

# 거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 층계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

정래홍\* · 서인수\*\*† · 최병미\*\* · 최민규\*\*\* · 윤상필\*\*\* · 박상률\*\*\*\* · 나종현\*\* · 윤재성\*\*

\* , \*\*\* 국립수산물품질관리원 어장환경과, \*\* (주)저서생물연구센터, \*\*\*\* 제주대학교 해양의생명과학부

## Community Structure and Health Assessment of Macrobenthic Assemblages at Spring and Summer in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea

Rae Hong Jung\* · In-Soo Seo\*\*† · Byoung-Mi Choi\*\* · Minkyu Choi\*\*\* · Sang-Pil Yoon\*\*\* ·

Sang Rul Park\*\*\*\* · Jong Hun Na\*\* · Jae Seong Yun\*\*

\* , \*\*\* Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

\*\* Korea Benthos Research Center, Co. Ltd. 14, Suyeong-ro 366 beon-gil, Nam-gu, Busan 48510, Korea

\*\*\*\* Faculty of Marine Biomedical Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

**요 약 :** 본 연구는 거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 건강도를 평가하는데 목적이 있다. 대형저서동물의 채집을 위한 현장조사는 2013년 5월(이하 춘계)과 8월(이하 하계)에 실시하였다. 거제한산만에서는 총 300종 7.6 m<sup>2</sup>과 75,760개체(1,994개체 m<sup>-2</sup>)의 대형저서동물이 출현하였고, 다모류가 110종과 49,955개체(1,315개체 m<sup>-2</sup>)의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다. 거제한산만의 주요 우점종은 다모류의 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*, 299±164개체 m<sup>-2</sup>), *Aphelocheata monilaris*(100±57개체 m<sup>-2</sup>), 이매패류의 종뿔(*Musculista senhousia*, 91±96개체 m<sup>-2</sup>) 및 다모류의 꼬리대나무갯지렁이(*Praxillella affinis*, 80±66개체 m<sup>-2</sup>) 등이었다. 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 파악한 결과, 대형저서동물 군집은 크게 내만역(산달도 인근 양식어장) 정점군과 수로역(한산도에서 추봉도 해역) 정점군으로 대별되었다. 거제한산만의 건강도를 평가한 결과, 수로역의 정점군과 비교해 내만역에 위치한 산달도 인근 양식어장 정점군에서 환경질이 상대적으로 불량하였다. 또한 3개의 생물 평가지수(다양도 지수, M-AMBI 지수 및 환경보진도 지수)는 AMBI 지수와 비교해 상대적으로 효율적인 지수임을 알 수 있었다.

**핵심용어 :** 대형저서동물 군집구조, 건강도 평가, AMBI, M-AMBI, 환경보진도, 거제한산만

**Abstract :** This study was performed to investigate the community structure and health assessment of macrobenthic assemblages in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea. Macrobenthos were collected by van Veen grab sampler at May (spring) and August (summer) 2013. The total species number and mean density were 300 species 7.6 m<sup>-2</sup> and 1,994 ind. m<sup>-2</sup>, respectively. The major dominant species were the polychaetes *Lumbrineris longifolia* (299±164 ind. m<sup>-2</sup>), *Aphelocheata monilaris* (100±57 ind. m<sup>-2</sup>), the bivalve *Musculista senhousia* (91±96 ind. m<sup>-2</sup>) and the polychaete *Praxillella affinis* (80±66 ind. m<sup>-2</sup>). From the community statistics [cluster analysis and nonmetric multidimensional scaling (NMDS) ordination], the macrobenthic community was distinguished into two groups of inner bay (farming ground of near Sandal Island) and channel station (from Hansan Island to Chubong Island) group. In this study, the ecological status was assessed by four biotic indices Shannon's H', the ATZI Marine Biotic Index (AMBI), multivariate-AMBI (M-AMBI) and the Environment Conservation Index (ECI). The ecological status of the macrobenthic community in Geoje-Hansan Bay were poorer in the inner bay station than in the channel station. The results of the present study showed that three biotic indices (Shannon's H', M-AMBI and ECI) were valid as an index for evaluating the ecological status than the AMBI.

**Key Words :** Macrobenthic community structure, Health Assessment, AMBI, M-AMBI, ECI, Geoje-Hansan Bay

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

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

## 1. 서론

거제한산만은 길이 10 km, 너비 2~6 km에 거제도, 화도, 한산도 및 추봉도 등의 크고 작은 4개의 섬으로 둘러싸여 있고, 남동쪽과 북서쪽에 만 입구가 위치하는 반폐쇄적인 지형특성을 보인다(Cho et al., 2010). 거제한산만의 수심은 화도와 추봉도를 연결하는 주수로에서 약 20~40 m 내외로 깊은 편이나, 산달도 주변해역은 10 m 이내를 나타내 상대적으로 얕은 편이다(Yoon et al., 2009). 거제한산만의 해역면적은 약 96.3 km<sup>2</sup>이며, 이 중 패류양식장의 면적은 어업허가권을 기준으로 7.1 km<sup>2</sup>에 해당되어 전체 해역면적의 7.4%를 점유하고 있다(NFRDI, 2002). 또한 연구해역은 1974년 수산청 고시 제15호에 의해 참굴(*Crassostrea gigas*), 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*) 및 멩게(*Halocynthia roretzi*) 등의 집약적 해상양식이 이루어지고 있다. 그러나 대규모의 집약적 양식이 좁은 해역에서 이루어지는 관계로 유기물 유입에 의한 환경적 피해가 농후한 해역으로 고려되고 있다(Yoon et al., 2009). 한편 우리나라에서는 어류 및 패류 등을 포함하여 해상에서의 양식어장 운영이 저서생태계에 미치는 영향을 규명하기 위하여 다수의 연구가 실시된 바 있다(Lim et al., 1992; Park et al., 2000; Jung et al., 2002, 2007; Yoon et al., 2007, 2009). 일반적으로 가두리형 어류양식어장에서는 다량의 인공사료 투입과 주변으로부터 유입된 유기물이 저층에 퇴적됨으로써 해수의 탈산소화를 유발하여 저서생태계에 심각한 피해를 미치는 것으로 알려져 있다(Tsutsumi, 1995; Edgar et al., 2005). 반면 수하식 패류양식어장에서는 양식생물과 부착생물에서 기원한 분(faeces)과 위분(pseudofaeces)이 쌓임으로써 퇴적물의 화학적 조성은 물론 대형저서동물의 군집변화를 유발하는 것이 지배적이다(Uyeno et al., 1970; Crawford et al., 2003). 이렇듯 대형저서동물 군집은 서로 다른 형태의 환경교란에 적응내성을 가지는 다양한 생물군을 포함하고 있으며, 퇴적물의 내부 또는 표면 위를 흐르는 해수와 영양염 순환(또는 물질순환)에서 중요한 역할을 담당하고 있다(Diaz et al., 2004; Dauvin et al., 2007). 따라서 대형저서동물의 출현 종수, 개체수 및 군집구조의 파악은 해역의 구조적 안정성 및 건강도 평가와 더불어 환경교란의 정도를 감시하는데 있어 필수적이다(Parker, 1975; Rosenberg and Nilsson, 2005; Wildsmith et al., 2009). 이러한 이유로 해양생태계 연구에 있어서 대형저서동물을 대상으로 하는 다양한 생물 평가지수들이 개발되고 있으며, 생물 평가지수들은 서로 다른 형태의 교란으로부터 생태계의 질적인 상태(quality status)를 평가하고 감시하는데 있어 효율적인 수단이 되고 있다(Borja et al., 2004). 지금까지 해양생태계를 대상으로 서식처 교란에 따른 대형저서동물 군집의 변화정도를 파악하기 위하여 단변량 분석(출현 종수,

개체수 및 생태학적 지수 등)과 함께 다양한 그래픽 분석법(SAB curve, Rank-Frequency diagram, ABC method)이 이용되어 왔다(Pearson and Rosenberg, 1978; Gray, 1981; Warwick and Clarke, 1994). 특히 본 연구에서 적용된 AMBI(ATZI's Marine Biotic Index, Borja et al., 2003)와 M-AMBI(Multivariate-AMBI, Muxica et al., 2007)는 전 세계적으로 무산소와 빈산소해역, 부영양화해역, 해사채취, 준설 및 유류오염해역, 생활 및 산업오염수 유출해역 등과 같이 인위적인 교란을 수렴하는 환경에 대한 감지와 평가능력에 있어서 효과적인 수단으로 인식되고 있다(Borja et al., 2009). 반면, 우리나라의 경우에는 BPI 지수(Choi et al., 2003)와 ISEP 지수(Yoo et al., 2010)가 국가주관의 사업에 대표적으로 이용되고 있으나, 일반화 또는 상용화라는 관점에서는 아직 고려해야 할 점이 있는 것이 사실이다. 즉 BPI 지수는 분석에 이용되는 개별 생물의 먹이 식성에 대한 정보축적이 아직까지 많이 부족한 실정이며, ISEP 지수는 연구대상 해역의 생물다양성이 매우 낮음에도 불구하고 양호한 환경상태를 나타내는 경우가 종종 발생하고 있다는 점이다. 지금까지 거제한산만에서 수행된 연구로는 주로 참굴을 대상으로 하는 먹이원(Bang, 1967), 성장과 저해요인(Bae et al., 1978; Choi et al., 1997) 및 환경수용력 산정(Park et al., 2002; Lee et al., 2011) 등이 있다. 반면 대형저서동물에 대한 연구는 군집구조와 저서환경의 시공간적 변화양상을 밝힌 Yoon et al.(2009)이 유일하다. 따라서 본 연구는 거제한산만 해역에 서식하는 대형저서동물 군집의 춘계와 하계 조사를 통하여 생물다양성, 생물지수(개체수 및 생체량) 및 군집구조를 파악하고, 현 상태의 건강도를 평가하는데 목적이 있다. 결국 본 연구는 양식어장의 운영에 따른 저서생태계의 영향유무 평가와 동시에 효율적인 어장운영의 방안을 마련하는 기초자료의 생산이라는 점에서 의의가 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 현장조사

연구해역에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 개체수, 군집구조 및 건강도 등을 파악하기 위하여 2013년 5월(이하 춘계)과 8월(이하 하계)에 각각 19개 정점을 대상으로 현장 조사를 실시하였다(Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 채집면적이 0.1 m<sup>2</sup>인 채니기(van Veen grab sampler)를 이용하여 정점당 2회(0.2m<sup>2</sup>)의 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1 mm망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 10%의 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시하였고, 개체수를 계수하였다. 한편 연구해역의 수질환경요인은 대형저서

## 거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 층계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

동물의 채집과 동시에 다기능수질측정기(YSI 600QS)를 이용하여 저층수의 수온, 염분농도와 용존산소량을 측정하였다. 퇴적물환경요인으로는 환경보전도 지수의 산출을 위하여 퇴적물의 강열감량(Ignition Loss)을 포함한 총유기탄소량(Total Organic Carbon, 이하 TOC)과 산휘발성황화물(Acid Volatile Sulfide, 이하 AVS)농도를 측정하였다. 또한 측정된 환경요인은 생물지수(출현 종수, 개체수 및 생체량)와의 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 지수(Pielou, 1977)를 구하였다. 한편 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 Bray and Curtis(1957)의 유사도지수(similarity index)를 이용하였다. 또한 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 적용하였다. 군집분석은 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.

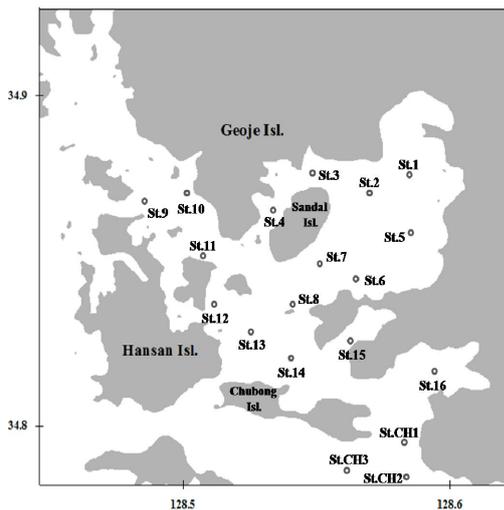


Fig. 1. Location of sampling stations in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

### 2.3 건강도

연구해역의 건강도 평가를 위하여 AMBI, M-AMBI 지수와 함께 환경보전도 지수(ECI, Environment Conservation Index, <http://www.tokenshi-kankyo.jp>)를 산출하였다(Table 1 and 2). 이 중 AMBI와 M-AMBI 지수는 AZTI해양연구소에서 제공하는

software program(<http://www.azti.es>)을 이용하였다. 또한 일본 동경만 연안을 중심으로 제한적으로 이용되고 있는 환경보전도 지수는 2개 지수와 비교를 시도하기 위하여 도입하였다. 그러나 현재까지 영문(英文)으로 소개되지 않고 있어서 지수명칭과 등급기준의 표기는 임의로 작성하였다.

#### 1) AMBI 지수

$$=(0\times\%G I)+(1.5\times\%G II)+(3.0\times\%G III)+(4.5\times\%G IV)+(6.0\times\%G V)/100$$

G I = 유기물 증가에 매우 민감한 종[정상환경에서만 출현하며, 특정 육식자와 서관을 가진 식자를 포함함]

G II = 유기물 증가에 둔감한 종[정상환경에서 낮은 밀도를 가지는 종으로, 여과식자, 일반적인 육식자 및 부식자를 포함함]

G III = 유기물 증가에 내성이 강한 종[표층퇴적물식자로 얼굴갯지렁이류(Spionidae)등이 포함됨]

G IV = 2차 기회종[표층하퇴적물식자로 실타래갯지렁이류(Cirratulidae)등이 포함됨]

G V = 1차 기회종[현저히 불균형한 환경상태의 종으로 환원환경의 퇴적물에서 번성하는 퇴적물식자를 포함함]

결과 값은 0-7사이의 범위이며, 7은 무생물상태를 나타낸다(Table 1).

#### 2) M-AMBI 지수

본 지수는 Shannon의 다양도, 풍부도와 AMBI 지수 등을 통합하여 다변량 분석법의 하나인 인자분석(Factor Analysis)을 이용하여 산출한다. M-AMBI 지수는 1에 가까울수록 최적의 상태인 high status(가장 양호)로, 0에 가까울수록 최악의 상태인 bad status(가장 불량)로 고려되고 있으며, 결과 값은 다양한 형태의 상호검증의 과정을 거쳐 생산되었다(Borja et al., 2009; Table 1).

#### 3) 환경보전도 지수

환경보전도 지수는 동경만을 공유하는 7개의 지방자치단체가 저질(퇴적물)개선대책 수립을 위하여 고안한 평가법이다. 본 지수는 연구해역에서 출현한 대형저서동물의 출현 종수, 전체 출현 종수 중에서 갑각류의 점유율, 우점지표생물(또는 오염지표종)과 퇴적물의 유기물 함량(강열감량 또는 화학적산소요구량) 등을 종합적으로 고려하여 산출한 값으로, 1995년부터 현재까지 동경만의 저질개선 대책을 위한 모니터링의 관점에서 지속적으로 이용되고 있다([www.tokenshi-kankyo.jp](http://www.tokenshi-kankyo.jp)). 환경보전도 지수는 총 5개 등급으로 구분되며, 이 중 최고등급인 IV등급(가장 양호)은 다양한 생물이 서식하며, 용존산소량이 풍부하고, 환경적으로 잘 보전된 상태를 나타낸다. 다음으로 III등급(양호)은 환경적으로 어느 정도 보전되어

있으나, 하계에 저층수의 용존산소량이 감소하는 등 서식환경이 일시적으로 악화된 상태를 반영한다. II등급(중간)은 퇴적물의 유기물 오염이 진행되어 빈산소수역의 가능성이 있으며, 저서생물은 오염에 내성을 가진 종이 우점한다. I등급(불량)은 일시적으로 무산소수역이 되며, 퇴적물은 대부분 검은색을 띠고, 저서생물은 오염에 대한 내성을 가지는 종을 중심으로 구성되는 환경을 나타낸다. 마지막으로 최하등급인 0등급(가장 불량)은 I등급과 유사하게 퇴적물은 검은색을 띠면서 용존산소가 거의 없어 저서생물이 서식하지 않으며, 가장 불량한 환경상태를 반영한다. 한편 본 지수는 1)전체 출현 종수가 4종 이하인 경우에는 갑각류의 점유율이 높다하더라도 평점이 1로 부여된다거나 또는 2)전체 출현 종수가 2종 이하인 경우에는 우점종의 출현에 상관없이 평점을 1로 부과하는 등 제한요인이 있다. 또한 퇴적물의 유기물 함량은 강열감량의 적용을 기본으로 하고 있으나, 이를 측정하지 못했을 경우에는 퇴적물의 화학적산소요구량(COD)으로 대체·평가할 것을 권고하고 있다.

### 3. 결 과

#### 3.1 환경요인

연구해역의 수심은 5.0~22.0 m의 범위에 정점 15에서 가장 얇았고, 정점 14에서 가장 깊었다. 이 외에 정점 9, 10, 11, 14와 가장 외해역에 위치한 대조구 정점의 CH1~CH3에서 약 15.0 m 이상으로 깊었다. 저층수의 수온은 춘계와 하계에 각각 15.07~17.08°C(평균 16.05±0.63°C)와 15.52~18.72°C(평균 17.08±1.00°C)의 범위를 나타내었다. 염분농도는 춘계에 최소 34.25에서 최대 34.72를 나타내었고, 평균 값은 34.47(±0.13)이었다. 또한 하계에는 32.92~33.25(평균 33.05±0.10)의 범위를 보였다. 저층수의 수온과 염분농도는 조사시기와 정점에 있어 차이가 거의 없었다. 반면, 용존산소량은 춘계에 최소 3.94 mg L<sup>-1</sup>(정점 10)에서 최대 11.06 mg L<sup>-1</sup>(정점 CH3)를 나타내었고, 평균 값은 7.50±2.54 mg L<sup>-1</sup>이었다. 또한 하계에 4.13~6.35 mg L<sup>-1</sup>(평균 5.79±0.51 mg L<sup>-1</sup>)의 범위에 정점 2에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 13에서 가장 높았다. 따라서

Table 1. Thresholds utilized for each index in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea(†ECJRC, 2008)

Ecological Status	*Diversity with muddy sediment	AMBI	M-AMBI	ECI
H (high, normal, unpolluted)	$3.3 \leq H'$	$0.0 < AMBI \leq 1.2$	$0.77 < M-AMBI$	$14 < ECI$
G (good, slightly polluted)	$2.5 < H' \leq 3.3$	$1.2 < AMBI \leq 3.3$	0.53 - 0.77	10 - 13
M (moderate, moderately polluted)	$1.8 < H' \leq 2.5$	$3.3 < AMBI \leq 4.3$	0.38 - 0.53	6 - 9
P (poor, highly or heavily polluted)	$1.1 < H' \leq 1.8$	$4.3 < AMBI \leq 5.5$	0.20 - 0.38	3 - 5
B (bad, extremely polluted or azoic)	$H' \leq 1.8$	$5.5 < AMBI \leq 7.0$	$M-AMBI < 0.20$	0 - 2

Table 2. Environment Conservation Index of using the macrobenthos and sediment organic content

Item / Score	4	3	2	1	0		
1 Number of Species	> 30 species	20 - 29 species	10 - 19 species	< 10 species	Azoic		
2 Malacostraca composition(%) of total species number	> 20%	10 - 20%	5 - 10%	< 5%	0		
3 Organic content of sediment	Ignition Loss(%)	< 2	< 5	< 10	< 15	> 15	
	COD (mg g <sup>-1</sup> )	< 3	< 15	< 30	< 50	> 50	
4 Dominant indicator species	Except for B and C group species	A		B		C	
				<i>Lumbrineris longifolia</i>	<i>Paraprionospio</i> sp. (type A)		
				<i>Raeta rostralis</i>	<i>Theora lata</i>		
				<i>Prionospio pulchra</i>	<i>Sigambra hanaokai</i>		
Assessment of top 3 dominant species	Except for B and C group species in top 3 species	Except for A, C group species and/or Azoic condition	Including over 2 species in C group species				

거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

Table 3. Summary of environmental parameters at each station in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea (S, spring; Su, summer)

Station	Water depth (m)	Bottom Water Temperature (°C)		Bottom Water Salinity		Bottom Dissolved oxygen (mg L <sup>-1</sup> )		Ignition Loss (%)		Total Organic Carbon(TOC) (mg g <sup>-1</sup> dry wt.)		Acid Volatile Sulfide(AVS) (mg g <sup>-1</sup> dry wt.)	
		S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su	S	Su
1	8.6	16.93	18.72	34.49	32.93	5.97	6.01	9.43	7.33	23.83	21.60	0.099	0.299
2	9.2	17.08	18.16	34.45	32.93	5.03	4.13	7.88	7.58	18.57	21.55	0.209	0.479
3	9.4	16.90	18.27	34.34	32.92	5.91	5.11	7.68	6.93	17.37	20.65	0.189	0.743
4	9.2	16.37	17.71	34.46	32.97	4.26	5.76	9.09	7.35	20.29	18.65	0.077	0.084
5	10.3	16.71	17.98	34.51	32.99	4.51	6.24	7.81	6.83	18.90	18.45	0.290	0.320
6	10.9	16.31	17.29	34.38	32.99	4.90	5.61	10.50	7.17	26.67	18.60	0.387	0.130
7	10.5	16.18	17.32	34.36	33.07	10.43	6.30	8.39	7.58	17.80	18.45	0.067	0.092
8	13.1	15.55	16.74	34.51	33.11	9.88	6.23	9.12	6.73	17.49	15.50	0.003	0.021
9	17.6	16.27	16.57	34.31	33.01	5.49	5.55	8.85	7.29	19.35	17.80	0.006	0.071
10	15.6	16.06	16.74	34.34	33.00	3.94	5.47	8.55	7.43	20.99	18.90	0.158	0.053
11	19.7	15.93	17.65	34.41	32.97	4.93	5.71	8.70	7.34	17.89	18.45	0.013	0.118
12	7.9	16.64	17.35	34.25	33.07	9.07	6.08	8.55	6.69	21.77	16.05	0.083	0.145
13	13.1	15.57	18.31	34.53	33.01	9.90	6.35	8.25	7.41	19.98	17.50	0.130	0.094
14	22.0	15.40	15.92	34.57	33.18	9.61	5.94	7.31	7.37	16.70	17.05	0.004	0.073
15	5.0	15.93	17.03	34.50	33.05	9.52	6.01	7.90	8.87	25.06	24.95	0.433	0.618
16	10.5	15.32	15.94	34.60	33.09	8.70	5.95	8.25	6.91	16.70	16.90	0.010	0.095
CH1	19.7	15.58	15.77	34.56	33.15	9.10	5.98	7.75	7.19	16.75	16.10	0.012	0.008
CH2	20.0	15.07	15.54	34.72	33.25	10.34	5.90	6.67	7.32	12.95	16.10	0.001	0.005
CH3	16.3	15.07	15.52	34.69	33.20	11.06	5.72	7.46	6.78	12.95	12.70	0.003	0.004

Table 4. Spearman rank correlation coefficients between abiotic and biotic factors in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea (\*p<0.05, \*\*p<0.01)

Correlation Factors	Sp.	A	B	D	WT	S	DO	IL	AVS	COD	TOC
Species Number(Sp.)	1	0.807	0.675	0.422	-0.491	0.299	0.273	-0.118	-0.511	-0.347	-0.384
	.	0	0	0.008	0.002	0.068	0.097	0.482	0.001	0.033	0.017
Abundance(A)	0.807	1	0.662	0.250	-0.265	0.139	0.060	-0.140	-0.248	-0.217	-0.158
	0	.	0	0.130	0.108	0.407	0.722	0.402	0.133	0.190	0.344
Biomass(B)	0.675	0.662	1	0.157	-0.156	0	-0.040	-0.090	-0.207	-0.201	-0.153
	0	0	.	0.345	0.348	0.999	0.810	0.590	0.212	0.225	0.360
Depth(D)	0.422**	0.250	0.157	1	-0.732	0.504	0.047	-0.067	-0.716	-0.357	-0.556
	0.008	0.130	0.345	.	0	0.001	0.781	0.690	0	0.028	0
Water Temperature(WT)	-0.491**	-0.265	-0.156	-0.732	1	-0.776	-0.362	-0.111	0.707	0.165	0.482
	0.002	0.108	0.348	0	.	0	0.026	0.508	0	0.323	0.002
Salinity(S)	0.299	0.139	0	0.504	-0.776	1	0.380	0.420	-0.445	0.186	-0.224
	0.068	0.407	0.999	0.001	0	.	0.019	0.009	0.005	0.264	0.176
Dissolved Oxygen(DO)	0.273	0.060	-0.040	0.047	-0.362	0.380	1	-0.116	-0.370	-0.191	-0.383
	0.097	0.722	0.810	0.781	0.026	0.019	.	0.489	0.022	0.251	0.017
Ignition Loss(IL)	-0.118	-0.140	-0.090	-0.067	-0.111	0.420	-0.116	1	0.119	0.737	0.585
	0.482	0.402	0.590	0.690	0.508	0.009	0.489	.	0.477	0	0
AVS	-0.511**	-0.248	-0.207	-0.716	0.707	-0.445	-0.370	0.119	1	0.507	0.701
	0.001	0.133	0.212	0	0	0.005	0.022	0.477	.	0.001	0
Total Organic Carbon(TOC)	-0.384*	-0.158	-0.153	-0.556	0.482	-0.224	-0.383	0.585	0.701	0.852	1
	0.017	0.344	0.360	0	0.002	0.176	0.017	0	0	0	.

춘계와 비교해 하계에 상대적으로 용존산소량이 감소하였음을 알 수 있었다. 연구해역에서 퇴적물의 강열감량은 춘계에 6.67(정점 CH2)~10.50%(정점 6)의 범위에 평균 값은 8.32%(±0.87)이었다. 또한 하계에 최소 6.69%(정점 12)에서

최대 8.87%(정점 15)에 평균 값은 7.27%(±0.48)를 나타내었다. TOC량은 춘계에는 12.95(CH2 및 CH3)~26.67 mg g<sup>-1</sup> dry wt.(정점 6)의 범위를(평균 19.05±3.57 mg g<sup>-1</sup> dry wt.), 하계에는 최소 12.70 mg g<sup>-1</sup> dry wt.(정점 CH3)에서 최대 24.95 mg g<sup>-1</sup> dry wt.

(정점 15)범위에 평균 값은  $18.21(\pm 2.69)$  mg g<sup>-1</sup> dry wt.를 나타내었다. 마지막으로 AVS농도는 춘계에 최소 0.00 mg g<sup>-1</sup> dry wt. (정점 CH2 및 CH3)에서 최대 0.43 mg g<sup>-1</sup> dry wt.(정점 15)를 나타내었고, 평균 값은  $0.11\pm 0.13$  mg g<sup>-1</sup> dry wt.이었다. 또한 하계에도 춘계와 동일하게 정점 CH2와 CH3에서 공통적으로 0.00 mg g<sup>-1</sup> dry wt.으로 낮았고, 정점 3에서 0.74 mg g<sup>-1</sup> dry wt.로 높았으며 평균 값은  $0.18\pm 0.21$  mg g<sup>-1</sup> dry wt.를 나타내었다. 결국 퇴적물의 유기물 함량(강열감량 및 TOC량)과 AVS농도는 전반적으로 수로상의 정점과 외해역 인근의 정점에서 낮았고, 비교적 차폐된 해역에 위치한 정점에서 높다는 공통점이 있었다(Table 3). 이상에서와 같이 본 연구해역에서 대형저서동물의 출현 종수 및 개체수와 환경요인과의 상관관계를 파악한 결과, 대형저서동물의 생물지수 중에서 유일하게 출현 종수만이 수심과는 양의 상관관계를, 반대로 수온, TOC량 및 AVS농도와는 음의 상관관계를 나타내었다(Table 4).

### 3.2 출현 종수 및 개체수

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 300종 7.6 m<sup>2</sup>과 75,760 개체(1,994개체 m<sup>2</sup>)이었다. 분류군별 출현 종수에 있어서는 환형동물의 다모류와 절지동물의 갑각류가 각각 110종과 100종이 출현하여 36.67%와 33.33%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물은 59종, 19.67%를 차지하였다. 이 밖에 기타동물군과 극피동물은 각각 16종과 15종이 채집되어 5.33%와 5.00%의 낮은 점유율을 보였다. 조사시기에 따라서는 춘계와 하계에 각각 255종과 203종이 출현하여 춘계에 상대적으로 많은 종이 출현하였다. 모든 분류군에 있어서도 춘계에 공통적으로 다양한 종이 채집되었다(Fig. 2). 한편 각 조사시기에 따른 조사정점별 출현 종수는 춘계에 7~103종의 범위에 정점 2에서 가장 적었고, 정점 CH2에서 가장 많았다. 이 외에 정점 6, 11, 14, 15 및 CH1에서 60종 이상이 채집되어 상대적으로 다양하였다. 한편 하계에는 최소 7종(정점 2)에서 최대 81종(정점 12)의 범위를 보였고, 이 밖에 정점 7, 11, 14, CH1, CH2 및 CH3에서 60종 이상이 출현하여 생물다양성이 높았다(Fig. 3). 개체수에 있어서도 다모류는 49,955개체가 채집되어 65.94%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 갑각류와 연체동물이 각각 16,125개체, 21.28%와 6,450개체, 8.51%를 차지하였다. 이 외에 극피동물과 기타동물군은 각각 1,795개체와 1,435개체가 채집되어 2.37%와 1.89%로 점유율이 상대적으로 낮았다. 조사시기에 따라서는 춘계와 하계에 각각 36,120개체와 39,640개체가 출현하여 하계의 출현 밀도가 상대적으로 높았다. 분류군에 있어서는 다모류, 연체동물 및 극피동물은 하계에 밀도가 높았던 반면, 갑각류와 기타동물군은 춘계에 높아 차이가 있었다(Fig. 2). 한편 각 조사시기에 따른 조사정점별 출현 개체수를 보면, 춘계에는

115~4,970개체의 범위에 정점 5에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았다. 이 외에 정점 14와 CH2에서 각각 3,085개체와 4,255개체가 출현하여 상대적으로 많았다. 한편 하계에는 최소 120개체(정점 2)에서 최대 5,665개체(정점 12)의 범위를 보였고, 이 밖에 정점 3, 7과 CH2에서 각각 3,420개체, 5,595개체 및 3,880개체의 밀도를 나타내 상대적으로 높았다(Fig. 3).

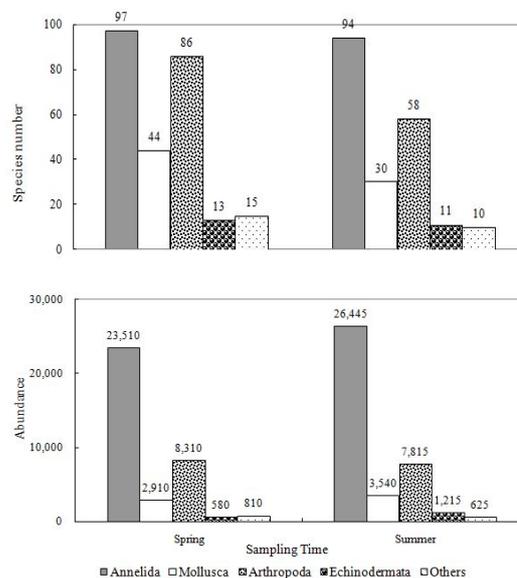


Fig. 2. Temporal variation of species number and abundance of macrobenthic animals in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

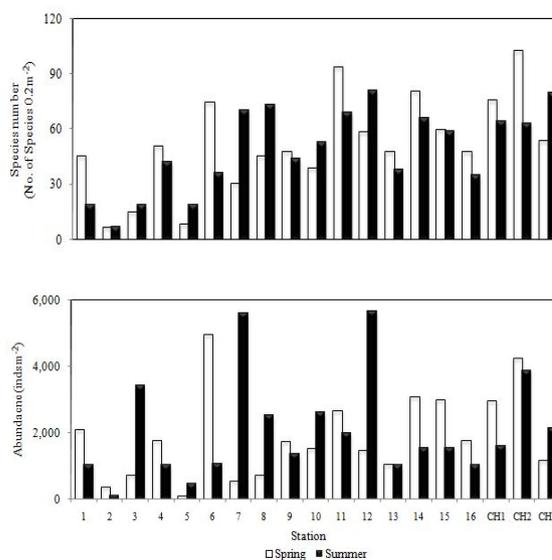


Fig. 3. Spatial variation of species number and abundance of macrobenthic animals in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

### 3.3 우점종

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수를 기준으로 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 분류군에 있어서는 다모류가 8종으로 가장 많았고, 다음으로 연체동물의 이매패류와 갑각류의 옆새우류가 공통적으로 1종씩 상위에 위치하였다.

이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 다모류의 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), *Aphelochaeta monilaris*, 이매패류의 종뱀(*Musculista senhousia*), 다모류의 꼬리대나무갯지렁이(*Praxillella affinis*), *Asychis pigmentata*, 양손갯지렁이(*Magelona japonica*), *Dorvillea rudolphi*, *Heteromastus filiformis*, 옆새우류의 *Eriopisella sechellensis* 및 다모류의 *Mediomastus californiensis* 등이었다. 이들 상위 10위종들이 나타내는 개체수는 총 33,700개체로 전체의 44.48%를 차지하였다. 특히 긴자락송곳갯지렁이는 11,370개체, 15.01%를 차지하였고, 다음으로 *A. monilaris*, 종뱀 및 꼬리대나무갯지렁이의 순서로 각각 3,810개체(5.03%), 3,450개체(4.55%)와 3,030개체(4.00%)의 밀도를 나타내 단일 종으로 가장 우점하는 생물이었다. 한편 중요 우점종의 공간 분포를 보면(Fig. 4), 긴자락송곳갯지렁이는 조사시기별로 정점 당 평균 8~1,008개체의 범위에 정점 14에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 1, 7, 9 및 12에서 평균 500개체 이상이 출현하여 상대적으로 많았고, 대조구의 정점 CH1, CH2 및 CH3에서는 채집되지 않았다. 다음으로 *A. monilaris*는 최소 평균 3개체(정점 15)에서 최대 375개체(정점 16)의 범위를 보였다. 이 밖에 정점 9에서 평균 235개체의 밀도를 나타내 상대적으로 많았고, 정점 2와 3에서는 출현하지 않았다. 이매패류의 종뱀은 정점 당 평균 5~1,550개체의 범위에 정점 5에서 가장 적었고, 정점 3에서 가장 많았다. 이 외에도 정점 2, 4 및 12에서만 출현한 가운데 8~83개체의 범위를 나타내 지역적으로 매우 좁은 공간분포를 나타내었다. 다음으로 꼬리대나무갯지렁이는 최소 평균 20개체(정점 14)에서 최대 평균 358개체(정점 12)의 밀도를 나타내었다. 이 밖에 정점 4, 7, 8, 11과 16에서 평균 100개체 이상이 채집되었다. 반면 정점 2, 3과 5에서는 출현하지 않았다. *A. pigmentata*는 평균 3~1,228개체의 범위에 정점 14와 CH3에서 공통적으로 적었고, 정점 CH2에서 많았다. 이 외에 정점 12와 CH1에서 각각 10개체와 13개체가 채집되었고, 이를 제외한 정점에서는 출현하지 않았다. 마지막으로 양손갯지렁이는 최소 평균 3개체(정점 CH2와 CH3)에서 최대 평균 738개체(정점 CH1)가 채집되었다. 이 밖에 정점 14에서 458개체가 출현하여 상대적으로 많았고, 정점 8과 16에서는 공통적으로 8개체가 채집되어 적었다. 이상을 종합하면, 긴자락송곳갯지렁이, *A. monilaris* 및 꼬리대나무갯지렁이는 비교적 연구해역의 전반에서 고르게 서식하는 광역분포

종으로 고려할 수 있다. 특히, 긴자락송곳갯지렁이는 정점 6에서, *A. monilaris*는 정점 16에서, 꼬리대나무갯지렁이는 정점 12에서 밀도가 높아 특징적이었다. 반면 종뱀, *A. pigmentata* 및 양손갯지렁이는 국소적으로 높은 밀도를 나타내는 협역 분포종으로, 종뱀은 정점 3에서, *A. pigmentata*는 정점 CH2에서, 양손갯지렁이는 정점 14와 CH1에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다.

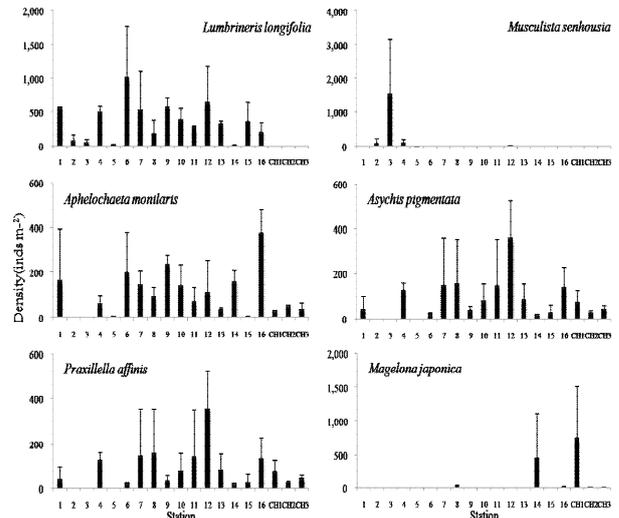


Fig. 4. Spatial variation of mean density of 6 major dominant species at each station in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

### 3.4 생태학적 제지수 및 군집구조

연구해역에서 종 다양도는 0.97~3.80의 범위에 평균 값은 2.76이었다. 조사시기별 다양도는 춘계와 하계에 각각 평균 2.79와 2.73을 나타내 계절에 따른 차이는 거의 없었다. 조사 정점에 따른 다양도는 평균 1.26~3.54의 범위에 정점 3에서 가장 낮았고, 정점 11에서 가장 높았다.

이 밖에 정점 8, 12, 14, 15, CH1 및 CH2에서 3.00이상의 값을 나타내 상대적으로 높았다(Fig. 5). 균등도는 0.33~0.87의 범위에 평균 값은 0.73이었다. 조사시기별로 균등도는 춘계에는 평균 0.74를, 하계에는 평균 0.72의 수치를 나타내 차이가 없었다. 또한 조사정점에 따른 균등도는 평균 0.45~0.82의 범위에 정점 3에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 8과 CH3에서 가장 높았다. 이렇듯 정점 3에서의 낮은 균등도 수치는 종뱀의 대량 출현에 그 원인이 있었다. 한편 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원배열법으로 표현하였다. 분석에서는 총 765개체 이상(출현 밀도의 1.00% 이상) 출현한 27종을 대상으로 실시하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여

원자료는  $\log(X+1)$ 로 변환하였다. 그 결과, 크게 2개의 그룹과 1개의 정점(하계의 정점 2)으로 구분되었다. 이 가운데 그룹 1은 춘계의 정점 2, 3, 5와 하계의 정점 1, 3, 5로 구성되었다. 반면 그룹 2는 그룹 1과 1개의 정점을 제외한 모든 정점으로 구성되었다. 한편 그룹 2는 다시 2개의 소규모 정점군으로 구별된 가운데 그룹 2-1은 춘계와 하계의 정점 14, CH1, CH2 및 CH3로 구성되었고, 그룹 2-2는 이들을 제외한 모든 정점들이 포함되었다. 한편 각 그룹별 대표 종을 보면, 그룹 1에서는 종밧이, 그룹 2-1에서는 다모류의 *A. pigmentata*, 양손갯지렁이, *H. filiformis*, *Isolda pulchella* 및 옆새우류의 *Photis longicaudata* 등이, 마지막으로 그룹 2-2는 긴자락송곳갯지렁이와 꼬리대나무갯지렁이 등이었다. 따라서 이상을 종합해 보면, 거제한산만의 대형저서동물 군집은 비교적 내만에 위치한 산달도 동쪽의 양식장 입지해역과 한산도를 중심으로 추봉도 해역까지의 수로역에 위치한 정점군으로 크게 양분됨을 알 수 있다. 또한 한산도를 중심으로 추봉도 해역의 정점군은 추봉도 남쪽해역의 외해역 정점과 한산도 주변의 수로역을 포함한 주변해역 정점으로 다시 대별되는 것으로 파악되었다(Fig. 6).

### 3.5 건강도

#### 3.5.1 다양도 지수

다양도 지수는 춘계에 정점 2, 3과 5에서는 'poor(불량, 이하 Poor)'상태를, 정점 10에서는 'moderate(중간, 이하 Moderate)'상태를 반영하고 있다. 이 외에 나머지 정점들은 'good(양호, 이하 Good)' 또는 'high(가장 양호, 이하 High)'상태를 나타내었다. 반면 하계에는 정점 3에서 'bad(가장 불량, 이하 Bad)'상태를, 정점 1과 2에서는 'Poor'상태를 나타내었다. 이 밖에 정점 5, 6과 CH2에서는 'Moderate'상태를, 이를 제외한 정점에서는 'Good'과 'High'상태를 나타내었다. 따라서 다양도 지수를 기초로 환경질을 평가하면, 시간경과에 따라 다소 악화된 것으로 판단할 수 있었고, 특히 공간적으로 산달도 인근해역 정점에서의 질적 저하가 두드러지게 나타났다(Table 5).

#### 3.5.2 AMBI 지수

AMBI 지수는 1.2~4.7의 범위에 춘계의 정점 CH1에서 가장 낮았고, 하계의 정점 5에서 가장 높았다. 따라서 지수값만을 고려한다면, 본 연구해역은 춘계의 정점 10, 하계의 정점 2와 5에서 'moderately polluted(중간, moderate status, 이하 Moderate)'상태를 반영하고 있었고, 그 밖의 모든 조사시기와 정점에서는 'slightly polluted(양호, good status, 이하 Good)'상태를 나타내었다(Table 5).

한편 본 연구에서는 전체 분류군을 대상으로 일차적인 분석을 실시하였으나, 연구해역에서 출현한 종들과 프로그램

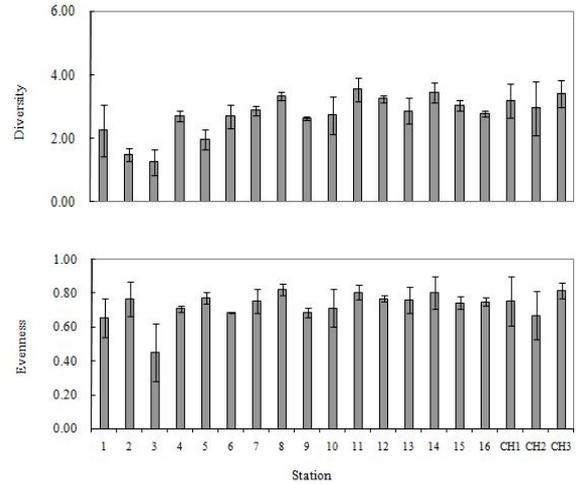


Fig. 5. Spatial variation of species diversity and evenness in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

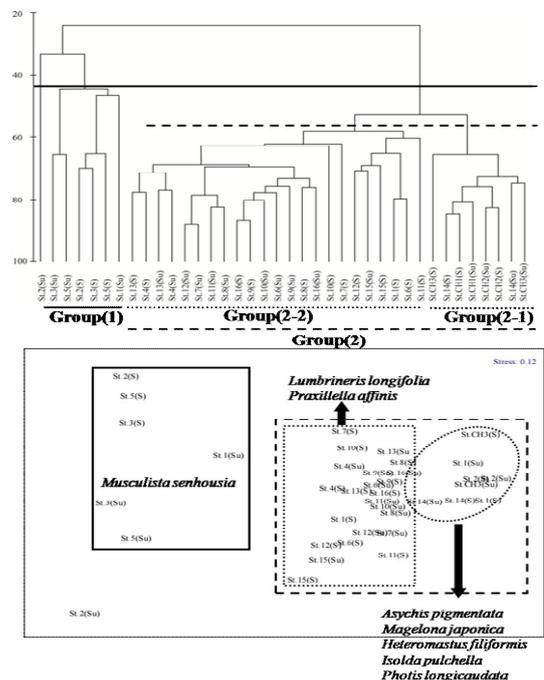


Fig. 6. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional MDS configuration (lower) using group average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the  $\log(X+1)$  transformed abundance data in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea (S, Spring; Su, Summer).

의 분석에서 이용된 종들의 적합률이 비교적 낮았다. 따라서 프로그램에서 비교적 다수 종들의 민감도가 반영되고 있는 다모류를 대상으로 분석을 시도하였다. 그 결과, AMBI지수

거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가

Table 5. Degree of diversity and three biotic indices (AMBI, M-AMBI and ECI Index) at each station in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea (H, high; G, good; M, moderate; P, poor; B, bad status)

Station/ Sampling Time/ Item	Spring				Summer			
	Diversity	AMBI	M-AMBI	ECI	Diversity	AMBI	M-AMBI	ECI
1	G	G	G	G	P	G	M	M
2	P	G	M	M	P	M	P	M
3	P	G	P	G	B	G	P	M
4	G	G	G	G	G	G	M	G
5	P	G	M	M	M	P	P	M
6	G	G	G	G	M	G	M	G
7	G	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	H	G	G	G
9	G	G	M	G	G	G	M	G
10	M	M	P	G	G	G	G	G
11	H	G	G	G	G	G	G	G
12	G	G	G	G	H	G	G	G
13	G	G	G	G	G	G	M	G
14	G	G	G	G	H	G	G	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	M	G	G	G	M	G
CH1	G	H	G	G	H	G	G	G
CH2	H	G	G	G	M	G	G	G
CH3	G	G	G	G	H	G	G	G

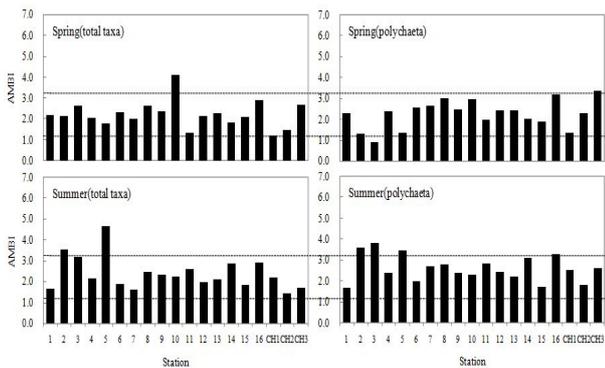


Fig. 7. AMBI index values at each station in Geoje-Hansan Bay, Southern Coast of Korea.

는 춘계에는 정점 CH3과 하계의 정점 2, 3과 5에서 'Moderate' 상태를, 그 밖의 모든 조사시기와 정점에서는 'Good'상태를 나타내 다모류로 한정된 경우에도 비교적 유사한 건강도를 보였다(Fig. 7).

### 3.5.3 M-AMBI 지수

M-AMBI 지수는 0.28-0.76의 범위에 하계의 정점 5에서 가장 낮았고, 춘계의 정점 11에서 가장 높았다(Table 5). 따라서 M-AMBI의 산출값을 기초로 해역의 건강도를 평가하면, 춘

계의 정점 3, 10, 하계의 정점 2, 3 및 5에서는 'Poor'상태를 반영하고 있었다. 다음으로 춘계의 정점 2, 5, 9, 16, 하계의 정점 1, 4, 6, 9, 13 및 16에서는 'Moderate'상태를, 마지막으로 이를 제외한 정점들은 'Good'상태를 나타내었다.

### 3.5.4 환경보전도 지수

환경보전도 지수는 6~13의 범위에 춘계와 하계의 정점 2에서 공통적으로 낮은 값을 나타내었고, 춘계와 하계의 정점 14, CH1, CH2 및 CH3에서 가장 높았다. 따라서 산출된 값을 기초로 한 환경보전도는 전반적으로 II등급(중간, moderate status)과 III등급(양호, good status)의 상태를 보여주고 있었다. 이 가운데 II등급에는 춘계의 정점 2, 5와 하계의 정점 1~3 및 5가, III등급은 그 밖의 기타 정점들이 모두 포함되었다. 결국 모든 조사시기의 정점 2와 5를 포함하여 이 외에 정점 1과 3에서 상대적으로 열악한 환경상태에 있음을 반영하고 있었다(Table 5). 이상에서와 같이 다양도 지수와 3개의 건강도지수 등을 종합적으로 고려한 결과, 본 연구해역에서 춘계의 정점 3과 5 및 하계의 정점 1, 2, 3과 5에서 비교적 건강도가 불량한 것으로 판단할 수 있었다. 따라서 거제한산만 해역은 산달도 동쪽의 양식장 입지해역에 위치한 정점 군을 제외하면, 전반적으로 모든 조사시기와 정점에서 양호한 상태로 나타내고 있음을 알 수 있었다.

## 4. 고찰

### 4.1 환경요인 및 생물지수(출현 종수 및 개체수)

연구해역에서 저층수의 수온과 염분농도는 춘계와 하계에 각각 평균 16.05°C, 17.08°C와 34.47, 33.05를 나타내 조사 시기에 따른 차이는 크지 않았다. 그러나 용존산소량은 춘계와 하계에 각각 평균 7.50 mg L<sup>-1</sup>과 5.79 mg L<sup>-1</sup>의 범위를 보여 하계에 상대적으로 낮았다. 특히, 공간적으로 주수로에서 외해역에 위치한 정점에서의 감소량이 상대적으로 크게 나타났다. 그럼에도 불구하고, 연구해역의 수질환경 조건은 일부 정점(춘계의 정점 4, 5, 6, 10, 11 및 하계의 정점 2)을 제외하면, 환경정책기본법시행령에서 밝히고 있듯이 해역 수질환경기준 II 등급을 유지하고 있었다. 반면 퇴적물의 TOC량과 AVS농도는 춘계와 하계에 각각 평균 19.05 mg g<sup>-1</sup> dry wt. (이하 mg g<sup>-1</sup>), 18.21 mg g<sup>-1</sup>과 0.11 mg g<sup>-1</sup>, 0.18 mg g<sup>-1</sup> dry wt.의 수치를 보였다. 한편 Takashi(2008)는 양식어장에서 퇴적물의 AVS농도는 어장환경을 평가하는 유용한 지수임을 밝히면서 AVS농도 0.22 mg g<sup>-1</sup> 이하는 유기물량이 증가함에 따라 생체량도 동일하게 증가하는 "healthy area"로, AVS농도 0.22~0.43과 0.43~0.71 mg g<sup>-1</sup>은 각각 "eutrophicating area"와 "warning area"로 규정하였다. 또한 AVS농도가 0.71 mg g<sup>-1</sup>을 초과하는 경우에는 "critical area"로 무생물상태를 반영한다고 제시한 바 있다. 또한 이를 퇴적물의 AVS농도와 TOC량과의 상관성을 고려하여 생체량이 최고치에 달하는 "Peak Point(이하 PP)"는 AVS농도와 TOC량이 각각 0.22 mg g<sup>-1</sup>과 6.2 mg g<sup>-1</sup>로, 반면 생체량이 급격하게 감소하는 "Warning Point(이하 WP)"는 0.48 mg g<sup>-1</sup>과 10.3 mg g<sup>-1</sup>으로, 마지막으로 무생물구간에 도달하는 "Critical Point(이하 CP)"는 0.87mg g<sup>-1</sup>과 16.4 mg g<sup>-1</sup>으로 설정하였다. 따라서 이를 기초로 보면, 본 연구해역은 춘계와 하계의 평균 값에 있어서 AVS농도는 PP를 나타낸 반면, TOC량은 모든 정점에서 가장 질적으로 열악한 상태인 CP를 반영하고 있다. 특히 조사 정점에 따라서는 AVS농도가 춘계의 정점 5, 6, 15, 하계의 정점 1, 2, 5에서는 WP를, 하계의 정점 3과 15는 CP를 나타내고 있다. 이렇듯 상기에서와 같이 대형저서동물의 서식처로써 퇴적물의 환경이 일부 정점에서 다소 열악한 상태를 반영함에도 불구하고, 춘계의 정점 5, 하계의 정점 2와 5에서만 낮은 출현 종수, 개체수와 생체량을 나타내었을 뿐, 다른 정점에서는 상대적으로 출현 종수도 많았고, 개체수와 생체량도 적다고 볼 수 없어 위의 기준과 차이를 보이고 있다. 한편 Cho et al.(2013)은 본 연구해역과 동일한 해역에서 TOC량과 저서 다모류 군집의 다양도를 기초로 상기와 동일하게 PP는 15 mg g<sup>-1</sup>를, WP는 26 mg g<sup>-1</sup>를, CP는 31 mg g<sup>-1</sup>로 제시정한 바 있고, 특히 무생물구역을 반영하는 CP를 "contaminated point"로 재명명하였다. 따라서 본 연

구가 다모류를 포함한 모든 분류군을 적용했다는 점에서 차이는 있으나, PP는 춘계의 정점 CH2, CH3, 하계의 CH3이, CP는 춘계의 정점 6과 15가, 이를 제외한 정점은 모두 WP에 해당하였다. 결국 Takashi(2008)와 Cho et al.(2013)에서의 TOC량에 대한 평가기준의 차이는 집약적 양식에 따른 어장의 과도밀집의 정도가 주된 요인으로 작용하고 있음이 제시된 바 있다. 결국 상기 연구의 2개 기준에 입각한 결과 값을 기초로 보면, 연구해역에서 산달도 인근의 낮은 수심에 위치하거나 또는 일부 차폐된 해역에 위치한 정점에서의 전반적인 환경의 질적 저하가 의심되고 있다. 따라서 Yoon et al.(2009)의 결과와 비교했을 때, 이들 정점들은 시간 경과에 따라 환경저하의 현상이 계절적으로 반복적 또는 지속적인 형태로 유지되고 있음을 추정할 수 있다. 한편 본 연구해역에서 대형저서동물의 출현 종수 및 개체수와 환경요인과의 상관관계를 파악한 결과, 대형저서동물의 생물지수 중에서 유일하게 출현 종수만이 수심과는 양의 상관관계를, 반대로 수온, TOC량 및 AVS농도와는 음의 상관관계를 나타내고 있다(Table 3). Yoon et al.(2009)도 대형저서동물 군집구조의 시공간적인 변동과 상관성 분석에서 비록 상관도가 낮음에도 불구하고, 단일 환경변수로는 TOC량과 AVS농도를, 조합변수로는 수심, TOC량, AVS농도와 필함람임을 제시한 바 있어 본 연구결과와 유사하였다. 따라서 본 연구해역에서 대형저서동물의 출현 종수는 수심이 깊을수록 많고, 반대로 TOC량과 AVS농도가 높을수록 다양성이 낮음을 의미한다고 볼 수 있다. 다만 춘계의 정점 6과 춘계 및 하계의 정점 15는 상대적으로 AVS농도가 상대적으로 높음에도 불구하고, 출현 종수가 60종 이상을 나타내 다른 정점과는 차이가 있었다. 결국 본 연구에서 대형저서동물의 출현 종수는 퇴적물의 AVS농도에 의해 일정부분 영향을 받는 것으로 추정할 수 있으나, 절대적인 평가기준은 아님을 알 수 있었다. 한편 본 연구에서 출현한 대형저서동물은 총 300종에 단위면적당(m<sup>2</sup>) 개체수는 1,994개체이었다. 본 연구에서의 300종은 진해만의 107종(Lim et al., 1992), 109종(Kim et al., 2012), 225종(Lim et al., 2007) 및 278종(Lim and Hong, 1997)과 이웃한 원문만의 170종(Jung et al., 2014)보다는 많았고, 동일해역에서 수행된 351종(Yoon et al., 2009)보다는 적었다. 또한 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 총 출현 개체수에 있어서도 1,994개체를 나타내 883개체(Kim et al., 2012), 984개체(Lim et al., 2007), 1,046개체(Lim and Hong, 1997)와 1,269개체(Jung et al., 2014)보다는 많았고, 3,675개체(Yoon et al., 2009)보다는 적었다. 따라서 거제 한산만은 이웃한 진해만 및 원문만의 생물다양성 및 개체수와 비교해 상대적으로 많았고, 과거 조사된 결과와 비교해서는 상대적으로 적다는 공통점이 있었다. 이상에서와 같이 거제 한산만 해역은 해류의 흐름이 미약한 산달도 주변해역

의 일부 정점을 제외하면, 대형저서동물의 서식환경과 출현 종수는 비교적 양호하거나 또는 풍부함을 알 수 있다. 또한 환경질이 악화되었을 때 일부 높은 밀도를 나타내는 기회종의 출현을 제외하면 전반적으로 내만의 생물분포 특성을 보이는 것으로 추정할 수 있다.

#### 4.2 우점종 및 군집구조

본 연구해역에서 가장 밀도가 높은 종들은 긴자락송곳갯지렁이, *A. monilaris*와 종뱀으로 각각 11,370개체(15.01%), 3,810개체(5.03%)와 3,450개체(4.55%)가 출현하였다. 우선 긴자락송곳갯지렁이는 진해만에서 전체 출현 개체수의 16.8% (Lim and Hong, 1997)와 16.9%(Lim et al., 2007)를, 원문만에서는 14.2%(Jung et al., 2014)를 점유하였고, 동일한 해역에서도 21.9%를 차지하는 대표종이다(Yoon et al., 2009). 본 연구에서도 15.1%를 차지하여 유사하였다. 한편 본 종은 우리나라 전역에서 출현하며, 유기물 오염과 관련된 종으로 알려져 있다. 그러나 본 종은 생태학적으로 펄이 많은 혼합질 퇴적물에서 주로 출현하거나 또는 빈산소수괴가 발달한 해상가두리 양식어장에서부터 환경교란이 전혀 없는 해역에서도 높은 밀도를 나타내는 등 그 생태적인 지위가 매우 넓은 것으로 알려져 있다(Jung et al., 2002, 2007; Yoon et al., 2007, 2009). 본 연구에서는 단위 면적당( $m^2$ ) 299개체의 밀도를 나타내 진해만의 417개체(Paik and Yun, 2000)와 1,063개체(Lim and Hong, 1997) 및 동일해역에서의 783개체(Yoon et al., 2009)보다는 적었고, 이웃한 원문만의 173개체(Jung et al., 2014)보다는 많았다. 그러나 조사시기에 따라서 춘계에는 정점 6에서 1,545개체가, 하계에는 정점 7과 12에서 각각 940개체와 1,020개체가 채집되어 정점 간 출현밀도의 차이가 매우 크게 나타났다. 반면 비교적 외해에 위치한 대조구의 정점군(CH1~CH3)에서는 단 1개체도 출현하지 않아 특징적이었다. Yoon et al.(2009)에 의하면, 긴자락송곳갯지렁이는 추계를 제외한 모든 시기와 수로역의 굴 양식장에 해당하는 정점에서 고밀도로 출현하였고, 상대적으로 외해에 위치한 정점에서 밀도가 낮았다. 본 연구에서도 외해역에 위치한 정점에서는 단 1개체도 출현하지 않아 과거와 유사하였고, 좌도 인근 수로상의 정점에서 높은 밀도를 나타내 동일하였다. 결국 본 종은 퇴적물의 입도가 상대적으로 조립한 외해역의 정점을 제외하면, 대부분 세립질 구성된 본 연구해역에서 꾸준히 높은 밀도를 유지하는 것으로 파악할 수 있었다. 한편 *A. monilaris*는 단위면적당 104개체가 출현하였고, 공간적으로 정점 2와 3을 제외한 모든 정점에서 출현하는 대표적인 광역분포종으로 구분할 수 있다. 본 종은 광양만과 가막만에서는 각각 평균 540개체(Choi et al., 2003)와 186개체(Yoon et al., 2007)가, 동일해역에서는 평균 655개체가 채집되어(Yoon et al., 2009)

적었으나, 이웃한 원문만의 8개체보다는 많았다(Jung et al., 2014). Yoon et al.(2009)에 의하면, 본 종이 높은 밀도로 출현하는 해역에서는 유기물 함량의 조건이 유사한 경우에 있어 반폐쇄적인 내만의 지형보다는 수로나 만의 입구와 같이 해수 소통이 원활한 곳에서 상대적으로 밀도가 높다는 공통점을 제시한 바 있다. 본 연구에서도 본 종의 분포는 수로역에 위치한 정점들에 중심이 있으며, 상대적으로 폐쇄적인 형태의 지형에 위치한 산달도 우측방향의 정점 2, 3, 5와 가배항 인근의 정점 15에서 전혀 개체가 출현하지 않거나 또는 출현하더라도 5개체 미만의 매우 낮은 밀도를 나타내 이를 입증하는 것으로 고려할 수 있었다. 따라서 이들 개체군이 환경변수 중에서 수심과는 상관성을 보이거나 TOC량과는 유의한 상관성이 없다는 점에서 해수 소통이 미약한 내만역에서의 밀도가 낮음을 반증하는 결과로 추정할 수 있었다. 마지막으로 종뱀은 지리학적으로 아시아의 고유종이나, 현재는 호주, 뉴질랜드, 지중해 및 북미연안 등 전 세계의 도처에 침입하여 서식하고 있다(Crooks, 1998). 본 종은 형태적으로 매우 얇은 폐각을 가지고 있으며, 여과식성 동물로서 유기물이 풍부한 해역에서 실모양의 족사를 동일 종에게 서로 엉키는 형태로 퇴적물의 표층에 매트 또는 카펫을 형성하며 대량으로 서식한다(Lim and Park, 1998). 특히 높은 생산력, 빠른 성장, 짧은 수명과 우수한 분산능력을 가지고 있어 기회종 또는 오염지표생물의 특성을 나타낸다(Tanaka and Kikuchi, 1978). 이렇듯 종뱀 개체군이 형성하는 매트는 서식처의 이질성을 확장하는 효과를 줌으로써 족사에 복족류, 다모류 및 단각류 등의 다양한 대형저서동물이 부착할 수 있는 서식처를 제공한다(Crooks, 1998; Mistri et al., 2003). 또한 종뱀이 만드는 생물학적 구조는 미소생물의 축적과 이들의 동화를 증가라는 관점에서 잠재적으로는 퇴적물의 특성을 긍정적으로 변화시킬 것으로 추정되고 있다(Mistri et al., 2003). 그럼에도 불구하고, 이들 개체군이 형성한 매트는 현탁물식성 대형저서동물에게 매우 지대한 악영향을 미치고 있는 것으로 파악되고 있다. 이웃한 일본의 경우에도 이들 개체군이 백합류(*Meretrix* sp.)나 꼬막류(*Scapharca* sp.)의 서식 및 생존 경쟁에서 배제를 유발한다거나(Ito and Kajihara, 1981) 또는 미국 새조개류(*Chione undatella* 또는 *C. fluctifraga*)의 생존과 개체의 성장에 영향을 미친다는 것이 제시된 바 있다(Crooks, 2001). 또한 환경적으로도 뉴질랜드의 Bucklands beach에서 서식밀도가 16,000개체  $m^2$ 에 이르렀을 때 퇴적물의 깊이 3 cm 이하에서 퇴적물이 검은색을 띠고, 불과 소수의 생물서식이 확인되어 결국 이들 개체군이 형성하는 매트가 용존산소의 투과를 저해함을 입증한 바 있다(Creese et al., 1997). 한편 본 연구에서 이들 개체군은 정점 2, 3, 4, 5 및 12에서만 출현하였고, 최대밀도는 하계의 정점 3에서 2,685개체  $m^2$ 이

었다. 특히 이들 개체군의 공간적인 분포가 비교적 해수의 흐름이 적고, 폐쇄적인 형태를 띠는 해역에서 높은 밀도를 보인다는 점과 하계에 AVS농도가  $0.74 \text{ mg g}^{-1}$ 을 나타내고 있어 이들 개체군의 서식이 환경질의 악화에 일정 부분 영향을 미치는 주된 요인으로 고려할 수 있다. 따라서 이들 개체군에 대한 향후 감시와 제거를 위한 방안의 수립이 요구된다고 판단된다. 한편, 해양생태계에서 대형저서동물 군집구조는 서식처의 다양한 환경요인이 종내 및 종간에서의 생물학적인 작용을 통하여 정점 또는 계절간의 차이를 유발한다. 본 연구해역에 서식하는 대형저서동물의 군집은 이미 수로역 군집과 내만역 군집으로 구분되고 있다(Yoon et al., 2009). 이러한 구조는 거제만의 반폐쇄형 내만과 북쪽의 통영해만에서 중앙수로로 거쳐 외해로 이루어지는 해수유통과 맥을 같이하여 발현된 결과로 해석되고 있다. 따라서 대형저서동물의 군집 및 다양도가 해수소통의 원활성 정도에 의해 영향을 받는다고(Yoon et al., 2009) 또는 산달도 주변 수역 해류의 미약한 흐름과 세기(NFRDI, 2002)가 결국 해역의 유기물량의 정도를 결정함으로써 저서생태계에 일정 부분 영향을 미치고 있는 것으로 추정할 수 있다. 본 연구에서도 대형저서동물의 군집도 과거와 동일하게 크게 2개로 양분되어 이를 잘 입증하고 있다. 한편 중앙수로상에 위치한 정점과 만의 입구부의 외해역에 위치한 정점군의 분리는 서식기질의 차이로 고려할 수 있다. Yoon et al.(2009)에 의하면, 거제한산만은 대부분의 정점들이 약 8~9 $\phi$  내외의 매우 세립한 퇴적물로 구성되었고, 필 함량도 평균 83%로 높았다. 그러나 가장 외해역에 위치한 정점은 6.8 $\phi$ 에, 60%내외의 필 함량을 나타내 상대적으로 조립하다는 점에서 차이가 있었다. 따라서 주수로와 외해역의 환경적 차이가 다양도 및 군집구조의 차이를 유발하는 직접적인 요인으로 고려할 수 있고, 생태적으로도 해수 소통이 원활한 해역에서 부유유생기를 거치는 대형저서동물의 확산과 서식처로의 가입이 보다 효과적일 수 있다는 점에서 미세한 군집구조의 차이가 발현된 것으로 추정할 수 있다.

### 4.3 건강도

본 연구의 건강도 평가에 적용된 AMBI 지수는 개별생물의 환경내성의 정도를 이용하여 생산되는 지수로서 환경교란의 요인이 달라도 잘 적용된다는 점에서 비교적 보편적으로 이용되고 있다(Borja et al., 2003). 특히 AMBI 지수는 다양한 장소(인도양, 발트해, 지중해, 북해 및 중국의 발해만)와 교란인자(무산소와 빈산소해역, 부영양화해역, 해사채취 및 준설해역과 유류오염해역)를 대상으로 서식처의 환경질을 감지하는데 있어 유효한 생물학적 지수임이 이미 증명된 바 있다(Muxika et al., 2005; Borja et al., 2009; Cai et al., 2012). 또

한 최근에는 M-AMBI가 부가적으로 이용되고 있는데, M-AMBI 지수는 등급의 산정을 위하여 Shannon의 다양도, 풍부도 및 AMBI 지수 등의 3개 지수를 통합적으로 고려하여 다변량의 분석기법인 인자분석을 통하여 산출한다. 한편 본 연구해역에서 AMBI 지수는 조사시기에 따라 'High'상태는 춘계에 1개 정점에서, 그러나 하계에는 없었다. 또한 'Good'상태는 춘계와 하계에 동일하게 17개 정점으로 구성되었다. 반면 중간오염상태인 'Moderate'상태는 춘계와 하계에 동일하게 1개 정점에서, 심한 오염을 반영하는 'Poor'상태는 하계에 1개 정점이 포함되었다. 따라서 연구해역은 가장 양호한 상태에서 중간상태의 등급을 나타내는 정점이 춘계와 하계에 각각 19개와 18개로 거의 차이가 없었고, 다만 시간경과에 따라 정점 5에서의 등급 저하가 관찰되었을 뿐이었다. 결국 AMBI 지수는 춘계와 하계에 등급분류에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 연구해역의 M-AMBI 지수는 춘계에는 건강도가 좋은 환경상태를 반영하는 'High'상태는 없었고, 'Good'상태는 13개 정점이 포함되었다. 다음으로 'Moderate'상태는 4개 정점에서, 마지막으로 건강도가 좋지 않은 상태를 반영하는 'Poor'상태는 2개 정점이었다. 그러나 하계에는 'Good'상태는 10개 정점이, 'Moderate'상태는 6개 정점이, 마지막으로 'Poor'상태는 3개 정점으로 증가하였다. 따라서 M-AMBI 지수를 고려한다면, 연구해역은 시간경과에 따라 환경상태가 악화된 것으로 추정할 수 있었고, 특히 산달도 인근의 내만해역에서의 등급저하가 특징적이었다(Table 5). 마지막으로 연구해역에서 환경보전도 지수는 춘계에 0등급(Bad), I등급(Poor) 및 IV등급(High)은 없었고, II등급(Moderate)과 III등급(Good)이 각각 2개와 17개정점이 포함되었다. 또한 하계에도 II등급과 III등급만이 각각 4개와 15개 정점으로 증감이 관찰되었다. 따라서 M-AMBI 지수의 경향과 동일하게 시간경과에 따라 건강도는 특정 정점에서 불량해지는 동일한 결과를 나타내었다(Table 5). 이렇듯 본 지수는 1회성 또는 단기간의 결과만을 나타내는 이화학적 시험법과는 다르게 장기간에 걸친 생물의 서식환경을 반영한다는 점에서 장점이 있다. 특히 평가에 필요한 항목수를 최소화하고, 생물학적으로도 전문화된 지식을 지나치게 요구하지 않는다는 점에서 간편하다고 볼 수 있다. 결국 본 연구에서 소개하고 있는 환경보전도 지수는 해역생태계의 건강도 평가를 위해 다른 해역에서 산출된 결과와 다각적인 비교를 통해 그 효율성을 검증해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 이상에서와 같이 본 연구에서 적용된 3개의 건강도 지수와 다양도 지수등을 종합적으로 고려한 결과, 연구해역은 다양도 지수를 포함한 2개의 건강도 지수(M-AMBI 및 환경보전도 지수)와 비교해 AMBI 지수에서 다소 차이를 보이고 있었고, 전반적인 경향은 춘계에서부터 시간경과에 따라 점진적으로 건강도가 불

량해지는 것으로 파악할 수 있었다. 특히 공간적으로 산달도 인근해역의 정점군에서 환경질의 저하가 특징적이었다. 이상에서와 같이 본 연구가 춘계와 하계라는 두 시기에 한정되어 현장조사가 이루어졌다는 점에서 시간경과에 따라 건강도 악화가 지속적으로 이루어질 것이라는 결론을 도출하기에는 현재로서는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 적용된 생물평가지수에서 다양도 지수, M-AMBI 지수 및 환경보전도 지수는 해역의 환경질의 판단에 비교적 유의한 것으로 고려할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구는 거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 건강도를 평가하였다.

1. 거제한산만에서는 총 300종 7.6 m<sup>2</sup>에 단위면적당 1,994 개체 m<sup>2</sup>의 대형저서동물이 출현하였고, 분류군에 있어서는 다모류가 110종과 1,315개체 m<sup>2</sup>의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다.

2. 거제한산만에서의 주요 우점종인 긴자락송곳갯지렁이, *A. monilaris*와 종짓은 전체 출현 밀도의 15.01%, 5.03%와 4.55%를 점유하였다. 특히 긴자락송곳갯지렁이와 *A. monilaris*는 광역분포종으로, 종짓은 협역분포종으로 추정할 수 있었다.

3. 거제한산만에 서식하는 대형저서동물의 군집은 내만에 위치하는 산달도 동쪽의 양식장 입지해역 정점군과 한산도를 중심으로 추봉도 해역에 이르는 수로역의 정점군으로 구분되었다. 또한 한산도를 중심으로 추봉도 해역의 정점군은 추봉도 남쪽해역의 외해역 정점군과 한산도 주변의 수로역을 포함한 주변해역 정점군으로 나뉘었다.

4. 거제한산만의 건강도를 평가한 결과, 건강도는 산달도 동쪽의 양식장 입지정점을 제외하면, 모든 정점에서 'Good' 또는 'High'상태를 나타내 비교적 양호하였다. 또한 건강도 평가 지수 중 다양도 지수, M-AMBI 지수 및 환경보전도 지수가 AMBI지수와 비교해 상대적으로 환경질 판단에 보다 효율적임을 알 수 있었다.

## 사 사

본 논문은 2015년 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015066)의 지원으로 수행된 연구입니다.

## References

- [1] Bae, P. A., C. K. Pyen, C. S. Ko, Y. Kim and P. A. Kang (1978), Studies on suspended culture of oyster, *Crassostrea gigas*, in the Korean coastal (III) on the growth rate of oyster depending on the environmental factors in each growing area, Bulletin of Fisheries Research Development Agency, Vol. 20, pp. 109-111.
- [2] Bang, K. S.(1967), Studies on the quantity and composition of the microplankton in a Bay of Han San, Bulletin of Fisheries Research Development Agency, Vol. 1, pp. 119-130.
- [3] 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.
- [4] Borja, A., J. Franco, V. Valencia, J. Bald, I. Muxica, M. J. Belzune and O. Solaun(2004), Implication of the European Water Framework Directive from the basque county(northern Spain): a methodological approach, Marine Pollution Bulletin, Vol. 48, pp. 209-218.
- [5] Borja, A., A. Miles, A. Occhipinti-Ambrogi and T. Berg(2009), Current status of macroinvertebrate methods used for assessing the quality of European marine waters: implementing the water framework directive, Hydrobiologia, Vol. 633, pp. 181-196.
- [6] 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.
- [7] Cai, W., L. Liu, W. Meng and B. Zheng(2012), The suitability of AMBI to benthic quality assessment on the intertidal zones of Bohai Sea, Acta Science Circumstantiae, Vol. 32, No. 3, pp. 992-1000.
- [8] Cho, Y. S., S. J. Hong, S. E. Park, R. H. Jung, W. C. Lee and S. M. Lee(2010), Application of ecological indicator to sustainable use of oyster culture grounds in Geoje-Hansan Bay, Korea, Journal of Korean Society of Marine & Safety, Vol. 16, No. 1, pp. 21-29.
- [9] Cho, Y. S., W. C. Lee, J. B. Kim, S. J. Hong, H. C. Kim and C. S. Kim(2013), Establishment of environmental assessment using sediment total organic carbon and macrobenthic polychaete community in shellfish farms, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 5, pp. 430-438.
- [10] Choi, W. J., Y. Y. Chun, J. H. Park and Y. C. Park(1997), The influence of environmental characteristics on the fatness of pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 30, No. 5, pp. 794-803.
- [11] 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.
- [12] Clarke, K. R. and R. M. Warwick(2001), Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation (2nd edition), PRIMER-E Ltd., p. 144.
- [13] Crawford, C. M., C. K. A. MacLeod and L. M. Mitchell (2003), Effects of shellfish farming on the benthic environment, *Aquaculture*, Vol. 224, pp. 117-140.
- [14] Creese, R., S. Hooker, S. DeLuca and W. Wharton(1997), Ecology and environmental impact of *Musculista senhousia* (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) in Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 31, pp. 225-236.
- [15] Crooks, J. A.(1998), Habitat alteration and community-level effects of an exotic mussel, *Musculista senhousia*, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 162, pp. 137-152.
- [16] Crooks, J. A.(2001), Assessing invader roles within changing ecosystems: Historical and experimental perspectives on an exotic mussel in an urbanized lagoon, *Biological Invasions*, pp. 23-36.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Edgar, G. J., C. K. MacLeod, R. B. Mawbey and D. Shields(2005), Broad-scale effects of marine salmonid aquaculture on macrobenthos and sediment environment in southeastern Tasmania, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 327, pp. 70-90.
- [21] 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.
- [22] Ito, N. and T. Kajihara(1981), The ecological study of the mussel, *Musculista senhousia*, in a Yokosuka Harbor: Distribution, population changes and total sulphide under the mussel nest (in Japanese), *Marine Fouling*, Vol. 3, pp. 37-41.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Jung, R. H., I. S. Seo, M. K. Choi, S. R. Park, B. M. Choi, M. H. Kim, Y. J. Kim and J. S. Yun(2014), Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages during spring and summer in the shellfish farming ground of Wonmun Bay, on the southern Coast of Korea, *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 47, No. 6, pp. 908-926.
- [26] Kim, S. Y., Y. H. Lee, Y. S. Kim, J. H. Shim, M. J. Ye, J. W. Jeon, J. R. Hwang and S. H. Jun(2012), Characteristics of marine environmental in the hypoxia season at Jinhae Bay in 2010, *Korean Journal of Nature Conservation*, Vol. 6, No. 2, pp. 115-129.
- [27] Lee, W. C., Y. S. Cho, S. J. Hong, H. C. Kim, J. B. Kim and S. M. Lee(2011), Estimation of ecological carrying capacity for oyster culture by ecological indicator in Geoje-Hansan Bay, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 17, No. 4, pp. 315-322.
- [28] Lim, 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, *Bulletin of Korean Fisheries Society*, Vol. 25, No. 2, pp. 115-132.
- [29] Lim, H. S. and J. S. Hong(1997), Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea, 3. Community structure, *Journal of Korean Fisheries Society*, Vol. 30, No. 2, pp. 175-187.
- [30] Lim, H. S. and K. Y. Park(1998), Population ecology of the mud mussel *Musculista senhousia* (Bivalvia: Mytilidae) on the mud tidal flat in Mokpo coastal area, southwest coast of Korea, 1. Distribution and growth, *Korean Journal of Malacology*, Vol. 14, No. 2, pp.121-130.
- [31] 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, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 12, No. 1, pp. 9-23.

- [32] Mistri, M., S. Modugno and R. Rossi(2003), Sediment organic matter and its nutritional quality: a short-term experiment with two exotic bivalve species, *Chemistry and Ecology*, Vol. 19, pp. 225-231.
- [33] Muxica, I., A. Borja and W. Bonne(2005), The suitability of the marine biotic index(AMBI) to new impact sources along European coasts, *Ecological Indices*, Vol. 5, pp. 19-31.
- [34] Muxica, I., A. Borja and J. Bald(2007), Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to European Water Framework Directive, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 55, pp. 16-29.
- [35] NFRDI(2002), National Fisheries Research and Development Institute, Environmental Research of Aquaculture Farm, p. 401.
- [36] 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.
- [37] Park, H. S., J. W. Choi and H. G. Lee(2000), Community structure of macrobenthic fauna under marine fish cages near Tong-Yong, Southern Coast of Korea, *The Journal of Korean Fisheries Society*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-8.
- [38] Park, J. S., H. C. Kim, W. J. Choi, W. C. Lee and C. K. Park(2002), Estimating the carrying capacity of a coastal bay for oyster culture, I. Estimating a food supply to oysters using an eco-hydrodynamic model in Geoje-Hansan Bay, *Journal of Korean Fisheries Society*, Vol. 35, No. 4, pp. 395-407.
- [39] Parker, R. H.(1975), The study of benthic communities, A model and a Review, *Elservier Oceanographic Series Oxford*, p. 277.
- [40] 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.
- [41] Pielou, E. C.(1977), *Mathematical Ecology*, Wiley Company, New York, p. 164.
- [42] 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.
- [43] Shannon, C. E. and W. Weaver(1949), *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, p. 125.
- [44] Takashi, U.(2008), Validity of acid volatile sulfide as environmental index and experiment for fixing its standard value in aquaculture farms along the coast of Wakayama prefecture, Japan, *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 74, pp. 402-411.
- [45] Tanaka, M. and T. Kikuchi(1978), Ecological studies on benthic macrofauna in Tomoe cove, Amakusa, II. Production of *Musculista senhousia*(Bivalvia, Mytilidae), *Published Amakusa Marine Biology Laboratory*, Vol. 4, No. 3, pp. 215-233.
- [46] Tsutsumi, H.(1995), Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan, *Estuaries*, Vol. 18, pp. 108-115.
- [47] Uyeno, F., S. Funahashi and A. Tsuda(1970), A preliminary studies on the relation between faeces of pearl oyster (*Pinctada martensi* Dunker) and bottom condition in an estuarine pearl oyster area, *Journal of Faculty of Fisheries of Prefectural University Mie*, Vol. 8, pp. 113-137.
- [48] 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.
- [49] 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 modifications aimed at reducing eutrophication, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 58, pp. 1250-1262.
- [50] 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 Assessment*, Vol. 170, pp. 141-157.
- [51] 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.
- [52] 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.

Received : 2015. 11. 11.

Revised : 2015. 12. 16.

Accepted : 2016. 02. 25.