2008, <Tabel 1>).

<Table 1> The classification criteria of each benthic biotic index

Condition / Index	BPI	AMBI	Ecological status
normal	≥60	0.0-1.2	H (high)
slightly polluted	41-60	1.3-3.3	G (good)
meanly polluted	31-40	3.4-5.0	M (moderate)
heavily polluted	21-30	5.1-6.0	P (poor)
extremely polluted	≤20	6.1-7.0	B (bad)

Ⅲ. 결 과

1. 환경요인

아산만 증부해역의 수온은 계절별 평균 8.6~24.1℃의 범위에 동계에 낮고, 하계에 높아 온대해역의 일반적인 경향을 나타내었다. 정점별로는 만의 외측에서 내측으로 이동하면서 점차 증가하는 양상을 보였으나 차이는 크지 않았다. 반면 염분농도는 하계에 평균 30.0 psu로 가장 낮았고, 이 밖의 시기에는 32.0~32.6 psu의 범위로 차이가 크지 않았는데 이는 하계 강우에 의한 남양호의 담수유입의 효과로 추정할 수 있었다. DO는 계절별 평균 6.5~9.0 mg/L의 범위로 하계에 낮았고 동계에 높았다. 모든 계절에서 DO의 패턴은 수온의 변화와 역관계를 보였으나 정점간 차이는 적은 것으로 확인되었다.

연구기간 퇴적물 조성의 경우, 정점 7은 silt의 함량이 높았고, 정점 8과 9는 sand의 함량이 높았으며, 그 외의 정점에서는 clay의 함량이 높았다. 평균입도는 최소 2.9 Ø에서 최대 4.3 Ø으로 대부분이 극세립사의 범위에 포함되었으며, 또한 퇴적물의 조성에 영향을 받는 COD, IL과 AVS는 모래함량이 많은 정점군에서 낮았고, 펄함량이 높은 정점군에서 반대의 경향을 보였다(<Table 2>).

2. 출현 종수 및 생물량

본 연구해역에서 출현한 대형저서동물은 78종, 439 inds./m², 17.28 gWWt/m²이었다. 출현종수는 환형동물이 54종이 출현하여 전체의 69.2%를 점유하였고, 다음으로 절지동물과 연체동물이 각각 9종, 11.5%를 차지하였다. 또한, 극피동물과 기타 동물은 각각 3종으로 3.8%를 차지하며 낮은 점유율을 보였다. 조사 시기별로 살펴보면 41~59종의 범위에 평균 46종으로 춘계에 높았고, 하계에 낮았다.

<Table 2> Benthic environmental parameters in the stations around central area of Asan Bay

Station/ parameter	Water temperature(°C)	Salinity (psu)	DO (mg/L)	pH	Sediment content(%)				Mean phi(Φ)	COD (mg O ₂ /g-dry)	IL (%)	AVS (mg S/g-dry)
					Gravel	Sand	Silt	Clay				
1	16.0±6.6	29.4±0.4	7.9±0.6	8.0±0.1	1.6±2.4	30.9±0.6	17.6±1.6	49.9±1.4	3.8±0.2	7.30±1.09	2.7±0.3	0.030±0.005
2	16.2±6.6	31.0±0.3	7.9±1.2	7.9±0.2	-	33.2±2.3	20.5±0.8	46.3±2.0	4.1±0.1	6.71±0.71	2.5±0.4	0.029±0.005
3	16.3±6.4	31.0±0.4	7.8±1.2	7.9±0.1	-	32.0±1.5	29.3±1.0	38.6±0.6	4.1±0.1	6.68±1.00	2.4±0.5	0.028±0.003
4	16.1±6.5	30.9±0.4	7.9±1.2	7.9±0.1	-	26.2±4.2	34.8±3.9	39.0±0.6	2.9±0.4	6.78±1.13	2.4±0.3	0.026±0.009
5	16.3±6.5	31.2±0.7	7.9±1.1	7.9±0.1	-	32.5±2.3	32.4±2.2	35.1±1.8	3.3±0.2	6.05±0.96	2.1±0.4	0.025±0.006
6	16.4±6.3	30.8±0.4	7.7±0.8	7.9±0.1	-	23.0±2.4	37.8±4.7	39.2±2.7	3.2±0.2	6.89±1.51	2.3±0.2	0.027±0.008
7	16.2±6.3	30.7±0.2	7.8±1.2	7.9±0.1	-	30.6±1.0	41.6±5.8	27.8±6.5	3.5±0.2	6.19±0.81	2.5±0.6	0.023±0.009
8	15.7±6.2	29.3±0.5	7.8±1.1	7.9±0.2	0.2±0.4	55.0±7.2	28.8±8.1	16.1±1.4	4.0±0.2	5.88±1.09	1.8±0.4	0.019±0.003
9	15.8±6.0	29.1±0.5	8.0±1.2	7.9±0.2	0.1±0.2	43.2±2.1	32.5±2.3	24.2±1.3	4.0±0.2	6.24±1.65	2.0±0.6	0.020±0.004
10	15.6±6.1	28.0±0.9	8.1±1.1	8.0±0.1	-	23.4±2.4	31.3±1.0	45.4±3.4	4.3±0.1	6.79±1.64	2.5±1.1	0.027±0.004
Spring	15.6±0.3	32.0±0.1	8.1±0.1	8.1±0.1	0.1±0.4	33.4±11.0	30.5±8.8	36.0±10.9	3.6±0.5	6.71±1.17	2.4±0.4	0.023±0.004
Summer	24.1±0.3	30.0±0.3	6.5±0.5	7.6±0.1	-	33.0±8.3	30.8±6.7	36.3±11.3	3.8±0.4	8.24±0.89	2.9±0.5	0.032±0.005
Autumn	15.8±0.3	32.3±0.5	8.0±0.1	7.9±0.1	-	32.9±7.3	29.7±5.3	37.4±9.8	3.9±0.4	6.18±0.83	2.5±0.4	0.027±0.004
Winter	8.6±0.2	32.6±0.6	9.0±0.2	8.1±0.1	0.6±1.6	32.8±12.7	31.7±10.5	35.0±11.4	3.7±0.6	2.39±0.41	2.3±0.6	0.020±0.004

출현 개체수에서도 환형동물이 275 inds./m²를 나타내 62.7%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물 99 inds./m² (22.5%), 절지동물 31 inds./m² (7.0%), 극피동물 29 inds./m² (6.7%), 기타동물 5 inds./m² (1.1%) 순으로 출현하였다. 조사 시기 별로는 376 inds./m²(추계)에서 577 inds./m²(하계)의 범위로 채집 되었다.

생체량에 있어서 개체당 단위무게가 큰 연체동물이 9.90 gWWt/m² (55.6%)로 높은 점유율을 차지하였고, 다음으로 극피동물과 절지동물 그리고 환형동물이 각각 2.95 gWWt/m² (16.5%), 2.44 gWWt/m² (13.7%), 2.38 gWWt/m² (13.4%)를 점유하였다. 이 밖에 기타동물은 0.15 gWWt/m²로 0.8%의 낮은 점유율을 보였다. 특히 하계 극피동물의 다량출현으로 인해 타 계절에 비해 높은 생체량을 보였다([Fig. 2]).

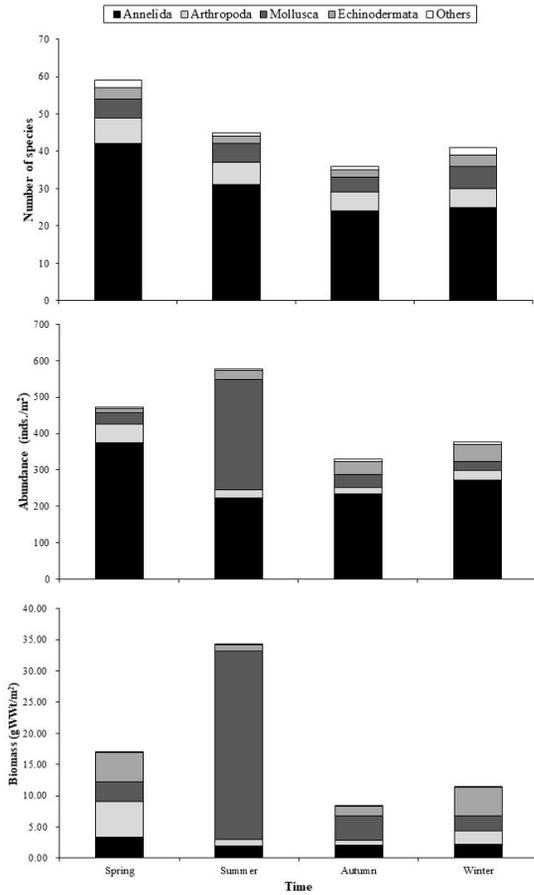
각 시기별 정점별 평균 출현종수는 24~32종의 범위에 정점 7에서 가장 적었고, 정점 4에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 3과 8에서 30종 이상이 출현하여 상대적으로 다양하였으며, 모든 지점에서 환형동물의 비율이 가장 높게 나타났다.

출현 개체수는 정점별로는 최소 244 inds./m² (정점 2)에서 최대 901 inds./m²(정점 3)의 범위를 보였으며, 이 외에 정점 5에서도 700 inds./m² 이상의 개체수를 보여 상대적으로 많았다.

생체량은 추계에 8.43 gWWt/m²로 가장 낮았고, 하계에 34.34 gWWt/m²로 가장 높았으며, 이는 출현 개체수와 동일한 양상을 보였다([Fig. 3]).

3. 우점종

연구해역에 출현한 대형저서동물의 정점별 개체수와 출현 빈도를 이용한 Le Bris index (1988)를 사용하여 상위 10종의 우점종을 파악한 결과, 환형동물이 7종, 연체동물과 극피동물 그리고 절지동물이 각각 1종씩 포함되었다. 이들을 순위별로 나열해 보면, *Heteromastus filiformis*, *Theora fragilis*, *Sternaspis scutata*, *Paralacydonia paradoxa*, *Chaetozone setosa*, *Lumbrineris longifolia*, *Ampharete arctica*, *Amphiodia craterodmeta*, *Nephtys polybranchia*, *Corophium* sp. 등 상위 10종은 전체 점유율의 63%를 차지하였다(<Table 3>).

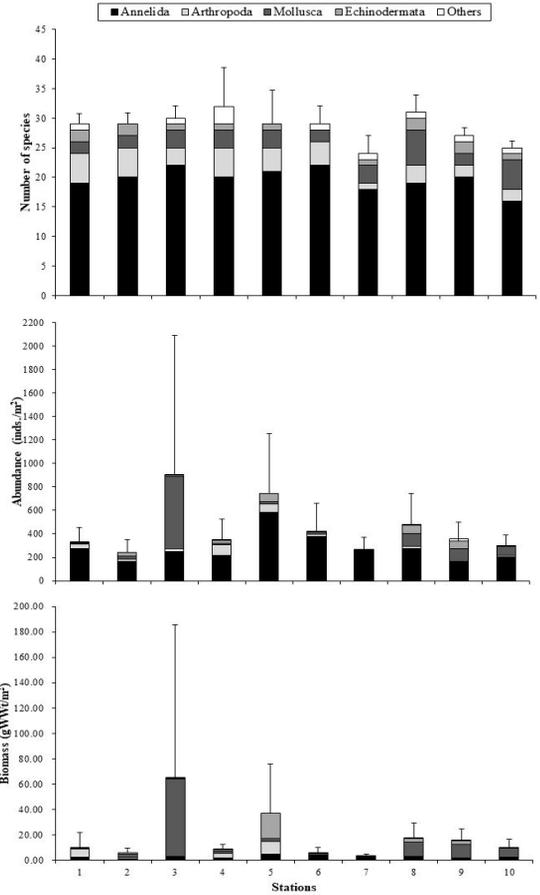


[Fig. 2] Seasonal variations of number of species, abundance (inds./m²) and biomass (gWWt/m²) by taxon in central area of Asan Bay.

<Table 3> Dominant species ranking based on the density data by Le Bris index (1988)

Rank	Taxa	Species name	Mean density (inds./m ² ±std.)	Proportion (%)	Le Bris index
1	Apol	<i>Heteromastus filiformis</i>	101±124	23.0	212,760
2	Mbi	<i>Theora fragilis</i>	33±33	7.5	71,439
3	Apol	<i>Sternaspis scutata</i>	23±23	5.1	67,417
4	Apol	<i>Paralacydonia paradoxa</i>	24±24	5.4	56,281
5	Apol	<i>Chaetozone setosa</i>	18±18	4.2	52,829
6	Apol	<i>Lumbrineris longifolia</i>	18±18	4.1	37,908
7	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	17±17	4.0	31,235
8	Eop	<i>Amphiodia craterodonta</i>	18±17	4.1	29,597
9	Apol	<i>Nephtys polybranchia</i>	11±11	2.6	29,345
10	Cam	<i>Corophium</i> sp.	12±12	2.8	22,202

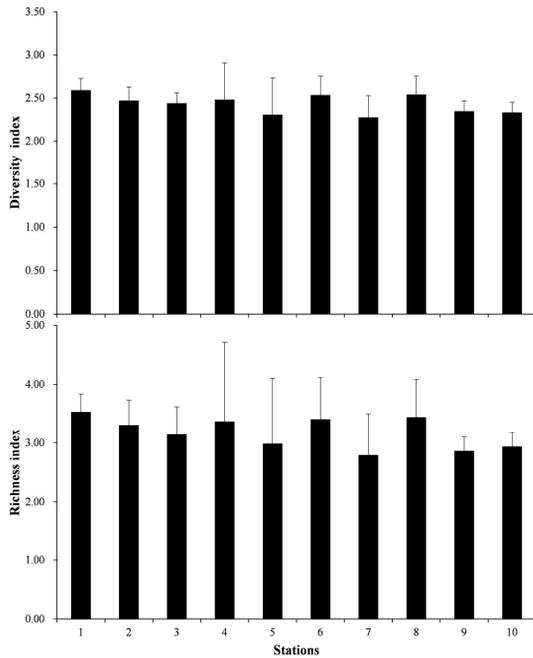
Apol, polychaete; Mbi, bivalvia; Eop, ophiuroids; Cam, amphipoda



[Fig. 3] Spatial distributions of number of species, abundance (inds./m²) and biomass (gWWt/m²) at each station in central area of Asan Bay.

4. 생태학적 제 지수 및 군집분석

대형저서동물의 개체수 자료를 근거로 각 정점별 생태학적 지수(종 다양도, 풍부도)를 구하였다. 종 다양도는 최소 2.27에서 최대 2.59의 범위로 정점 7에서 낮았고, 정점 1에서 높았으며, 이외에도 정점 2, 3, 4, 6, 8에서 평균값 2.43 보다 높았다. 풍부도는 평균값 3.18로 종 다양도와 동일하게 정점 7에서 2.79로 최솟값을 보였고, 정점 1에서 3.53의 최댓값을 보였다([Fig. 4]).

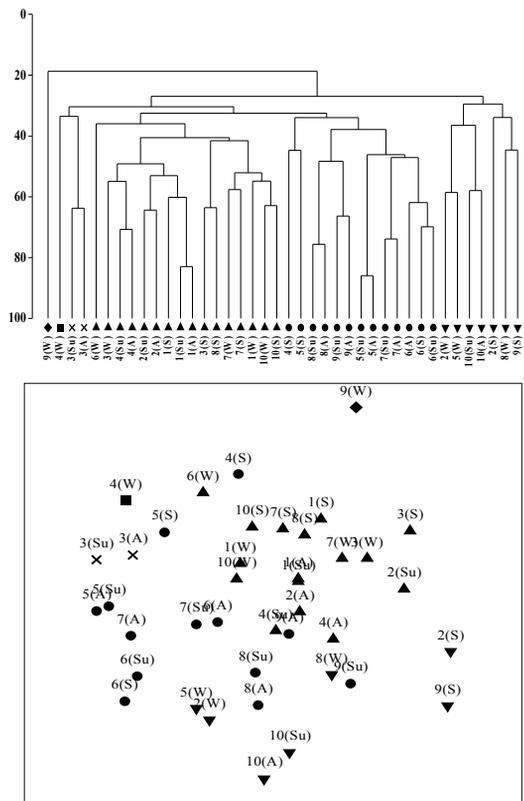


[Fig. 4] Spatial variation of species diversity and richness at each station in central area of Asan Bay.

대형저서동물의 군집의 공간적 구조를 파악하기 위하여 Bray and Curtis (1957)의 유사도 (Similarity)를 구하였으며, nMDS 분석을 추가적으로 실시하였다. 유사도 분석 결과 크게 3개의 주정점군을 포함하여 1개의 소정점군(하계와 추계의 정점 3) 그리고 개별 정점(동계의 정점 4와 9)으로 구분되었다(ANOSIM test, $R=0.602$). 이 중 주정점군 1은 총 16개의 정점으로 구성되었고, 춘계의 정점 1, 3, 7, 8, 10, 하계와 추계의 정점 1, 2, 4, 동계의 정점 1, 3, 6, 7, 10이 포함되었다. 주정점군 2는 춘계의 정점 4, 5, 6, 하계와 추계의 정점 5, 6, 7, 8, 9로 총 13개의 정점으로 구성되었다. 주정점군 3은 주정점군 1과 2, 소정점군 그리고 개별 정점을 제외한 총 7개의 정점으로 구성되었다([Fig. 5]).

주정점군 1의 특성을 보면 clay의 함량이 높아 상대적으로 유기물 함량이 높았으며, 생체량은 적은 반면 종 다양성은 높았다. 주정점군 2와 3

은 각각의 퇴적물 함량이 유사하였으나 주정점군 1과 비교하여 높은 개체수 및 생체량을 보였다.



S: Spring, Su: Summer, A: Autumn, W: Winter

[Fig. 5] Dendrograms of hierarchical cluster analysis and nMDS by Bray-Curtis similarities calculated in central area of Asan Bay.

그 외 정점군은 공통적으로 생물 다양성이 낮았으며, 소정점군의 경우 *A. craterodmeta* 우점 출현으로 인해 타 그룹에 비해 높은 개체수 및 생체량을 보였다. 또한, 각 그룹의 상위 3종을 구한 SIMPER 분석 결과, 군집의 차이는 주요 우점종들의 개체수에 의해 구분되었고, 모든 정점군에서 *H. filiformis*가 공통적으로 기여하였으며, 주정점군 1은 *S. scutata*, 주정점군 2는 *A. arctica*, 주정점군 3은 *T. fragilis*, 소정점군은 *L. longifolia*의 기여도가 높았다(<Table 4>).

대형저서동물의 분포에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위하여 입도, IL, AVS, 수온, 염분 등과 상관관계를 구한 결과, 출현종수는 COD와 양의 상관관계를 보였으며, 생체량은 silt와 양의 상관관계를 보인 반면 sand와 평균입도와는 음의 상관관계를 보였다. 다양도는 gravel과 sand에서 양의 상관관계, silt와 COD와는 음의 상관관계를

보였고, 주요 우점종과 환경요인 간 상관분석을 실시한 결과, *H. filiformis*, *T. fragilis*, *S. scutata*는 IL, COD와 양의 상관관계를 보였으며, *P. paradoxa*는 AVS와 양의 상관관계, *C. setosa*는 COD와 음의 상관관계를 보였다. 또한 *T. fragilis*는 silt 및 평균입도, *S. scutata*는 clay와 양의 상관관계를 보였다(<Table 5>).

<Table 4> Summary of environmental factors and macrobenthic community between station group in central area of Asan Bay

Parameters / Group	Major groups			Minor groups and stations		
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	St. 4(W)	St. 9(W)
Environmental factors						
Gravel (%)	0.4±1.3	-	0.1±0.3	-	-	0.4
Sand (%)	30.9±8.6	33.8±9.6	37.4±13.0	32.6±1.5	20.2	40.5
Silt (%)	28.4±10.0	34.6±3.2	26.7±6.2	29.1±0.8	40.2	35.8
Clay (%)	40.3±10.8	31.6±9.0	35.8±11.7	38.3±0.7	39.6	23.2
Mz (Ø)	3.8±0.4	3.5±0.5	4.0±0.4	4.1±0.1	2.5	4.2
IL (%)	2.6±0.5	2.2±0.4	2.3±0.6	2.8±0.5	2.5	3.6
AVS (mg/g)	0.026±0.007	0.026±0.006	0.025±0.002	0.030±0.003	0.020	0.016
Ecological parameters						
No. of species	53±2	53±5	36±1	18±2	8	9
Abundance (inds./m ²)	293±94	504±284	409±358	1,510±1,662	275	135
Biomass (gWWt/m ²)	6.19±5.95	16.65±19.89	19.85±21.14	124.50±171.40	6.65	2.55
Contribute species	<i>Sternaspis scutata</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Theora fragilis</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>	-	-
	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Ampharete arctica</i>	<i>Sternaspis scutata</i>	<i>Lumbrineris longifolia</i>	-	-
	<i>Lumbrineris longifolia</i>	<i>Chaetozone setosa</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Glycera chirori</i>	-	-

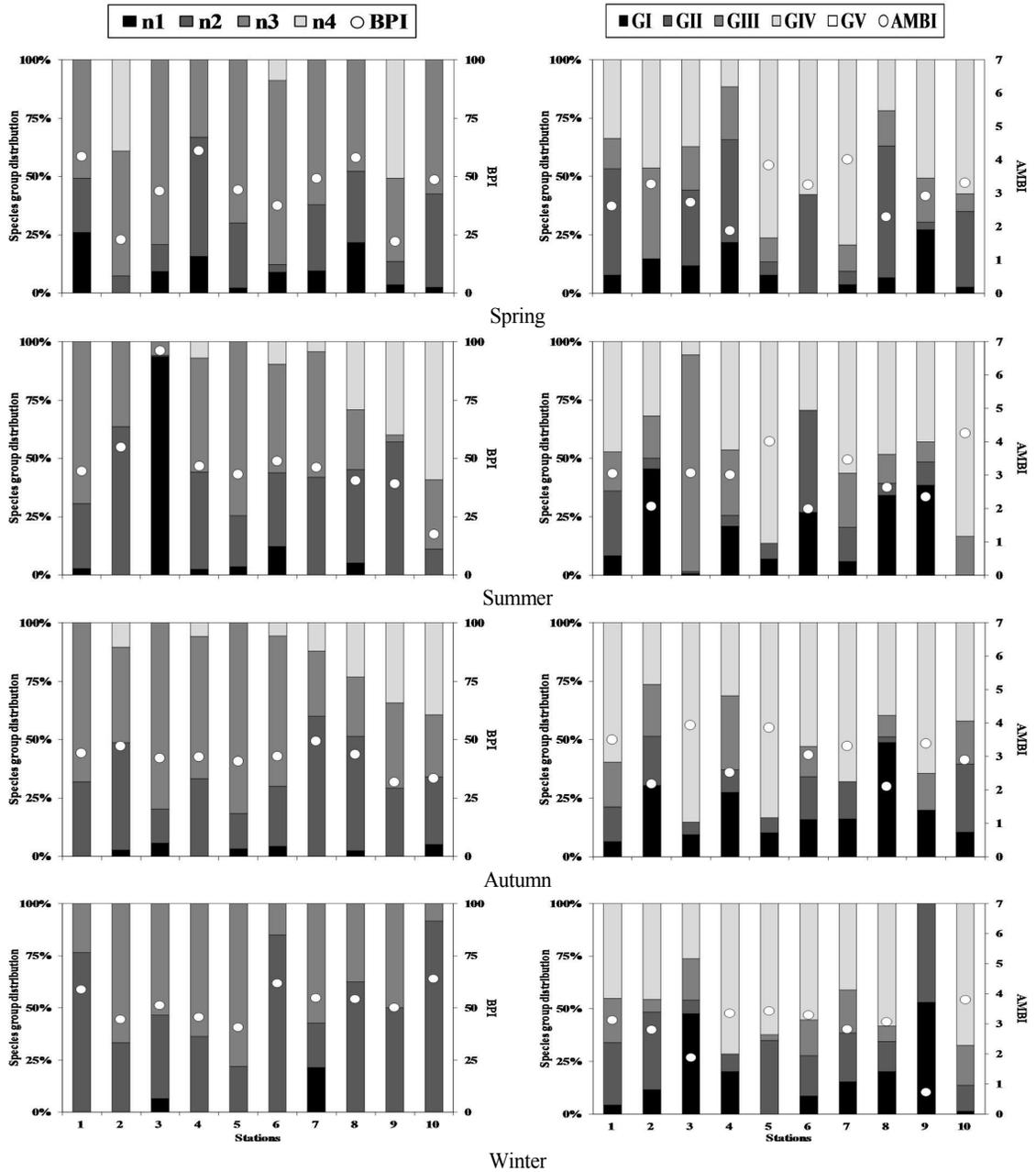
<Table 5> Spearman rank correlation coefficient within the environmental, biological parameters and ecological indices

(*p<0.05,**p<0.01)	Gravel	Sand	Silt	Clay	Mz	Sv	IL	COD	AVS	Temperature	Salinity	pH
Species No.	-	-	-	-	-	-	-	-0.752*	-	-	-	-
Abundance	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomass	-	-0.783**	0.650*	-	-0.697*	-	-	-	-	-	-	-
Diversity' (H')	0.677*	0.760*	-0.673*	-	-	-	-	-0.695*	-	-	-	-
Richness (d)	-	-	-	-	-	-	-	-0.685*	-	-	-	-
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	-	-	-	-	-	0.827**	0.315*	-	-	-	-
<i>Theora fragilis</i>	-	-	0.312*	-	0.412*	-	0.603**	0.661**	-	-	-	-
<i>Sternaspis scutata</i>	-	-	-	0.425**	-	0.657*	0.657*	0.672**	-	-	-	-
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	-	-	-	0.374*	-	-	-	-	0.368*	-	-	-
<i>Chaetozone setosa</i>	-	0.420**	-	-	0.472**	-	-	-0.646*	-	-	-	-

5. 건강도 평가

연구해역에서 출현한 대형저서동물 가운데 개체수에 근거하여 상위 1% 이상의 종들을 대상으로

로 BPI (Benthic Pollution Index) 및 AMBI (Azti's Marine Biotic Index) 값을 계산하였다. 각각의 지수를 산출한 결과 전체적으로 양호한 상태(good



[Fig. 6] Spatial and temporal of ecological quality status by BPI and AMBI in central area of Asan Bay.

status)를 보였으나 썩이 많이 혼합된 석문방조제 주변(춘·하계의 정점 10)과 만 내측에 위치한 지점(춘계의 정점 4, 5)에서 BPI와 AMBI는 공통적으로 심한 오염상태(highly polluted)를 보이는 것으로 확인되었다([Fig. 6]).

IV. 고찰

아산만과 같은 연안 해역은 수온, 염분, DO 그리고 pH 등은 수서생물의 서식범위와 군집 형성에 영향을 주는 중요 요인이며(Buchanan and More, 1986), 방조제를 통한 육수의 유입은 염분과 DO의 농도를 변화시켜 대형저서동물의 종조성에 변화를 유발하게 된다(Boesch et al., 1972; Pearson and Rosenberg, 1978). 이와 같이 아산만 중부 해역의 염분은 하계에 만의 내측으로 이동할수록 감소하였으며, 동계의 경우 만의 내측에서도 높은 것으로 나타나 육상으로부터의 담수유입이 아산만 중부 해역의 염분을 조절하는 인자로 파악되었다.

대형저서동물의 분포에 가장 큰 영향을 주는 요인으로는 퇴적환경을 들 수 있으며, 연안 해역에서 방조제, 연안개발 등의 각종 공사는 해저 지형 및 공사중에 발생하는 부유물질과 퇴적 증가에 의해 퇴적물 조성이 바뀌게 된다(Dauvin et al., 2006; Dauvin et al., 2010). 아산만 중부의 표층퇴적물 입도분석 결과, 외측은 모래함량이 높은 것으로 나타났으며, 지점에 따라 실트 및 점토가 차지하는 비중이 다르게 나타났고, 평균입도는 2.9~4.3 ϕ 의 범위로 대부분이 극세립사(very fine sand) 및 중립실트(medium silt) 사이로 연구 지역 내 아산호, 삽교호, 화성호 등 방조제의 담수와 함께 유입되는 퇴적물의 영향 및 대형선의 운항을 위한 유지 준설로 인하여 입도조성이 변화하는 것으로 판단된다.

일반적으로 퇴적물의 유기물 함량은 평균입도와 관련이 높으며, 퇴적물이 세립 할수록 유기물

이 높은 것으로 알려져 있다(Cho and Park, 1998; Hyun et al., 2003). 그러나 본 연구는 같은 평균입도 내에서 유기물 함량 차이를 나타내었으며, 유기물의 분포 경향은 연구지역 퇴적물 평균입도의 변화와 연관성이 적은 것으로 파악되었다. 한편 COD와 AVS는 퇴적물 내 유기물 오염 및 퇴적물의 건강도를 평가하는 기준으로 널리 이용되고 있으며, 본 연구는 일본의 기준보다 낮은 값으로 나타나 비교적 양호한 환경을 보이는 것으로 확인되었다(Yokoyama, 2000).

연구 해역에 출현한 대형저서동물은 총 78종이 출현하였다. 이 중 환형동물이 54종(69.2%)으로 가장 많았고, 절지동물과 연체동물이 각각 9종(11.5%) 순으로 나타났다. 이러한 종수는 경기만에서 출현한 대형저서동물과 유사한 종수를 보였으나 기존의 아산만에서 출현한 대형저서동물의 종수보다 낮은 경향을 보였다(Shin et al., 1989, 1992). 반면에 본 연구 해역에서의 서식밀도는 439 inds./m²로 경기만 일대에 연구되었던 결과보다 높은 양상을 보였고, 아산만의 연구(Yu et al., 2011) 보다 낮은 양상을 보였다. 환형동물의 평균 서식밀도는 275 inds./m² (62.7%)로 일반적으로 알려진 서해안 저서동물 군집에서 환형동물이 차지하는 비율과 유사하였다(Shin et al., 1992).

본 연구해역에서 우점한 주요 종들은 *H. filiformis*, *T. fragilis*, *S. scutata*, *P. paradoxa*, *C. setosa*, *L. longifolia* 등이었으며, 모든 계절에서 출현 빈도가 높았다. 이들과 같은 일부 소형 다모류들은 외부요인에 의한 오염이 진행되거나 교란된 저서 환경에서 높은 밀도로 출현하는 잠재적 오염 지표종으로 알려져 있으며(Grizzle, 1984; Weston, 1990), 한국 연안에서도 유기물 오염이 일어나는 해역에서 *Capitella capitata*, *L. longifolia*, *H. filiformis* 등의 우점 출현 경향이 보고되었다(Shin and Koh, 1990; Park et al., 1992). 가장 우점한 *H. filiformis*는 과거 경기만 남부 해역에서 우점종으로 출현 하였으며, 경기만에서 잠재적 오염 지표종으로 유기물 오염이 진행된 해역에서

다량 출현할 수 있으므로 지속적인 감시가 필요하다고 보고 하였다(Lee and Choi, 1998). 니질 퇴적물이 높은 비율로 구성된 지역에 유기물이 축적되는 경우 계절에 관계없이 일정한 서식밀도를 나타내는데(Jung, 1998), 이처럼 니질 퇴적물이 높은 내만은 기회종이 서식하는데 안정적인 환경을 보인다. 이러한 기회종이 지속적으로 출현하는 결과는 해수 유통이 원활한 연구 해역의 지형적 특성을 고려할 때 주변 산업단지의 영향을 무시할 수 없을 것이기에 다양한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

대형저서동물의 군집구조는 종내(intraspecific)와 종간(interspecific)의 생물학적인 상호작용을 통하여 정점 또는 계절간의 차이를 나타낸다(Whitlatch, 1977; Peterson, 1991; Byers, 2000). 대형저서동물 군집은 모래 또는 펄 등 하나의 퇴적물이 우세한 해역에서는 낮은 생물다양성 및 개체수를 나타내는 것이 일반적이다(Jung et al., 2014). 본 연구에서 높은 생물량을 보이는 정점들은 퇴적물 특성이 자갈, 모래 그리고 펄 등이 혼합된 퇴적물에서 생물 다양성이나 서식밀도가 높다는 연구 결과와 잘 부합하였다(Seo, 2003). 또한, *H. filiformis*, *T. fragilis*, *S. scutata*는 유기물에 뚜렷한 상관관계를 보이며 폭 넓게 분포하는 것으로 나타나 본 해역의 생태적 지위가 매우 넓은 종으로 확인되었고, 따라서 본 해역의 유기물 오염의 가능성을 반영하는 지표종으로 이용이 가능 할 것으로 판단된다.

대형저서동물은 서식처 교란에 민감하게 반응하고, 환경변화의 영향을 감지하는데 유용한 생물군으로 이용되고 있다(Jung et al., 2014). 지금까지 연구된 연안의 저서동물 군집은 BPI값이 30 이하의 낮은 값을 보이고, 유기물 오염이 비교적 외해역에서는 60이상의 값을 보였다(Choi and Seo, 2007; Lim et al., 2007). 또한 가막만의 경우 하계 hypoxia zone이 형성되는 내만역에서 BPI값이 15~49로 중간정도~매우 심한 오염상태를 보이고 있었으며(Seo et al., 2012), 주변에 해양오염을 야기시킬 가능성이 거의 없는 득량만은

55~61로 양호한 환경을 나타내고 있었다(Seo et al., 2014). 본 연구는 몇몇 정점에서 가장 불량 상태(bad status)와 중간 상태(moderate status)를 보이는 것으로 나타났으나 전체적으로 53±5로 양호한 상태(good status)를 나타내었다.

AMBI는 오염원이 달라도 비교적 잘 적용되는 점에서 유럽을 비롯한 많은 국가에서 이용되고 있고(Borja et al., 2003), 2000년 이후 아시아 국가에서 출현종에 대한 정보가 지속적으로 추가되고 있다(Cai et al., 2012). 본 연구해역의 계절별 평균 AMBI는 1.65~3.06로 전체적으로 양호한 상태(good status)를 보였다. 또한, 진해만의 3.39±1.04 (Lim et al., 2007), 가막만의 2.3~5.4 (Seo et al., 2012), 천수만의 2.68~3.05 (Wi et al., 2014) 보다 낮았고, 거제도 남동부 연안의 1.84~2.48 보다 다소 높았다. 국내의 저서생물을 이용한 건강도를 평가하기 위해서는 소규모 내만 및 연안역은 BPI가 적용되는 것이 적합하며, 아울러 기능군이 다양한 AMBI를 병행하는 것이 바람직하다고 보고 되었다(Choi and Seo, 2007). 본 연구에서 사용한 BPI 및 AMBI를 종합적으로 파악한 결과, 아산만 중부 해역의 건강도 평가는 어떠한 특정지수를 이용하는 것이 적절하다고 단정하기에는 사실상 어려움이 있다. 다만, 본 연구에서 공통적인 것은 불량 상태(poor status) 및 가장 불량 상태(bad status)를 나타낼 경우에는 공통적으로 열악한 환경을 반영하고 있다는 점에서 향후 아산만 중부 해역의 장기 모니터링, 산업단지 개발 및 운영 등에 대한 오염지역 선정에 중요하게 작용할 것으로 판단된다.

References

- Able KW, Manderson JP and Studholme AL(1999). Habitat quality for shallow water fishes in an urban estuary: The effects of man-made structures on growth. Marine. Ecology. Progress Series, 187, 227~235.

- <https://doi.org/10.3354/meps187227>.
- Boesch DF(1972). Species diversity of marine macrobenthos in the Virginia area. *Chesapeake Science*, 13(3), 206~211.
<https://doi.org/10.2307/1351065>.
- Borja A, Franco J and Perez B(2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1,100~1,114.
[https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(00)00061-8).
- Borja A, Muxika I and Franco J(2003). The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 46(7), 835~845.
[https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(03\)00090-0](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(03)00090-0).
- Bray RJ and Curtis JT(1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325-349.
<https://doi.org/10.2307/1942268>.
- Buchanan JB and Moore JJ(1986). A broad review of variability and persistence in the Northumberland benthic fauna. *Marine Biological Association, UK*, 66(3), 641~657.
<https://doi.org/10.1017/s0025315400042259>.
- Burd BJ, Baarner PAG, Wright CA and Thomson RE(2008). A review of subtidal benthic habitats and invertebrate biota of the strait of Georgia, British Columbia. *Marine Environment Research*, 66, S3~S8.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.09.004>.
- Byers J(2000). Competition between two estuarine snails: Implications for invasions of exotic species. *Ecology*, 81(5), 1,225~1,239.
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1225:cbtes\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1225:cbtes]2.0.co;2).
- Cai W, Liu L, Meng Wand Zheng B(2012). The suitability of AMBI to benthic quality assessment on the intertidal zones of Bohai Sea. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 32, 992~1,000.
- Cho YG, and Park KY(1998). Heavy metals in surface sediments of the Youngsan Estuary, west coast of Korea. *Journal Korea Environment Science Society*, 7(4), 549~557.
- Choi JW and Koh CH(1990). Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea (south-western sea of Japan) Korea. *Journal Oceanology Society Korea*, 25, 36~48.
- Choi JW and Seo JY(2007). Application of biotic indices to assess the health condition of benthic community in Masan Bay, Korea. *Ocean Polar Research*, 29(4), 339~348.
<https://doi.org/10.4217/opr.2007.29.4.339>.
- Conway MS(1979). Middle Cambrian polychaetes from the Burgess Shale of British Columbia. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 285(1,007), 227~274.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1979.0006>.
- Dauer DM(1993). Biological criteria environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin*, 26(5), 249~257.
[https://doi.org/10.1016/0025-326x\(93\)90063-p](https://doi.org/10.1016/0025-326x(93)90063-p).
- Dauvin JC, Alizier S, Vallet C and Ruellet T(2010). Does the port 2000 harbour construction have an effect on the Seine estuary suprabenthic community? *Estuarine Coast. and Shelf Science*, 86(1), 42~50.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.10.005>.
- Dauvin JC, Desroy N, Jason AL, Vallet C and Duhamel S(2006). Recent changes in estuarine benthic and suprabenthic communities resulting from the development of harbour infrastructure. *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4), 80~90.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.020>.
- Dolbeth M, Martinho F, Viegas I, Cabral H and Pardal MA(2008). Estuarine production of resident and nursery fish species: Conditioning by drought events? *Estuarine Coast and Shelf Science*, 78(1), 51~60.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.021>.
- 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.
- Fauchald K(1974). Polychaete phylogeny: A problem in protostome evolution. *Systematic. Biology*, 493~506.
<https://doi.org/10.1093/sysbio/23.4.493>.

- Franco A, Elliott M, Franzoi P and Torricelli P(2008). Life strategies of fishes in European estuaries: The functional guild approach. *Marine Ecology Progress Series*, 354, 219~228.
<https://doi.org/10.3354/meps07203>.
- Grebmeier JM, Feder HM and Mcroy CP(1988). Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass. *Marine Ecology Progress Series*, 51, 253~268.
<https://doi.org/10.3354/meps051253>.
- Guzzle RE(1984). Pollution indicator species of macrobenthos in a coastal lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 18, 191~200.
<https://doi.org/10.3354/meps018191>.
- Hong JS(1987). Summer oxygen deficiency and benthic biomass in Chinhae Bay. *Journal of the Oceanology Society Korea*, 22, 246~256.
- Hutchings P(1998). Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity Conservation*, 7(9), 1,133~1,145.
<https://doi.org/10.1023/a:1008871430178>.
- Hwang DW and Kim PJ(2013). Evaluation of organic matter and trace metal contaminations of intertidal sediments from coastal islands in the southern region of Jeollanam province. *Fisheries and Aquatic Science*, 46(5), 626~637.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2013.0626>.
- Hyun S, Choi JW, Choi JS and Lee T(2003). Surface sediment characteristics and benthic environments in the mouth of Jinhae Bay, Korea. *Fisheries and Aquatic Science*, 36(6), 700~707.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.6.700>.
- Jeong YH, Cho MK, Lee DG, Doo SM, Choi HS and Yang JS(2016). Seasonal variation in seawater quality due to freshwater discharge in Asan Bay. *Journal of the Korea Society Marine Environment and Safety*, 22(5), 454~467.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.5.454>.
- Jones RF, Baltz DM and Allen RL(2002). Patterns of resource use by fishes and macroinvertebrates in Barataria Bay, Louisiana. *Marine Ecology Progress Series*, 237, 271~289.
<https://doi.org/10.3354/meps237271>.
- Jung RH(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 University, 304 pp.
- Jung RH, Seo IS, Lee WC, Kim HC, Park SR, Kim JB, Oh CW and Choi BM(2014). Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at spring and summer in Cheonsu Bay, west coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 19(4), 272~286.
<https://doi.org/10.7850/jks0.2014.19.4.272>.
- KORDI(Koera Ocean Research and Development Institute)(2010). Development of marine ecosystem health index (MEHI): The special management areas of the South Sea. BSPE 98589-10041-3, 396 PP.
- Lampitt RS, Billett DSM and Rice AL(1986). Biomass of the invertebrate megabenthos from the 500-4,100m in the northeast Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 93(1), 69~81.
<https://doi.org/10.1007/bf00428656>.
- Le Bris H(1988). Fonctionnement des ecosystemes benthiques cotiers au contact d'estuaires: la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These de doctorat d'Océanologie Biologique, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 1~311.
- Lee HY and Lee SH(1997). Impacts of large-scale reclamation on environment in Korea. *Journal of the Korea Geographical Society*, 32, 463~478.
- Lim HS and Choi JW(1998). Macrobenthic community at the subtidal area around Taebudo in Kyeonggi Bay, Korea. *Korean Journal of the Fisheries and Aquatic sciences*, 31, 453~462.
- Lim KH, Shin HC, Yoon SM and Koh CH(2007). Assessment of benthic environment based on macrobenthic community analysis in Jinhae Bay, Korea. (The Sea) *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 12, 9~13.
- Margalef R(1958). Information Theory in Ecological. *General Systems*, 3, 33~71.
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)(2010). A guidebook for the seawater, sediment and marine biota analyses in ocean environment, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM notice 2010-914, 495 pp.
- Nybakken JW and Bertness MD(2004). *Marine biology: An ecological approach* (6th edition), 516.

- Park HS, Choi JW, Je JG and Lee JH(1992). Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. *Korean Journal of the Fisheries and sciences*, 25(2), 115~132.
- Pearson TH and Rosenberg R(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography Marine. Biology. Annual. Review*, 16, 229~311.
- Peterson CH(1979). Predation, competitive exclusion, and diversity in the soft-sediment benthic communities of estuary and lagoons. *Ecological Processes in Coastal and Marine System*, 233~264.
- Peterson CH(1991). Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *America. Science*, 79, 236~249.
- Rhoads DC and Young DK(1970). The influence of deposit-feeding organism on the sediment stability and community trophic structure. *Marine Research*, 25, 150~178.
- Sanders HL(1958). Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sed-iment relationships. *Limnology and Oceanography*, 3(3), 245~258.
<https://doi.org/10.4319/lo.1958.3.3.0245>.
- Sanders HL(1960). Benthic studies in Buzzards Bay. III. The structure of the soft-bottom community1. *Limnology and Oceanography*, 5(2), 138~153.
<https://doi.org/10.4319/lo.1960.5.2.0138>.
- Seo IS(2003). Community structure and trophic relationships of macro and megabenthic assemblages on Incheon macrotidal flat of the Yellow Sea. Ph.D. Thesis Inha Univ., 273 pp.
- Seo JY, Lim HS and Choi JW(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 Science Journal*, 49(3), 313~328.
<https://doi.org/10.1007/s12601-014-0030-9>.
- Seo JY, Park SW, Lee JH and Choi JW(2012). Structural changes in macrozoobenthic communities due to summer hypoxia in Gamak Bay, Korea. *Ocean Science Journal*, 47(1), 27~40.
<https://doi.org/10.1007/s12601-012-0003-9>.
- Shannon CE and Weaver W(1963). The mathematical theory of communication. Urb. Univ. Ill. Press, 125.
- Shin HC and Koh CH(1990). Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *The Korean Society of Oceanography*, 25, 205~216.
- Shin HC, Choi JW and Koh CH(1989). Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter-and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *The Korean Society of Oceanography*, 24(4), 184~193.
- Shin HC, Kang SK and Koh CH(1992). Benthic polychaete community in the southern area of Kyeonggi Bay, Korea. *The Korean Society of Oceanography*, 27(2), 164~172.
- Warwick RM and Clarke KR(1993). Comparing the severity of disturbance: A meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Marine Ecology Progress Series*, 92, 221~231.
<https://doi.org/10.3354/meps092221>.
- Weston DP(1990). Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 233~244.
<https://doi.org/10.3354/meps061233>.
- Whitlatch RB(1977). Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Biological Bulletin*, 152(2), 257~294.
<https://doi.org/10.2307/1540565>.
- Wi CW, Lee JH and Shin HC(2014). Spatio-temporal distribution of benthic polychaetous communities and their health conditions in Garolim Bay west coast of Korea. *The Korean Society of Oceanography*, 19(4), 256~264.
<https://doi.org/10.7850/jkso.2014.19.4.256>.
- Woo HJ, Cho JH, Jeong KS, Chung CS, Kwon SJ and Park SM(2003). Pollution history of the Masan Bay, southeast Korea, from heavy metals and foraminifera in the subsurface sediments. *Journal of Korea Earth Science Society*, 24, 635~649.
- Woo HJ, Kim HY and Jeong KS(1999). Response of benthic foraminifera to sedimentary pollution in Masan Bay, Korea. *The Korean Society of Oceanography*, 4, 144~154.
- Woodin SA(1976). Adult-larval interactions in dense infaunal assemblage: Patterns of abundance. *Marine Research*, 34, 25~41.
- Yang JS, Jeong JY, Heo JT, Lee SH and Choi

- JY(1999). Chemical mass balance of materials in the Keum River estuary 1 seasonal distribution of nutrients, (The Sea). The Korean Society of Oceanography, 1, 71~79.
- Yokoyama H(2000). Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal area: A new policy and its potential problems. Bulletin. Nat'l. Research Instrument. Aquaculture, 29, 123~134.
- Yu OH, Lee HG and Lee JH(2011). The influence of environmental variables on macrobenthic communities after dike construction in Asan Bay, Korea Journal of Environmental Biology, 29(4), 326~344.
-
- Received : 25 June, 2021
 - Revised : 12 July, 2021
 - Accepted : 16 July, 2021