

강화도 남단 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 군집 구조

이 정 호[†]
안양대학교(교수)

Community Structure of Macrobenthos in the Southern Tidal Flat of Ganghwa Island, Korea

Jung-Ho LEE[†]
Anyang University(professor)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the distribution and community structure of macrobenthos in the southern Tidal flat of Ganghwa Island, and to determine the correlation between benthic environment and macrobenthos. Sediment and macrobenthos samples were collected one times during 2014 at 20 stations. As a result, mud content and organic matter content tended to decrease from the upper intertidal zone to the lower intertidal zone depending on the tide level. A total of 46 species occurred with mean density of 349 ind./m², mainly composed of Annelids, Arthropods, and mollusks. Based on the density, there were 10 dominant species accounting for approximately 86.8% of total individuals. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the Bray-Curtis similarity resulted in 3 groups. The middle zone was A group, the low zone was B group, and the upper zone was C group. The study area located at the southern tidal flat of Ganghwa showed a typical zonation of the intertidal zone in the West Sea, and sedimentary properties and the community structure of macrobenthos were changed according to the tidal level.

Key words : Ganghwa island, Macrobenthos, Community structure, Tidal flat

I. 서론

갯벌조간대는 조석작용으로 인하여 간조시에는 육상환경이 되었다가 만조시에는 해양환경으로 바뀌는 지역으로 육상과 해양의 접이지대적 성격을 지니고 있다(Shin et al., 2017). 또한 하구역에 위치한 갯벌조간대는 강에 유입되는 담수의 영향을 직접적으로 받아 염분농도의 변화가 시기에 따라 심하게 나타나며, 다양한 영양염류 및 유기물등의 유입이 많은 지역이다(Costanza et al., 1993; Day et al., 1989). 이러한 물리화학적 영향

으로 인하여 생물의 다양성이 낮은 것으로 보이거나 풍부한 먹이원으로 인하여 동·식물의 생산력은 매우 높은 생태계이다(Lee and Ryu., 2018; Feebarani et al., 2016; Kang et al., 2014).

강화도는 한강, 임진강과 예성강이 유입되는 하구역에 위치해 있으며, 크고 작은 면적의 갯벌들이 곳곳에 형성되어 있다. 강화도 갯벌의 면적은 2018년 기준 256.1km²이며, 전국 갯벌 면적 2,482.0km² 의 약 10.3%를 차지한다. 강화도 갯벌 중 남단에 위치한 갯벌이 대표적인 갯벌이며, 면적은 91.5km² 로 강화도에서 가장 큰 규모를 가지

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

고 있는 갯벌이다(Park et al., 2019; 해양수산부, 2019). 또한 ‘강화갯벌 및 저어새 번식지’라는 명칭으로 천연기념물 제419호로 지정되어 있어 보호 가치로 높은 갯벌이다(Mackinnon et al., 2012).

갯벌조간대에서 대형저서동물군집에 대한 연구는 비교적 다양한 지역에서 많이 진행되어 왔다. 특히 조석작용으로 인하여 대조차 큰 해역인 서해안에 위치한 갯벌에서 많은 연구가 수행되었으며, 대부분의 조사결과로 조고 및 퇴적상이 대형저서동물군집의 분포에 영향을 미친다고 하였다. 서해안에 위치한 강화도 갯벌조간대에서는 맵핑 기법을 이용한 대형저서동물 군집분석(Kim, 2014), 강화도 남단 갯벌에 서식하는 대형저서동물군집의 월별 서식분포(Park, 2017)와 강화 동검도 염습지 식생의 대형저서동물군집 분포에 영향을 주는 환경요인(Lee et al., 2016)에 대한 연구만 수행되었다.

본 연구는 강화도 남단 갯벌에서 서식하는 대형저서동물의 분포 및 군집 구조를 알아보고 저서환경과 대형저서동물간의 상관관계를 파악하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 현장조사

강화도 남단 갯벌의 저서환경과 대형저서동물 분포를 알아보기 위하여 2014년 8월에 20개 정점을 대상으로 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사정점은 갯벌의 상부에서 하부까지 400m 간격으로 총 5개의 정점과 조사선 4개를 선정하였으며, 대조기에 도보로 각 정점에서 시료를 채취하였다.

2. 저서환경 분석

저서환경요인으로서는 니질함량, 함수량, 유기물 함량(LOI), 저서미세조류의 엽록소-a와 phaeopigments를 분석하였다. 니질함량은 Buchanan(1984)의 습

식체질법을 이용하여 측정하였다. 함수율은 현장에서 채취한 습시료를 약 20g을 알루미늄 접시에 담은 후 건조기를 이용하여 70℃에서 72시간 건조시켜 건조료의 무게를 측정하여 구하였다. 유기물함량은 강열감량법(Loss on Ignition, LOI)을 이용하여 구하였으며, 저서미세조류의 엽록소-a와 phaeopigments는 Lorenzen(1967)가 제안한 방법인 색소의 흡광도를 측정하였다.

3. 대형저서동물 채집 및 분석

대형저서동물은 각 정점에서 방형구(50×50cm)와 can corer(10×20×30cm)를 이용하여 정량조사를 실시하였다. 방형구는 넓은 면적의 생물을 채집하기 위해 4회, can corer는 소형 생물을 채집하기 위해 1회 조사하였다. can corer에서 채취된 퇴적물은 1mm 망목의 체를 이용하여 저서생물을 분리한 후, 10% 중성포르말린으로 고정된 후 실험실로 운반하여 분류군별로 선별하였다. 선별된 분류군은 현미경을 이용하여 종 수준까지 동정하여 개체수를 계수하였다.

4. 자료분석

대형저서동물군집의 특성을 파악하기 위해 생태지수인 중 다양성지수(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, 정점간 유사도 지수는 Bray-Curtis similarity index(Bray and Curtis, 1957)를 사용하였다. 정점간의 결합은 가중평균결합법을 이용하여 수지도를 작성하였고 집괴분석의 정확성과 공간상에서 관계를 추정하는 다차원배열법(nMDS)을 실시하였다. 저서환경요인과 대형저서동물간의 상관관계를 파악하기 위해 Pearson's correlation coefficient를 구하였다. 대형저서동물군

집에 미치는 환경요인을 알아보기 위하여 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 실시하였다. 자료처리는 각 환경자료의 변수값에서 평균값 빼고 표준편차로 나뉘어서 표준화하여 분석하였다. 집괴분석은 Primer(ver. 5.2.8)를 이용하였고 주성분분석과 상관분석은 IBM SPSS Statistics 26.0을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

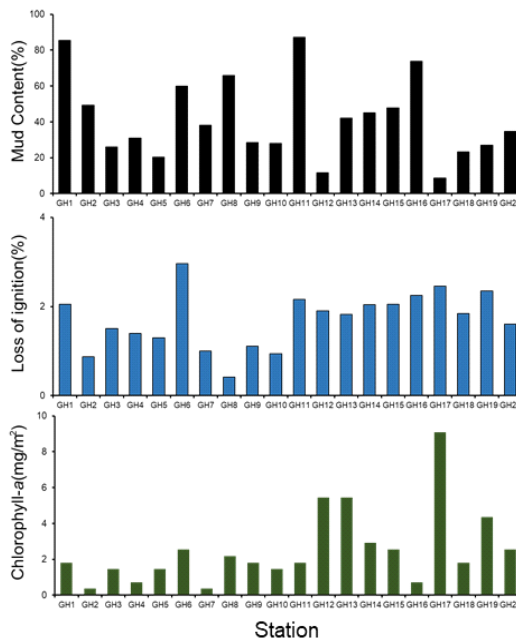
1. 저서환경

조사해역의 퇴적물 니질함량은 평균 $41.6 \pm 22.8\%$ 이었으며, 육지부근인 상부정점에서 높고 하부정점으로 갈수록 감소하였다. 유기물함량은 평균 $2.7 \pm 0.6\%$ 이었으며, 니질함량과 비슷하게 상부정점에서 높고 하부로 갈수록 감소하였다. 비교적 남쪽 정점 보다는 북쪽에 위치한 정점들이 상대적으로 높은 값을 보였다. 저서미세조류의 엽록소-a 는 평균 2.5 ± 2.1 이었으며, 조고에 따른 뚜렷한 경향은 보이지 않았다(Fig. 2). 조사해역의 저서환경은 Kim(2014)의 연구결과와 비슷하게 육지에서 멀어질수록 니질함량과 유기물함량이 감소하는 결과와 일치하였다. 또한 다른 해역의 갯벌조건대에서도 상부에서 하부로 갈수록 저서환경의 변화가 나타난다고 보고하였다(Hong and Seo, 2001; Lim et al., 1997).

일반적으로 저서환경 중 퇴적물의 입도조성이 대형저서동물의 분포를 결정하는데 중요한 역할을 한다는 연구 결과가 많이 보고되었다(Yi et al., 1982; Levinton, 1995; Shin et al., 2004; Kim et al., 2015).

2. 대형저서동물군집

강화도 남단 갯벌에 서식하는 대형저서동물은 총 46종이 출현하였으며, 평균 서식밀도는 349 ind./m^2 이었다. 분류군별로 보면 환형동물이 19종(41.3%), 연체동물이 12종(26.0%), 절지동물이 11



[Fig. 2] Mud content(%), Loss of ignition(%), Chlorophyll-a(mg/m²) of each station in the Ganghwa tidal flat.

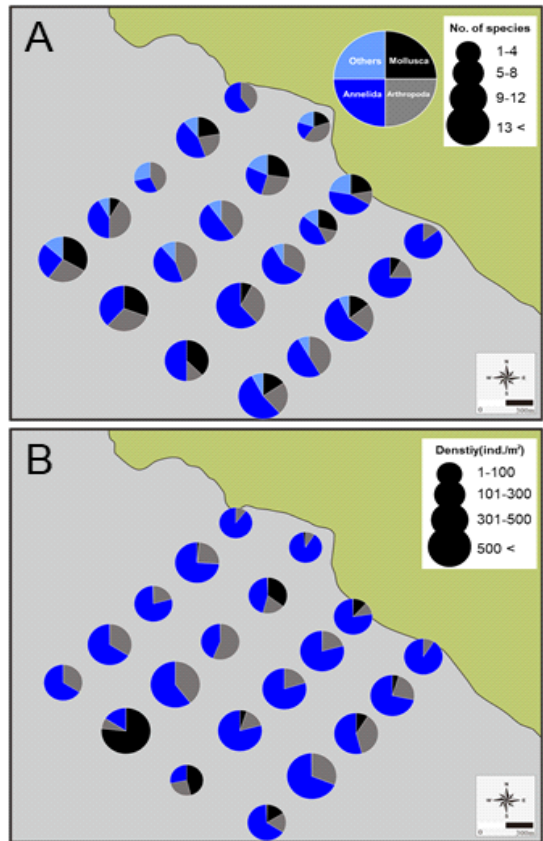
종(23.9%)순으로 출현하였다. 평균 서식밀도는 환형동물(62.5%), 절지동물(25.6%), 연체동물(11.5%) 순으로 출현하였다(<Table 1>). 정점별로 보면 상부에서 하부로 갈수록 출현종수와 서식밀도가 증가하였으며, 대부분의 정점에서 환형동물과 절지동물이 높은 밀도로 차지하였다.특징적으로 하부정점에서 연체동물의 출현종수와 서식밀도가 높게 나타났다(Fig. 3). 강화도 동검도 갯벌조건대에서 조사한 Lee et al.(2016) 에서는 총 38종이 채집되어 본 조사의 46종과 유사한 수준을 보였다. 평균 서식밀도는 $2,659 \text{ ind./m}^2$ 로 본 조사결과와 비교하여 약 8배 이상 높은 밀도를 보였으며, 이는 연체동물인 갈색새알조개(*Glaucanome chinensis*)와 기수우렁이(*Assiminea lutea*)가 높은 밀도로 출현하였기 때문이다. 이 두 종의 연체동물은 본 연구지역에서는 거의 채집되지 않았다. 이러한 결과는 조사방법이나 조사시기가 다르기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

<Table 1> Ecological characteristics of macrobenthos collected in the Ganghwa(GH) tidal flat

GH	
Number of Species	
Mollusca	12
Arthropoda	11
Annelida	19
Others	3
Total Species	46
Density (ind./m ²)	
Mollusca	40
Arthropoda	89
Annelida	218
Others	2
Total Density	349
Ecological Indices	
Diversity index (H')	1.44 ± 0.44
Richness index (R)	1.63 ± 0.48
Evenness index (J')	0.62 ± 0.14
Dominance index (D)	0.65 ± 0.17

조사기간 중 출현한 우점종을 보면, 상위 10종이 차지하는 비율이 86.8% 이었으며, 분류군별로 환형동물 5종, 절지동물 4종, 연체동물 1종이 차지하였다(<Table 2>). 최우점종은 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)로 평균서식밀도 138 ind./m²(39.5%)로 대부분의 정점에서 출현하였다. 비교적 상·중부 정점 보다는 하부 정점에서 낮은 밀도를 보였다. 두 번째 우점종은 펼털콩게(*Ilyoplax pingi*)로 평균서식밀도 38 ind./m²(10.5%)로 중·하부 정점에서 출현하는 빈도가 높았다. 다음 우점종인 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)와 두토막눈썹갯지렁이(*Perinereis linea*)는 각각 23 ind./m²(6.6%), 22 ind./m²(6.4%)이었다. 서해비단고둥은 특징적으로 하부에 위치한 2개 정점에서만 높은 밀도로 출현하였다. 두토막눈썹갯지렁이는 상대적으로 북쪽 보다는 남쪽에 위치한 정점에서 출현빈도가 높게 나타났다. 최우점종인 고

리버들갯지렁이는 니질함량 높은 갯벌조간대에서 출현빈도가 높게 나타나는 종으로 본 연구결과와 비슷한 양상을 보였다(Hong and Seo, 2001; Shin et al., 2017; Seo et al., 2009).

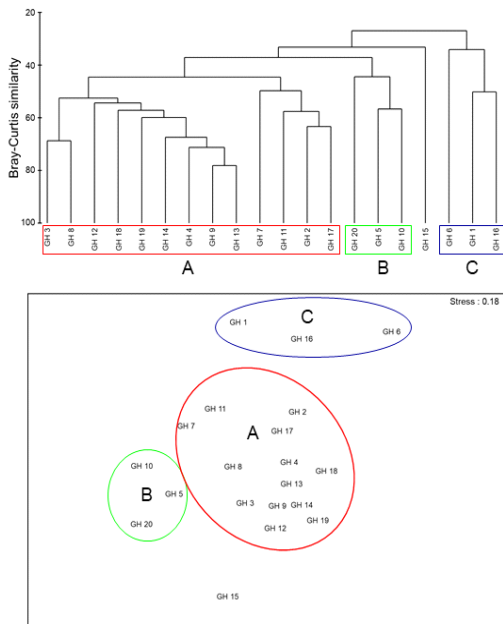


[Fig. 3] Spatial distribution of species number(A), density(B) in the Ganghwa tidal flat.

서해비단고둥은 사질함량이 높은 조간대에서 집중적으로 분포하는 종이며, 본 연구결과에 출현한 정점의 사질함량은 70%이상으로 다른 연구결과와 비슷한 양상을 보였다(Shin et al., 2017; Jung et al., 2013; Choi et al., 1998; An and Koh, 1992). 결과적으로 강화 남단 갯벌의 우점종 분포는 퇴적환경에 영향을 받고 있으며, 물리적 환경인 조고에 따라 대상분포가 나타난다고 판단된다.

<Table 2> The top 10 dominant species ranking based on mean density of macrobenthos collected in the Ganghwa tidal flat

Species	Taxa	Mean Density(ind./m ²)	%	Frequency
<i>Heteromastus filiformis</i>	Annelida	138	39.5	19
<i>Ilyoplax pingi</i>	Arthropoda	38	10.5	13
<i>Umbonium thomasi</i>	Mollusca	23	6.6	2
<i>Perinereis linea</i>	Annelida	22	6.4	10
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	Arthropoda	20	5.7	17
<i>Diastylis sp.</i>	Arthropoda	14	4.0	7
<i>Goniada sp.</i>	Annelida	13	3.7	7
<i>Prionospio membranacea</i>	Annelida	13	3.7	7
<i>Magelona japonica</i>	Annelida	12	3.5	9
<i>Gammaropsis nitida</i>	Arthropoda	11	3.2	7



[Fig. 4] Dendrogram of cluster analysis and ordination of non-multidimensional scaling(nMDS) showing the faunal similarity between stations in the Ganghwa tidal flat.

조사정점간의 유사한 종조성을 보이는 정점군을 알아보기 위해 집괴분석과 다차원분석을 실시한 결과, 크게 3개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 4). 정점군 A는 가장 많은 정점들로 중부에 위치하며, 우점종은 고리버들갯지렁이와 필털콩게가 높은 밀도로 출현하였다.

정점군 B는 가장 낮은 니질함량과 유기물함량으로 하부에 위치하며, 우점종은 서해비단고둥과 민챙이가 우점 출현하였다. 정점군 C는 가장 높은 니질함량과 유기물함량으로 상부에 위치하며, 우점종은 두토막눈썸참갯지렁이와 칠게가 차지하였다(<Table 3>). 군집분석 결과, 간조시 노출되는 시간에 따라 비교적 상부, 중부, 하부에 위치한 정점군으로 구분되었다. 이러한 결과는 목포 인근 해역 필 조간대에 조사된 대형저서동물 분포(Lim et al., 1997)와 비슷한 양상을 보였다. 조사해역에 인접한 인천 송도 조간대에서 조사된 결과를 보면 대형저서동물군집분포를 크게 3개 지역으로 구분하였는데, 상부는 Brachyuran zone(갑각류), 중부는 Molluscan zone(연체동물), 하부는

<Table 3> Characteristics of benthic environment and macrobenthos of each station group classified by cluster analysis in the Ganghwa tidal flat

Station group	A	B	C
No. of sampling sites	13	3	3
Benthic Environments			
Mud Content (%)	37.1±23.0	27.7±7.2	73.1±12.8
Loss of ignition (%)	1.7±0.6	1.3±0.3	2.4±0.5
Chlorophyll-a (mg/cm ²)	3.3±2.6	1.8±0.6	5.0±1.1
Ecological indices			
Diversity (H')	1.63±0.33	1.48±0.40	0.78±0.43
Richness (R)	1.67±0.33	2.33±0.43	0.44±0.19
Evenness (J)	0.68±0.10	0.57±0.16	0.78±0.43
Dominance (D)	0.63±0.14	0.61±0.24	0.88±0.12
Benthic Community			
Total species number	35	25	12
Mean density (ind./m ²)	447	323	121
Dominant Species (ind./m ²)	<i>Heteromastus filiformis</i> (193)	<i>Umbonium thomasi</i> (153)	<i>Perinereis linea</i> (48)
	<i>Ilyoplax pingi</i> (84)	<i>Heteromastus filiformis</i> (67)	<i>Macrophthalmus japonicus</i> (36)
	<i>Perinereis linea</i> (43)	<i>Bullactra exarata</i> (20)	<i>Heteromastus filiformis</i> (20)

Holothuroidean zone(해삼류)으로 나뉜다고 보고 하였다(Frey et al., 1987). 강화조간대에 출현하는 종들은 송도조간대의 상·중부조간대와 유사하였으나, 하부조간대에 분포하는 해삼류는 본 연구 결과에서는 나타나지 않아 다른 분포양상을 보였다. 한편 새만금 해역인 만경-동진조간대에서는 크게 3개의 군집으로, 상부는 두토막눈썩참갯지렁이군집, 중부는 철게군집, 하부는 민챙이-동죽-서해비단고둥군집이 분포한다고 보고하였다(An and Koh, 1992). 본 연구 결과인 대형저서동물군집분포와 매우 유사하게 나타났다. 서해안의 조간대 갯벌에서의 군집분포는 크게 3개의 저서동물군집으로 구분되어 나타나지만(Frey et al.,

1987; An and Koh, 1992; Lim et al., 1997; Choi et al., 1998) 생물상은 갯벌의 환경, 크기 및 지형에 따라 분포가 달라진다고 판단된다.

3. 저서환경요인과 대형저서동물군집간의 관계

강화도 남단 갯벌에서 조사된 대형저서동물군집 자료와 저서환경 자료를 이용하여 상관계수를 구하였다. 저서환경간의 상관관계 분석결과, 유기물함량은 엽록소-a (r=0.464), phaeopigments (r=0.510)와 함수율(r=0.598)간의 정 상관관계가 나타났다. 대형저서동물군집간의 상관관계 분석결과, 출현종수는 풍부도지수(r=0.904)와 다양도지수

<Table 4> Pearson's correlation between environmental factors, macrobenthos and dominant species in the Ganghwa tidal flat

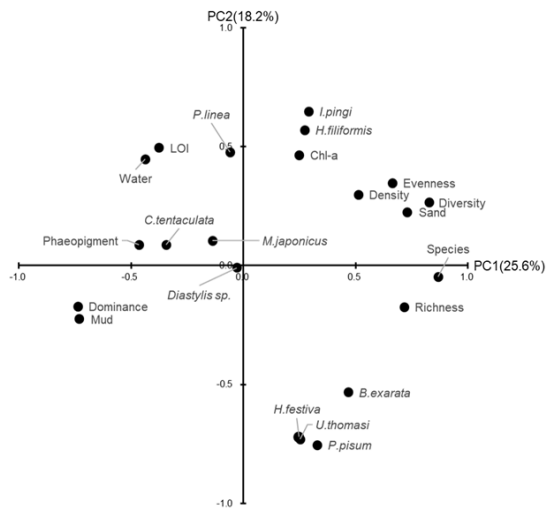
	D	R	E	Di	Do	Mud	Sand	LOI	W	C	Pheo	H.f	I.p
S	0.398	0.904**	0.481*	0.733**	-0.596**	-0.522*	0.522*	-0.299	-0.243	0.112	-0.347	0.158	0.221
D		0.019	0.247	0.334	-0.062	-0.519*	0.519*	-0.117	-0.113	0.278	0.021	0.813**	0.728**
R			0.385	0.624**	-0.610**	-0.335	0.335	-0.256	-0.209	0.012	-0.346	-0.131	-0.027
E				0.944**	-0.912**	-0.290	0.290	-0.105	-0.161	0.206	-0.379	0.155	0.202
Di					-0.926**	-0.410	0.410	-0.162	-0.200	0.226	-0.433	0.171	0.245
Do						0.350	-0.350	0.067	0.206	-0.205	0.472*	0.074	-0.052
Mud							-1.000**	0.132	0.218	-0.405	0.201	-0.421	-0.436
Sand								-0.132	-0.218	0.405	-0.201	0.421	0.436
LOI									0.598**	0.464*	0.510*	-0.038	0.163
W										0.142	0.465*	0.035	0.150
C											-0.006	0.264	0.216
Pheo												0.130	0.159
H.f													0.762**

S:Species, D:Density, R: Richness, E: Evenness, Di:Diversity, Do:Dominance, W:Water, C: Chlorophyll-a, Pheo: phaeopigments, H.f: *Heteromastus filiformis*, I.p: *Ilyoplax pingi*; Significant correlations are denoted at the: *5%, **1%.

($r=0.733$)간의 강한 정 상관관계를 보였고 우점도지수($r=-0.596$)와는 역 상관관계를 보였다. 서식 밀도는 최우점종인 고리버들갯지렁이($r=0.813$)와 펄털콩게($r=0.728$)와는 강한 정 상관관계가 나타났다. 대형저서동물군집과 저서환경간의 상관관계 분석결과, 니질함량은 출현종수 ($r=-0.596$)와 서식 밀도 ($r=-0.519$)간의 역 상관관계를 보였으며, 우점종간의 상관관계는 나타나지 않았다(<Table 4>).

대형저서동물군집과 환경요인간의 복잡하고 다양한 요인의 수를 최소한으로 산출하고 극대화하기 위하여 주성분분석(PCA)을 실시하였다. 주성분분석 결과, 주성분I(PCI)는 전체 분산에 대해 25.5%의 기여율을 보였다. 출현종수와 다양도지수는 사질함량과 높은 연관성을 보였고 환형동물인 명주실타래갯지렁이(*Cirriformis tentaculata*)는 Phaeopigment와 연관성이 높은 것으로 나타났다. 주성분I(PCI)는 사질함량이 우세하고 대형저서동물의 다양성과 출현종수가 높은 해역으로 연구지역의 하부조건대로 판단된다. 주성분II(PCII)는 전체 분산에 대해 18.2%의 기여율을 보였으며, 환형동물인 두토막눈썹갯지렁이와 고리버들갯지

렁이, 절지동물인 펄털콩게는 유기물함량과 엽록소-a와 높은 연관성을 보였다. 주성분II(PCII)는 유기물함량 높고 상위 우점종의 밀도가 높은 해역으로 연구지역의 중부조건대로 판단된다(Fig. 5).



[Fig. 5] The relations between benthic environment and macrobenthos using Principal Component Analysis(PCA).

IV. 결론

본 연구는 강 유입 많은 하구역의 갯벌조간대에서 대형저서동물군집과 저서환경을 파악하기 위하여 수행하였다. 강화남단에 위치한 갯벌은 서해의 일반적인 갯벌조간대에서 보이는 뚜렷한 대상분포가 나타났으며, 조위에 따라 퇴적상과 생물상이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 즉, 인위적인 환경요인들(연안개발, 매립등) 보다는 자연적인 환경요인들(조고, 퇴적상)에 영향을 강하게 받고 있다고 판단된다. 향후 하구역 인근에 위치한 갯벌생태계에 관한 중요한 기초적인 자료로 사용할 수 있으며, 또한 장기적인 모니터링 연구를 실시하여 열린 하구역 갯벌생태계의 변화양상을 제시할 필요가 있다.

References

- An SM and Koh CH(1992). Environments and distribution of benthic animals on the Mangyungdongjin tidal flat, west coast of Korea. *Journal of Oceanological Society of Korea*, 27, 78~90.
- 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 study of marine benthos*, edited by Holme, N. A. and A. D. McIntyre, Blackwell, Oxford, 41-65.
- Choi JW, Kim DS, Shin SH and Je JG(1998). Spatial distribution of macrobenthos in the sandflat of Taebudo, Kyonggi Bay, the west coast of Korea. *Ocean Research*, 20, 97~104.
- Costanza R, Kemp WM and Boynton WR(1993). Predict-ability, Scale, and Biodiversity in Coastal and Estuarine Eco-systems: Implications for Management. *Ambio* 22, 88-96.
- Day JW, Crump BC, Kemp WM and Yanez-Arancibia A(1989). *Estuarine Ecology*, John Wiley, New York 558pp.
- Feebarani J, Joydas TV, Damodaran R and Borja A(2016). Benthic quality assessment in a naturally- and humanstressed tropical estuary. *Ecological Indicators* 67, 380~390.
- Frey RW, Hong JS, Howard JD, Park BK and Man SJ(1987). Zonation of benthos on a macrotidal flat of Incheon, Korea. *Senckenbergiana maritima* 19, 295~329.
- Hong JS and Seo IS(2001). The community ecology of benthic macrofauna on the Cheokjeon tidal flat, Incheon, Korea. 1. Community Structure. 「The Sea」 *Journal of Korean Society of Oceanography* 6, 190~200.
- Jung YH, Yoon KT, Park HS and Ma CW(2013). Spatial Distribution and Community Structure of Macrobenthos on the Sandy Shore of Anmyeondo, Korea. *Ocean and Polar Research*, 35(1), 27~37. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2013.35.1.027>
- Kang SH, Lee JH, Park SW and Shin HC(2014). Temporal and Spatial Distribution of Benthic Polychaetous Communities in Seomjin River Estuary. 「The Sea」 *Journal of Korean Society of Oceanography* 19, 243~255. <http://dx.doi.org/10.7850/jkso.2014.19.4.243>
- Kim JC, Ma CW and Jung YH(2015) Benthic environment and community structure of macrobenthos at the tidal flats in Chung-nam, Korea. *Korean Journal of Fisheries Aquatic Science*, 48, 104~115. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0104>
- Kim SR(2014). Application of a Mapping Technique for Analysis of Macrobenthic Community in the Western Region of Ganghwa South Tidalflat. M.S. thesis, Korea University.
- Lee HG, Yoon KT, Park HS, Hong JS and Lee JH(2016). The Influence of Environmental Variables on Distribution of Macrobenthic Community in Salt Marsh Vegetation in Donggeomdo, Ganghwa on the West Coast of Korea. *Ocean and Polar Research* 38(2), 115~128. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2016.38.2.115>
- Levinton JS(1995). *Marine Biology - Function, Biodiversity, Ecology*, Oxford University Press Inc., New York, 420pp.
- Lim HS, Park KY, Ihm BS, Lee JS and Chu SD(1997). Macrozoobenthic Community on the Mud-tidalflat around Mokpo Coastal Area, Korea. *Korean J. Ecol.*, 20(5), 355~365.
- Lorenzen CJ(1967). Determination of chlorophyll and

- pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12, 343~346.
- Mackinnon J, Verkuil YI and Murray N(2012). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea(including the Bohai Sea). *Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission* 47, 5~69.
- 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.
- MOF(2019). Tidal flat area survey in 2018. 307pp.
- Park ET(2017). Monthly variations in macrozoobenthic community structure in tidal flat of Ganghwa island, Korea. M.S. thesis, Anyang University.
- Park ET, Ko JI, Lee SJ and Lee JH(2019). Long-term Variation of Sedimentary Environment and Benthic Ecosystem Around Channel Restoration Site of Donggum Island Intertidal Flat, Korea. *J Hydrographic Society of Korea* 8(1), 27~32.
- Pielou EC(1966). The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131~144.
- Seo JY, Park SH, Lim HS, Jin MC and Choi JW(2009). The community Structures of Macrozoobenthos during Summer in the Incheon and Busan Harbors, Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, 27(1), 6~19.
- Shannon CE and Weaver W(1963). *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press. Urbana, 117pp.
- Shin SH, Gu BJ and Je JG(2004). Spatial distribution of benthic macrofauna on the tidal flat of Garolim Bay, west coast of Korea. *Journal of Korean Wetland Society*, 6, 57~72.
- Shin HC, Park SW, Lee JH and Lim HS(2017). Macrobenthic Community Analysis on the Tidal Flat of Garolim Bay, Western Coast of Korea. *Korean J Malacol* 33(2), 119~129.
<http://dx.doi.org/10.9710/kjm.2017.33.2.119>
- Yi SK, Hong JS and Lee JH(1982). A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. *Ocean and Polar Research*, 4, 17~26.
-
- Received : 30 December, 2020
 - Revised : 19 January, 2021
 - Accepted : 27 January, 2021