

금강하구역에서 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가

김종관 · 김혜선 · 양동우* · 이정호†

국립해양생물자원관(선임연구원 · 선임연구원 · *전임연구원) · †안양대학교(교수)

Community Structure and Health Assessment of Macroenthos in the Geum River Estuary, Korea

Jong Gwan KIM · Hye Seon KIM · Dongwoo YANG* · Jung-Ho LEE†

Nationl Marine Biodiversity Institute of Korea(senior researcher · *researcher) · †Anyang University(professor)

Abstract

The purpose of this study was to identify the community structure and health index of Macroenthos in the Geum River Estuary, evaluate the benthic ecosystem, and use it as basic data for developing efficient management plan. Sediment, Salinity and macroenthos samples were collected four times (season) at 15 stations, 2018 . As a result, the sand content and salinity tended to decrease from the Geum River Estuary entrance area (brackish) to tne outer sea area (ocean). A total of 226 species/12m² occurred with mean density of 932 ind./m², mainly composed of Annelids, Arthropods and Mollusks. Based on the density, there were 13 dominant species accounting for approximately 48.3% of total individuals. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the Bray-Curtis similarity divided into 3 groups. The entrance area (brackish) was A group, the middle area (disturbed) was B group, the outer sea area (ocean) was C group. As a result of analyzing three health indices, the entrance area was found to be in relatively slightly polluted condition. The macroenthos community showed a station group clearly divided into the entrance and outer area, which is believed to be due to environmental factors such as salinity concentration and sedimentary facies.

Key words : Geum river, Estuary, Community Analysis, Macroenthos, Health index

I. 서론

대형저서동물은 크기가 0.1mm 이상으로 퇴적물 위나 속에서 서식 또는 암반에 부착하여 서식하는 모든 동물을 말한다(Koh et al., 2000). 연성 퇴적물에 서식하는 대형저서동물은 먹이활동을 통하여 퇴적물내의 지화학적 특성을 변화시키고 저서생태계에 중요한 역할을 차지하고 있다(Bilyard, 1978). 또한 퇴적물속의 산화층 깊이를

증가시켜 주며, 영양염을 수괴로 재부유시켜 여과식자의 잠재적인 먹이가 되게 한다(Rhoads, 1970; Henriksen et al., 1980). 대형저서동물은 유생시기에 조류를 따라 이동하는 부유생활을 하지만 한번 정착하면 서식지를 크게 벗어나지 않아 주변 환경변화 및 오염에 영향을 많이 받는 생태학적 지시자로 잘 알려져 있다(Lee and Ryu, 2018; Warwick et al., 2002; Ysebaer et al., 2002).

연안 해역의 건강도 또는 오염도 평가지수는

† Corresponding author : 032-930-6035, leejh@anyang.ac.kr

* 본 논문은 국립해양생물자원관 연구사업 “해양수산생명자원 보전 및 복원 방안 연구(2024M00300)”의 연구비 지원에 의해 작성 되었습니다.

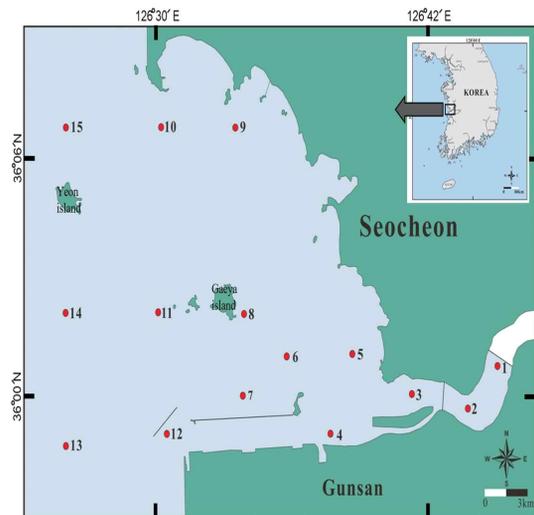
과거에 대형저서동물의 출현종수, 개체수 및 생물량을 그래프로 나타나는 분석법(SAB curve, ABC method)이 이용되었으나(Pearson and Rosenberg, 1978; Warwick and Clarke, 1993) 최근에는 대형저서동물의 섭식유형 및 생태학적 특성을 그룹별로 분류하여 계산식에 대입하는 분석방법(AMBI, M-AMBI, BQI, BPI, BHI)을 이용하고 있다(Borja et al., 2000; Muxika et al., 2007; Choi and Seo, 2007; Park et al., 2022). 이는 해역의 건강도를 평가하는데 단순하게 등급으로 표현할 수 있어 비전문가들이 이해하고 비교하기 쉽게 활용할 수 있는 장점이 있다.

금강하구는 1983년부터 1988년까지 5년동안 하구둑 건설공사를 진행하여 자연하구 기능을 상실하였다. 또한 군산항 개발을 위한 남·북측도류제, 방파제 및 매립공사가 활발하게 진행되었다(Sub, 2004). 이러한 공사로 인하여 금강하구의 저서생태계는 많은 변화를 초래하였으며, 이에 대한 연구로는 금강하구둑 건설공사가 완료된 시기인 1988년에 금강하구역의 대형저서동물군집에 대한 공간분포(Choi and Koh, 1994), 2014년에 대형저서동물 공간분포와 환경요인의 관계 연구가(Yoon et al., 2017) 보고되었으나 이들 연구는 계절별이 아닌 1회 조사를 실시하였다. 그러나 2014년 이후에 계절별로 대형저서동물의 공간분포 변화가 연구된 바 있다(Lee and Ryu, 2018). 금강하구에서 연구된 결과는 대형저서동물 분포나 환경요인 간의 관계를 제시하고 있어, 직접적인 저서생태계를 평가하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 금강하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조 및 건강도지수를 파악하고, 저서생태계를 평가하여 효율적인 관리방안 마련을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 현장조사

금강하구역의 조하대 저서환경과 대형저서동물 분포를 파악하기 위하여 2018년 2월, 5월, 8월, 11월에 총 4회(계절별)에 걸쳐 현장조사를 실시하였다. 조사정점은 금강하구 방조제에서 연도(Yeon island)까지 넓은 연안해역을 대상으로 총 15개 정점을 선정하였다(Fig. 1).



[Fig. 1] Location of sampling stations in the Geum river estuary(From Geum dyke to Yeon island).

2. 대형저서동물 채집 및 분석

대형저서동물의 채집은 각 정점에서 van Veen grab sampler(채집면적: 0.1m²)를 이용하여 정점당 총 2회의 퇴적물을 채취하였다. 정점에서 채취된 퇴적물은 선상에서 1mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였으며, 분리된 대형저서동물은 10% 중성포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하여 분류군별로 선별하였다. 선별된 분류군은 현미경을 이용하여 종 수준까지 동정하여 개체수를 계수하였다. 채집된 대형저서동물의 종동정은 백(1989, 1973) 및 Imajima(1996, 2001, 2007)을 참고하였다. 해양수산부에서 발간된 ‘2023 국가해양수산생물종 목록집’을 참고하여 국명을 작성하였다.

<Table 1> The classification criteria of each index in Geum river estuary.

Condition/Index	BPI	BHI	AMBI	Ecological status
Normal	60-100	71-100	0-1.2	High
Slightly polluted	40-60	51-70	1.2-3.2	Good
Moderately polluted	30-40	26-50	3.2-5.0	Moderate
Highly polluted	20-30	0-25	5.0-6.0	Poor
Very highly polluted	0-20		6.0-7.0	Bad

3. 저서환경 분석

현장에서 그래프와 니스킨채수기를 이용하여 퇴적물과 저층해수를 채취하였다. 저서환경요인으로는 퇴적물의 입도, 저층해수의 수온과 염분을 분석하였다. 입도분석은 퇴적물 시료에 과산화수소(15%)를 넣어 유기물을 제거한 후 습식체질법과 건식체질법으로 측정하였으며(Buchanan, 1984), 저층해수는 현장에서 YSI 556를 이용하여 수온과 염분을 측정하였다. 채취한 퇴적물은 「해양환경관리법」 제10조에 고시된 해양환경공정시험기준(개정판 2018)에 따라 분석하였다.

4. 자료분석

대형저서동물군집의 특성을 파악하기 위해 생태지수인 종다양성지수(Shannon and Weaver, 1963), 종풍부도지수(Margalef, 1958), 종 균등도지수(Pielou, 1966) 및 우점도지수(McNaughton, 1968)를 구하였다. 대형저서동물 종조성의 유사도를 기초하여 정점군을 구분하기 위하여 집괴분석(cluster analysis)를 실시하였다. 채집된 모든 종의 개체수 자료를 이용하여, 정점 간 유사도 지수는 Bray-Curtis similarity index(Bray and Curtis, 1957)를 사용하였다. 정점 간의 결합은 가중평균결합법을 이용하여 수지도를 작성하였고 집괴분석의 정확성과 공간상에서 관계를 추정하는 다차원배열법(nMDS)을 실시하였다. 집괴분석은 Primer(ver. 5.2.8)를 이용하였다. 금강해역의 건강도를 평가하기 위해 BPI(Benthic Pollution Index, Choi

and Seo, 2007), AMBI(AZTI's Marine Biotic Index, Borja et al., 2003)와 BHI(Benthic Health Index, Park et al., 2022)를 계산하였으며, 자료는 연구해역에서 채집된 대형저서동물의 개체수를 활용하여 분석하였다. BPI와 BHI의 결과값은 0-100 범위에 산출되며, 값이 증가할수록 환경상태가 양호함을 의미한다. AMBI의 결과값은 0-7의 범위로 값이 증가할수록 환경상태가 불량함을 의미한다(<Table 1>).

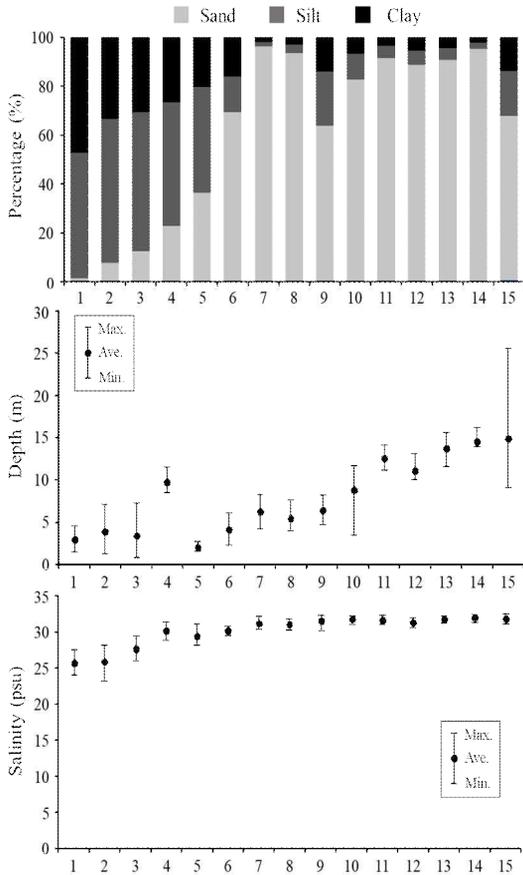
III. 연구 결과

1. 저서환경

금강하구역의 퇴적물 사질함량은 평균 61.3±35.2%이었으며, 금강하구 방조제에서 멀어질수록 사질함량이 증가하는 경향을 보였다. 수심은 평균 8.0±5.0m이었으며, 비교적 방조제에서 떨어진 정점에서 수심이 깊어지고 있다. 특징적으로 금강하구 방조제 부근에 위치한 정점 4번에서 수심이 10m로 높은 값을 보였는데, 이는 선박의 항로 개선을 위한 준설로 인한 것으로 판단된다(Gunsan Regional of Oceans and Fisheries, 2020). 염분은 정점 1-5까지는 30psu 이하로 낮은 값을 보였다. 이는 금강에서 유입되는 담수로 인한 영향이라고 판단된다([Fig. 2]). 과거 금강하구둑 완공이전의 퇴적상은 사질과 니질이 혼재된 공간분포를 보고하였으나(Choi and Koh, 1994), 하구둑 건설로 인하여 조석에너지가 금강입구까지 전파되지 않아 세립질 환경으로 진행된다고 보고된 바 있다(Sub,

2004). 금강하구 방조제 인근 해역은 하구둑 공사로 인하여 세립질 퇴적상이 우세한 것으로 여겨진다. 염분은 금강하구둑 건설전에 외해(정점 12)까지 30psu 이하의 값을 보였으나(Choi and Koh, 1994), 본 연구결과는 정점 5번까지로 담수의 영향이 미치는 범위가 하구둑 건설로 인하여 줄어든 것으로 보인다.

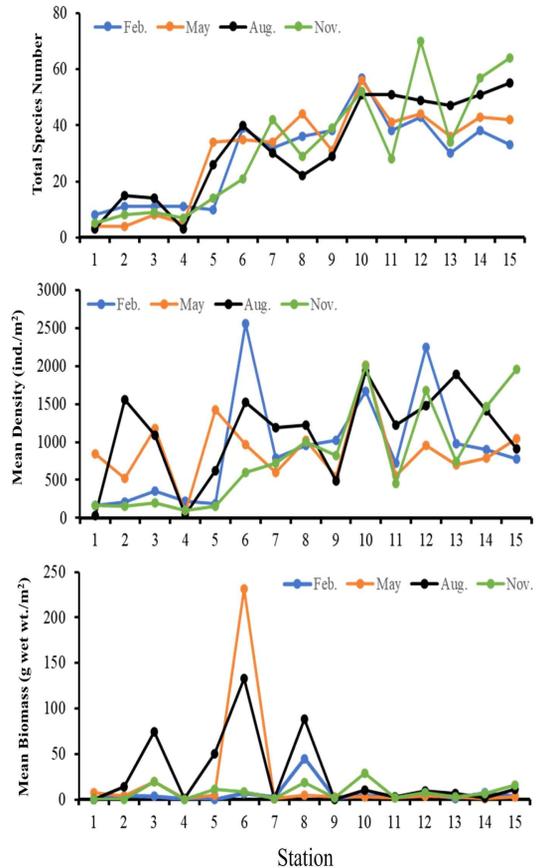
일반적으로 저서환경인 퇴적물의 입도조성과 염분은 대형저서동물의 분포를 결정하는데 중요한 환경요인으로 작용한다는 연구 결과가 많이 보고되었다(Gray, 1974; Kim et al., 2016; Seo et al., 2016; Lee and Ryu, 2018).



[Fig. 2] Spatio variations of Sediment composition(%), Water Depth(m), Salinity(psu) in the Geum river estuary.

2. 대형저서동물군집

금강하구역에서 조사기간동안 출현한 대형저서동물의 출현종수는 총 226종/12m²이었으며, 분류군별은 환형동물(105종, 57.8%), 절지동물(62종, 22.5%), 연체동물(43종, 13.5%) 순으로 높게 나타났다. 시기별로는 비슷한 수준의 출현종수를 보였으며, 여름철(8월)에 161종으로 가장 많았다. 평균 서식밀도는 932 개체/m²이었으며, 분류군별 평균 서식밀도는 환형동물(538 개체/m²), 절지동물(209 개체/m²), 연체동물(126 개체/m²)순으로 출현하였다(<Table 2>). 정점별로 보면 금강하구의 방조제 인근 정점 1-5번은 15종 이하로 비교적



[Fig. 3] Spatial variation of number of species, mean density and mean biomass of macrobenthos in Geum river estuary.

금강하구역에서 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가

낮은 출현종수를 보였으나 방조제에서 떨어진 정점 6-15번은 30종 이상으로 많은 저서동물이 분포하였다. 평균 서식밀도는 시기별로 차이는 있으나 비교적 방조제에서 떨어진 정점 6-15번이 금강하구 방조제 인근 정점 1-5번 보다 높은 밀도를 보였다. 생물량은 정점 6번과 방조제 인근 해역(정점 2,3,5번)에서 높은 값을 보였으며, 이는 연체동물인 쇠방사늑조개(*Potamocorbula amurensis*)가 방조제 인근 해역에서, 개랑조개(*Macracha chinensis*)가 정점 6번에서 우점하여 생물량 증가에 영향을 줬기 때문이다([Fig. 3]). 금강하구역 건설이전에는 7개 정점에서 다모류 위주로 분류하여 35종/1.4m², 1,291 개체/m² 출현하였고(Choi and Koh, 1994) 건설이후인 2014-15년에는 211종/22.8m², 941 개체/m²이 보고되었다(Lee and Ryu, 2018). 이들의 연구결과는 정점수와 동정동물군의 차이로 인하여 직접 비교가 어려우나 비교적 금강하구 방조제 인근에서 멀리 떨어질수록 종수가

증가하는 경향을 보였다. 금강하구와 비슷한 환경(단한 하구)인 낙동강하구의 연구결과를 보면 8개 정점에서 2013-2015년까지 계절별로 380종/19.2m², 4,603 개체/m² 출현하였다(Youn et al., 2021).

자연하구인 태화강의 연구결과를 보면 2012년에 계절별로 176종/9.6m², 1,922 개체/m²의 저서동물이 채집되었다(Kim et al., 2016). 하구역 간의 출현종수 비교는 환경차이(둑 건설 여부, 퇴적상)로 인하여 달라지기 때문에 직접 비교는 어려우나 낙동강(단한하구)과 태화강(열린하구)도 본 연구결과와 비슷하게 하구둑 입구 또는 기수에서 해양으로 갈수록 출현종수는 증가하였다. 또한 인도의 Kundalika Estuary에서의 출현종수도 강에서 해양으로 갈수록 증가하는 결과를 보고하였다(Dias et al., 2022). 대형저서동물의 출현종수는 염분 구배로 인하여 증감이 결정되는 것으로 판단된다.

<Table 2> Total number of species, mean density and ecological indices of macrobenthos community in Geum river estuary.

	Feb.	May	Aug.	Nov.	Total
Species Number					
(No. of species/12m ²)					
Mollusca	25	23	27	23	43
Annelida	75	83	79	76	105
Arthropoda	38	35	43	41	62
Echinodermata	5	4	4	5	6
Others	7	8	8	9	10
Total	150	153	161	154	226
Mean Density (ind./m²)					
Mollusca	87	107	205	103	126
Annelida	479	598	577	500	538
Arthropoda	305	118	260	154	209
Echinodermata	11	9	36	26	21
Others	36	51	32	32	38
Total	918	883	1110	815	932
Ecological indices					
Diversity (H')	2.42±0.63	2.35±1.06	2.37±0.96	2.56±0.79	2.43±0.84
Richness (R)	5.39±2.35	5.65±3.19	5.83±3.03	5.98±3.40	5.75±2.93
Evenness (J)	0.75±0.09	0.72±0.20	0.73±0.16	0.80±0.07	0.75±0.14
Dominance (D)	0.46±0.18	0.49±0.27	0.49±0.26	0.39±0.17	0.46±0.22

금강하구에 분포하는 대형저서동물의 2% 이상을 차지하는 우점종은 총 13종이었으며, 이 종들이 차지하는 점유율은 48.3%로 나타났다. 생태그룹은 대부분 I-III 그룹에 속하는 종들이 우점하였으나 지수별로 IV-V 그룹에 속한 종도 출현하였다(<Table 3>). 최 우점종은 환형동물인 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)가 차지하였으며, 대부분의 시기와 정점에서 출현하는 양상을 보였다. 이 종은 과거에 우리나라뿐만 아니라 해외에서도 유기물 농도가 증가하는 해역에서 높은 밀도로 출현하는 잠재적 유기물 오염지시종으로 보고되어 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Tsutsumi et al., 1991; Ryu et al., 2011b; Jang and Shin, 2016). 하지만 고리버들갯지렁이의 밀도와 유기물 함량의 상관관계가 뚜렷하게 나타나지 않은 결과도 발표되고 있다(Lee et al., 2022).

또한 국립수산과학원에서 어장환경평가를 실시하고자 저서동물지수(Benthic Health Index: BHI)를 개발하여 저서다모류의 생태그룹을 정하였으며, 개발된 저서동물지수에서 고리버들갯지렁이의

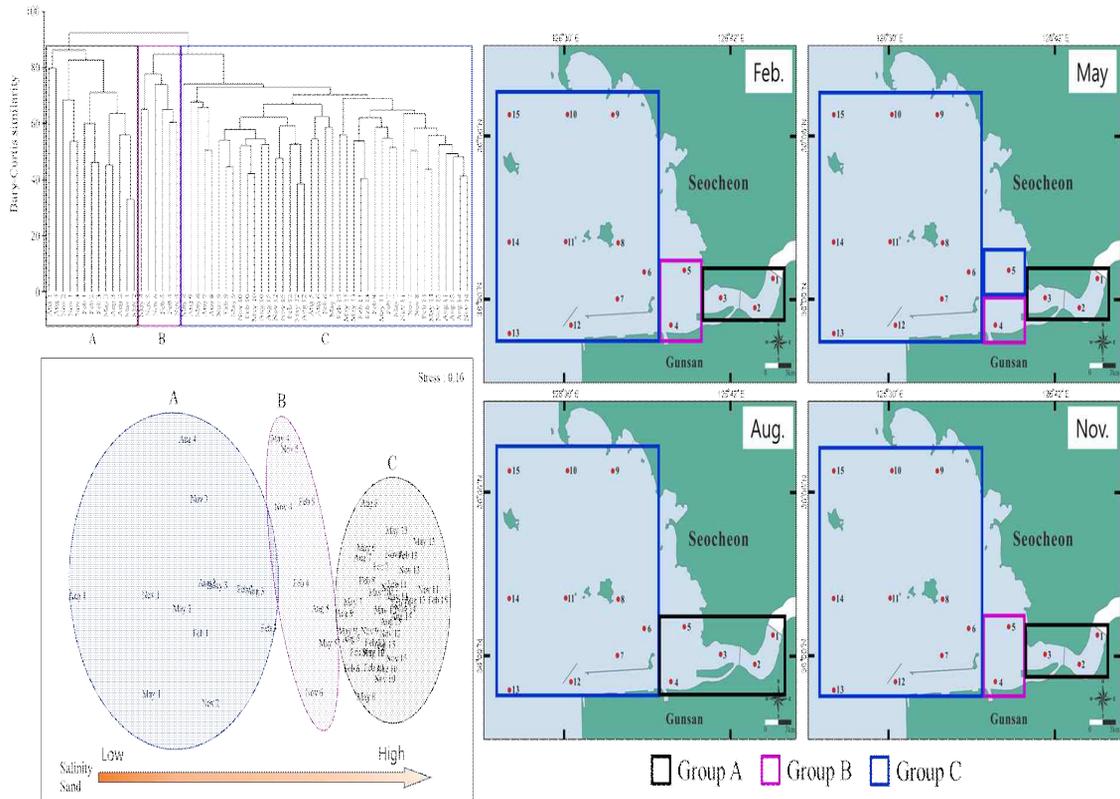
생태그룹은 그룹 1으로 고시하였다(Park et al., 2022). 그룹 1의 생태적 특징은 낮은 유기물 농도에서 높은 밀도로 출현하거나 출현빈도와 밀도가 낮은 종으로 정의하고 있어 본 연구결과와 비슷한 양상을 보였다. 건강도지수인 BPI, AMBI에서도 이 종에 대한 생태등급을 재검토가 필요해 보인다.

상위 우점종 중 강어귀참갯지렁이(*Hediste japonica*)와 쇠방사늑조개(*Potamocorbula amurensis*)는 염분이 낮은 기수역에서 서식하는 종이며(Sato and Nakashima, 2003; Nicolini and Penry, 2000), 이 종들은 연구지역인 방조제 부근 정점에 높은 밀도로 분포하였으며, 이는 염분농도가 28.0psu 이하에서 출현하는 것으로 판단된다. 방조제에서 떨어진 정점에서 높은 밀도로 서식하는 양손갯지렁이류(*Magelona sacculata*)는 사질퇴적상에 출현 빈도가 높게 나타났다. 결과적으로 금강하구역의 우점종 분포는 퇴적상과 염분의 변화에 따라 영향을 받는다고 판단된다.

<Table 3> Mean Density, frequency and ecological group of dominant species of macrobenthos community in Geum river estuary.

Species	Taxa	Mean Density (ind./m ²)	%	Frequency	Ecological group		
					BPI	BHI	AMBI
<i>Heteromastus filiformis</i>	Annelida	100	10.8	56	IV	I	IV
<i>Photis brevipes</i>	Arthropoda	55	5.9	23	II	II	II
<i>Glycinde gurjanovae</i>	Annelida	33	3.5	40	I	I	II
<i>Nephtys polybranchia</i>	Annelida	33	3.5	39	I	II	II
<i>Hediste japonica</i>	Annelida	32	3.4	7	II	II	III
<i>Sigambra tentaculata</i>	Annelida	31	3.3	27	III	III	IV
<i>Mactra chinensis</i>	Mollusca	28	3.0	10	I	I	I
<i>Sinocorophium sinensis</i>	Arthropoda	27	2.9	11	III	III	III
<i>Urothoe brevicornis</i>	Arthropoda	26	2.8	19	II	I	I
<i>Notomastus</i> sp.	Annelida	26	2.8	16	III	I	III
<i>Magelona sacculata</i>	Annelida	21	2.3	25	I	II	I
<i>Aricidea jeffreysii</i>	Annelida	21	2.2	24	I	I	I
<i>Potamocorbula amurensis</i>	Mollusca	18	2.0	6	I	II	V

금강하구역에서 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가



[Fig. 4] Distribution of station groups based on the cluster analysis of species composition and abundance of macrobenthos in Geum river estuary.

조사정점과 계절 간의 유사한 정점군을 알아보기 위해 출현종과 개체수의 자료를 근거로 집괴 분석과 다차원분석을 실시한 결과, 크게 3개의 정점군으로 구분되었다([Fig. 4]). 정점군 A는 방조제 인근 해역에 위치한 정점들로 염분(26.6psu)과 사질함량(7.25%)이 낮으며, 우점종은 강어귀참갯지렁이와 쇠방사늑조개가 높은 밀도로 출현하였다. 자연하천인 전남 영광 와탄천 하구역에서도 염분(24.2psu)과 사질함량(48.2%)이 낮게 나타났으며, 우점종은 본 연구결과와 동일한 강어귀참갯지렁이와 쇠방사늑조개로 보고 되었다(Lim and Hong, 2002). 정점군 B는 입구와 외해의 중간에 위치하며, 특징적으로 연체동물인 아기반투명조개(*Theora lata*)가 분포하였다. 이 종은 우리나라 연안이나 하구역의 불안정 환경에서 우점

출현하는 종으로 알려져 있다(Lim and Park, 1999; Lim and Hong, 1997; Lim et al., 2019; Koo et al., 2004; Choi et al., 2005).

군산항 인근에 위치한 정점군 B에서 2007년-2011년, 2012-2018년 항로준설공사를 진행하였으며, 준설량은 44,250m³ 이었다(Gunsan Regional of Oceans and Fisheries, 2020). 군산항의 항로 개선을 위한 준설 및 공사를 지속적으로 하고 있어 저서생태계가 불안정 환경이라고 판단할 수 있다. 정점군 C는 높은 염분(31.2psu)과 사질함량(83.9%)이 위치한 외해역이며, 우점종은 환형동물인 고리버들갯지렁이와 절지동물인 꼬리다리옆새우류(*Photis brevipes*)가 차지하였다(<Table 4>). 위의 결과들을 종합하여 볼 때, 하구역에서 가장 중요한 저층 환경요인으로 염분과 퇴적상에 따라

<Table 4> Characteristics of benthic environment and macrobenthos community of each station group classified by cluster analysis in Geum river estuary.

Station group	A	B	C
No. of sampling sites	13	6	41
Benthic Environment			
Salinity(psu)	26.6	29.6	31.2
Benthic Community			
Total species number	44	44	213
Mean density(ind./m ²)	500±501	222±193	1,172±533
Mean biomass(g wet wt./m ²)	11.4±12.5	3.5±4.9	18.1±42.5
Dominant Species(%)	<i>Hediste japonica</i> (29.2%)	<i>Hetermastus filiformis</i> (26.3%)	<i>Hetermastus filiformis</i> (10.3%)
	<i>Sinocorophium sinensis</i> (24.4%)	<i>Sigambra tentaculata</i> (22.2%)	<i>Photis brevipes</i> (6.9%)
	<i>Potamocorbula amurensis</i> (17.0%)	<i>Theora lata</i> (6.4%)	<i>Nephtys polybranchia</i> (4.0%)

대형저서동물의 공간분포가 구분된 다른 연구결과와 일치하였다(Lim and Hong, 2002; Lim et al., 2012; Kim et al., 2016; Lee and Ryu, 2018). 따라서 본 연구결과와 정점군 A는 저염분과 세립질 환경이고 정점군 C는 고염분과 조립질 환경으로 전형적인 하구역 생태계라고 볼 수 있다. 그러나 정점군 B는 인위적인 환경(준설, 항만공사 등)에 더 많은 영향을 받는다고 판단할 수 있다.

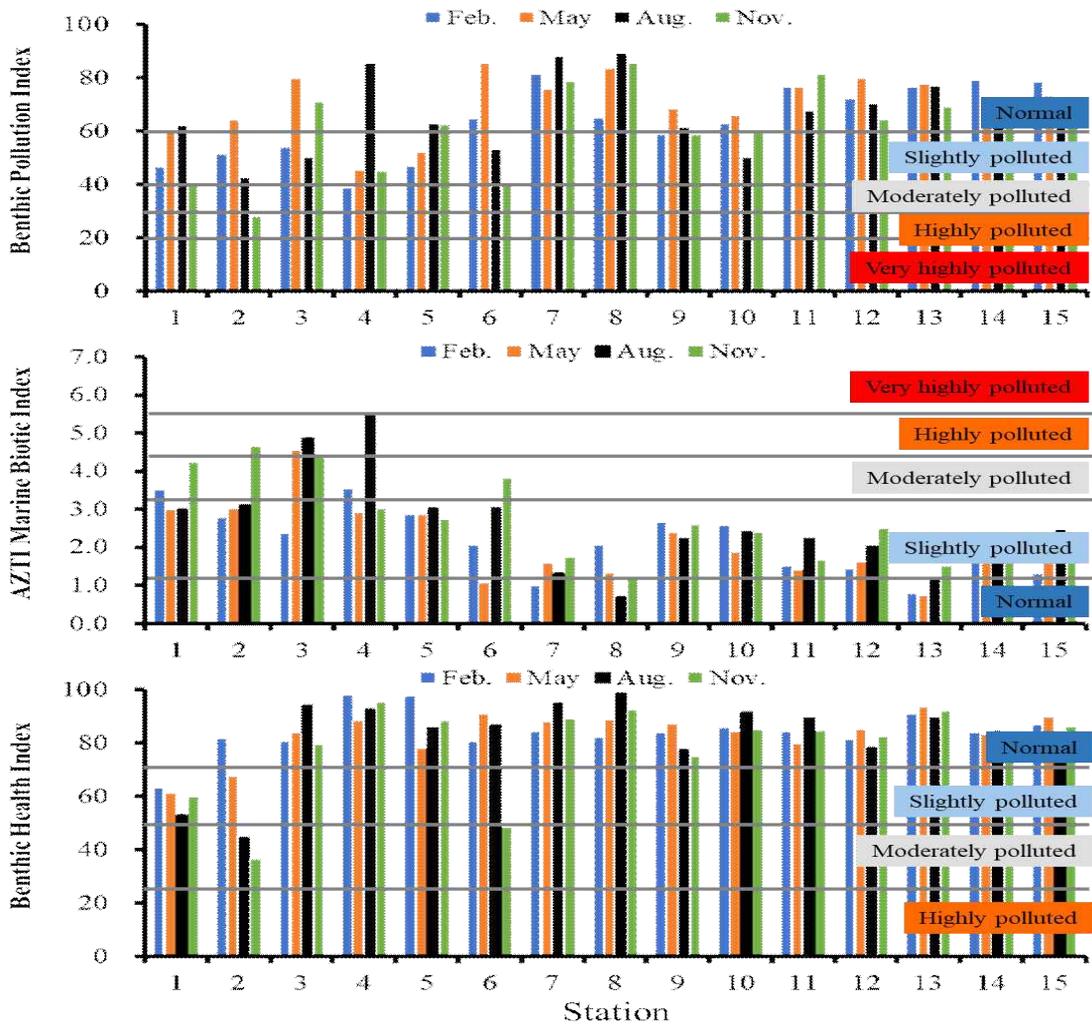
3. 건강도 평가

금강하구에서 출현한 대형저서동물의 섭식유형을 기초한 BPI지수(Choi and Seo, 2007), 종들의 민감도(Sensitivity)/내성도(Tolerance)를 분석한 AMBI지수와 퇴적물의 유기물 농도 구배에 따라 종들을 구분한 BHI지수를 계산하였다[Fig. 5]. BPI지수는 정점별/시기별로 차이가 있었으나 방조제 부근해역은 47-60의 범위로 양호한 환경상태(Slightly polluted)이고 방조제에서 이격된 해역은 67-71의 범위로 가장 양호한 환경상태(Normal)를 보였다. 방조제 부근해역은 섭식유형인 표층 퇴적물식자(Subsurface deposit feeders: SSDF) 고리

버들갯지렁이와 오염지시종인 아기반투명조개의 우점 출현하여 방조제에서 이격된 해역 보다 다소 낮은 건강도를 보였다. 연구지역과 비슷한 환경인 낙동강하구의 방조제 부근해역이 방조제에서 이격된 해역보다는 대체적으로 건강도지수가 낮다고 보고하고 있어(Seo, 2016) 본 연구와 일치하고 있다.

AMBI지수는 계절별로 평균 2.1-2.7 범위로 ‘Good’상태이며, 겨울(2월)과 봄(5월)에 가장 낮았고, 가을(11월)에 가장 높았다. 방조제 부근해역(정점 1-5)과 방조제에서 이격된 해역(정점 6-15)은 BPI지수와 비슷하게 방조제 부근해역(3.0-3.9)보다는 방조제에서 이격된 해역(1.6-2.1)의 건강도가 좋게 나타났다. AMBI지수는 유럽의 다양한 해역과 오염원이 달라도 해역을 평가하는데 잘 적용되어 유럽에서 보편적으로 이용되고 있다(Borja et al., 2003). 또한 종들의 정보를 유럽 국가뿐만 아니라 다른 대륙(아시아 포함)에서도 지속해서 등록하고 있어서, 한국의 연안에 대한 저서생태계 건강도를 평가하는데 적합하다고 판단된다.

금강하구역에서 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가



[Fig. 5] The ecological quality status assessed by the BPI, AMBI and BHI at each station in Geum river estuary.

BHI지수는 계절별로 평균 78(가을)-84(겨울) 범위로 정상해역(Normal)으로 나타났다. 그러나 금강하구 방조제 부근해역인 1과 2번 정점에서 오염초기 해역(Slightly polluted)의 건강도를 보였다. 방조제에서 떨어진 해역의 정점은 70이상으로 정상해역의 건강도를 나타내었다. 다른 건강도지수와 마찬가지로 방조제에서 이격된 해역에서 건강도가 양호해지는 경향이였다. 특징적으로 정점 3과 4번의 건강도가 정상해역으로 나왔으나 다른

건강도지수에서는 다소 오염된 해역으로 결과가 나타나 상반된 건강도를 보였다. 이러한 결과는 BHI지수가 어장환경을 관리하기 위한 건강도 평가 지수로 개발되었기 때문으로 판단된다(Park et al., 2022). 그리고 다른 동물문을 제외한 저서다모류 위주로 분석하여 다른 해역(하구역, 연안 등)에는 다소 부적합한 결과를 보이기도 한다. 다양한 해역에서 이용하기 위해서는 다른 동물문(절지, 연체)의 정보를 지속적으로 연구하고 등록

할 필요가 있다.

종합적으로 본 연구해역의 건강도는 BPI와 AMBI지수가 잘 반영하고 있으며, 방조제 부근해역은 불안정 환경(담수유입, 준설과 항로공사 등)으로 인하여 상대적으로 불량한 건강상태라고 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 금강하구역의 조하대에서 대형저서동물군집과 건강도를 평가하기 위하여 수행하였다. 대형저서동물군집은 방조제 부근 해역과 방조제에서 떨어진 해역으로 뚜렷하게 구분된 정점군을 보였으며, 이는 환경요인 염분(담수유입)과 퇴적상으로 인한 것으로 판단된다. 특징적으로 인위적인 환경요인들(준설, 항로 및 항만공사 등)으로 인하여 정점군이 구분되기도 하였다. 금강하구역의 건강도 평가지수로는 BPI와 AMBI가 잘 부합하고 입구해역이 다소 불량한 상태로 보인다. 향후 하구역의 저서생태계를 효율적으로 관리하는데 중요한 기초적인 자료로 사용할 수 있으며, 또한 장기적인 모니터링 연구를 실시하여 닫힌 하구역 저서생태계의 변화양상을 주시할 필요가 있다.

References

Bilyard GR(1987). The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Poll. Bull.*, 18(11), 581~585.

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 JR and Curtis JT(1957). An Ordination of Upland Forest Community of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27, 325~349.

Buchanan JB(1984). Sediment analysis. In: *Methods for the study of marine benthos*. edited by Holme, N.A. and A.D. McIntyre, Blackwell, Oxford, 41~65.

Choi JW and Koh CH(1994). Macrobenthos Community in Keum-Mankyung-Dongjin Estuaries and its Adjacent Coastal Region, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29(3), 304~318.

Choi JW, Seo JY, Lee CH, Ryu TK, Sung CG, Han GM and Hyun SM(2005). Spatial distribution patterns of macrobenthic communities during winter and summer in the Masan Bay Special Management Area, southern coast of Korea. *Ocean and Polar Research*, 27, 381~395.

Choi JW and Seo JY(2007). Application of Biotic Indices to Assess the Health Condition of Benthic Community in Masan Bay, Korea. *Ocean and Polar Research*, 29(4), 339~348.

Dias HQ, Sukumaran S, Neetu S and Ridha H(2022). Benthic community resilience in two differently impacted tropical estuaries: Taxonomic vs functional approaches. *Journal of Environmental Management*, 324, 1~17.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116264>

Gray JS(1974). Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 223~261.

Gunsan Regional of Oceans and Fisheries(2020). *Gunsan Port multi-purpose management pier construction service report*. 489pp.

Henriksen K, Hansen JI and Blackburn TH(1980). The influence of benthic infauna on exchange rates of inorganic nitrogen between sediment and water column. *Ophelia. suppl.*, 1, 249~256.

Imajima M(1996). 環形動物 多毛類. 生物研究社. 530.(in Japanese)

Imajima M(2001). 環形動物 多毛類II. 生物研究社. 542.(in Japanese)

Imajima M(2007). 環形動物 多毛類III. 生物研究社. 499.(in Japanese)

Jang SY and Shin H-C(2016). Differences in the Community Structures of Macrobenthic Polychaetes from Farming Grounds and Natural Habitats in

- Gamak Bay. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 19(4), 297~309.
<http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.4.297>
- Koo BJ, Je JG and Shin SH(2004). Benthic pollution assessment based on macrobenthic community structure in Gamak Bay, southern coast of Korea. Ocean and Polar Reserch, 26, 11~22.
<https://doi.org/10.4217/OPR.2004.26.1.011>
- Kim H-C, Choi B-M, Jung R-H, Lee W-C, Yun J-S and Seo I-S(2016). The Community Structure of Macrobenthic Assemblages in the Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 22(6), 694~707.
<https://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.6.694>
- Kim HS(1973). Illustrated Encyclopedia of fauna & flora of korea, Anomur-Brachyura. Ministry of Education, 14, 694.
- Koh CH, Park C, Yoo SJ, Lee WJ, Lee TW, Jang CI, Choi JK, Hong JS and Heo HT(2000). Marine Biology. Seoul National University Press, 228~229.
- Lee JH and Ryu J(2018). Short-term Variations in Spatial Distribution of the Macrozoobenthic Community near the Geum River Estuary, Korea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 21(4), 368~380.
<https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2018.21.4.368>
- Lim HS, Choi JW and Choi SD(2012). Spatial distribution of macrobenthos in Sueocheon stream estuary at the northern part of Gwangyang Bay, Korea. 「The Sea」 J. Korean Soc. Oceanogr., 17, 76~86.
- Lim HS and Hong JS(1997). Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea 3.Community structure. J. Korean Fish. Soc., 30(2), 175~187.
- Lim HS and Hong JS(2002). Spatial distribution of macrozoobenthos along the salinity gradient and sedimentary environment in the Watancheon estuary, Beobseonpo, southwest coast of Korea. 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, 7(1), 8~19.
- Lim HS, Lee J-Y, Lee JH, Shin H-C and Ryu J(2019). Spatio-temporal Distribution of Macrozoobenthos in the Three Estuaries of South Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 24(1), 106~127.
<https://doi.org/10.7850/jkso.2019.24.1.106>
- Lim HS, Park HS, Choi JW and Je JG(1999). Macrobenthic community of the subtidal soft bottom of Aenggang Bay in the southern coast of Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 4, 80~92.
- Margalef R(1958). Information Theory in Ecology. General Systems 3, 157~175.
- McNaughton SJ(1968). Structure and Function in California Grasslands. Ecology 49, 962~972.
- Muxica I, Borja A and Bald J(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, 55, 16~29.
- Nicolini MH and Penry DL(2000). Spawning, fertilization, and larval development of *Potamocorbula amurensis*(Mollusca: Bivalvia) from San Francisco Bay, California. Pac. Sci., 54, 377~388.
- Paik EI(1973). Illustrated Encyclopedia of fauna & flora of korea, Polychaeta. Ministry of Education, 31, 764.
- Park S, Kim S, Park S-J, Jung R-H and Yoon S-P(2022). Health Assessment of the Fish-cage Farms using BHI(Benthic Health Index). Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 28(5), 735~745.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2022.28.5.735>
- Pearson TH and Rosenberg R(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 16, 229~311.
- Pielou EC(1966). The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. Journal of Theoretical Biology, 13, 131~144.
[https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Rhoads DC and Young DK(1970). The influence of deposit feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. Journal of Marine Research, 28, 150~178.
<https://doi.org/10.1357/002224020834162167>
- Ryu J, Khim JS, Kang S-G, Kang D, Lee C-H and Koh C-H(2011b). The Impact of Heavy Metal Pollution Gradients in Sediments on Benthic Macrofauna at Population and Community Levels. Environ. Pollut., 159, 2622~2629.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.05.034>

- Sato M and Nakashima A(2003). A review of Asian Hediste species complex (Nereidae, Polychaeta) with descriptions of two new species and a redescription of *Hediste japonica*(Izuka, 1908). Zool. J. Linn. Soc. Lond, 137, 403~445.
<https://doi.org/10.1046/j.1096-3642.2003.00059>
- Seo JY(2016). A study on the determination of threshold value of benthic community health and application of Benthic Pollution Index (BPI) to special management areas the southern coast of Korea. Ph.D. Thesis, Pusan National University, 138.
- Seo J-Y, Kim J-H and Choi J-W(2016). Community Structures of Macrozoobenthos in the Subtidal Area of the Nakdong River Estuary, Korea. 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, 21(3), 112~124.
<https://doi.org/10.7850/jkso.2016.21.3.112>
- Shannon CE and Weaver W(1963). The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press. Urbana, 117.
- Suh SW(2004). Hind-casting Simulation of Sedimentation Changes and Passage Hindrance in Keum River Estuary. J. Korean Soc. Coast. Ocean Engineers, 16(4), 224~232.
- Tsutsumi H, Kikuchi T, Tanaka M, Higashi T, Imasaka K and Miyazaki M(1991). Benthic Faunal Succession in a Cove Organically Polluted by Fish Farming. Mar. Pollut. Bull., 23, 233~238.
- Warwick RM, Ashman CM, Brown AR, Clarke KR, Dowell B, Hart B, Lewis RE, Shillabeer N, Somerfield PJ and Tapp JF(2002). Inter-annual Changes in the Biodiversity and Community Structure of the Macrobenthos in Tees Bay and the Tees Estuary, UK, Associated with Local and Regional Environmental Events. Mar. Ecol. Prog. Ser., 234, 1~13.
<https://doi.org/10.3354/meps234001>
- 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>
- Yoon SJ, Hong S, Kwon B-O, Ryu J, Lee C-H, Nam J and Khim JS(2017). Distributions of Persistent Organic Contaminants in Sediments and Their Potential Impact on Macro-benthic Faunal Community of the Geum River Estuary and Saemangeum Coast, Korea. Chemosphere, 173, 216~226.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.031>
- Youn SH, Lee JW, Oh CW, Choi B-M, Yoon K-T, Na J-H and Seo I-S(2021). Community Structure and Health Status of Macrobenthic Animals in the Nakdong River Estuary, Busan, Korea. Ocean and Polar Research, 43(2), 73~88.
<https://dx.doi.org/10.4217/OPR.2021.43.2.073>
- Ysebaert T, Meire P, Herman PMJ and Verbeek H(2002). Macrobenthic Species Response Surfaces along Estuarine Gradients: Prediction by Logistic Regression. Mar. Ecol. Prog. Ser., 225, 79~95.
<https://doi.org/10.3354/meps225079>

-
- Received : 31 January, 2024
 - Revised : 01 April, 2024
 - Accepted : 08 April, 2024