KFAS 한국수산과학회지
Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 48(1), 104-115, 2015

Original Article
Kor J Fish Aquat Sci 48(1),104-115,2015

충남 갯벌 저서환경과 대형저서동물의 군집 변화

김종춘 · 마채우* · 정윤환[1]

순천향대학교 생명시스템학과, [1]한국해양과학기술원 태평양해양연구센터

Benthic Environment and Community Structure of Macrobenthos at the Tidal Flats in Chung-nam, Korea

Jong-Chun Kim, Chae-Woo Ma* and Yun-Hwan Jung[1]

Department of Life Science and Biotechnology, Soon Chun Hyang University, Asan 336-745, Korea
[1]Pacific Ocean Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 426-744, Korea

This study was conducted during April–June in 2008 and 2010, following the Taean Oil Spill. We measured year-to-year changes in benthos species abundances and composition in 16 intertidal zone regions of Chungcheongnam-do. In total, 154 species were found 2008 and 134 in 2010; the mean abundance per area was 403 ind./m^2 and 242 ind./m^2, respectively. In 2008, the 10 dominant species included four species of arthropods, three species of annelids, and three species of mollusks. In 2010, dominant species included five species of annelids, three species of mollusks, one species of arthropods, and one other species. We used bray-curtis similarity to group species and found two groups in 2008 and five in 2010, complementing our NMDS analysis. Finally, we tested correlations between abiotic and biotic factors, and implemented a BIO-ENV analysis, which showed that sediment type, MZ (Phi), and organic content are important environmental factors affecting benthos in the Chung-nam tidal flats.

Key words: Intertidal zones, Environmental factors, Species composition, Community variation

서 론

본 조사지역인 충청남도 갯벌을 포함한 서해안은 대조차 환경의 조석 작용으로 인하여 넓은 면적의 갯벌이 곳곳에 형성되어 있다(Hong and Seo, 2001). 아산만에서 시작하여 천수만을 거쳐 장항으로 이어지는 충청남도의 갯벌은 태안군의 안면도를 중심으로 해안에 고르게 분포하고 있으며, 아산만 갯벌, 대호 갯벌, 가로림만 갯벌, 천수만 갯벌, 장항 갯벌로 나누어진다. 아산만 내에는 아산방조제와 삽교방조제로 막혀진 두 곳이 대표적인 갯벌이었으나, 현재는 간척이 되어 농지로 전환되었고, 일부만 남아있는 실정이다. 태안반도의 북쪽에 위치한 가로림만 내에는 80 km^2 라는 비교적 넓은 갯벌이 발달되어 있는데, 굴 및 바지락 양식장이 유명하며, 이곳은 만의 입구가 좁고 조차가 7 m 로 매우 크게 발생한다. 태안반도의 가장 서쪽 돌출부에도 소원, 소근, 안흥갯벌 등 몇몇 소규모 갯벌이 있으며, 비교적 잘 보전되어 있는 지역이다. 천수만 안쪽에 발달했던 160 km^2 의 대단위 갯벌은 80년대 초 서산 A·B지구 간척사업으로 인해 사라져 버렸다. 보령·서천지역은 해안을 따라 갯벌이 고르게 발달되어 있으며, 비인만에는 장항항 부근까지 비교적 넓은 갯벌이 해안을 따라 조성되어 있고, 장항 외측 해역의 유부도, 개야도 주변에 비교적 넓게 독립된 갯벌이 분포하고 있으며, 내측의 소규모 갯벌은 금강하구언의 영향으로 갯벌 및 사주의 이동이 나타난다(Chungnam Development Institute, 2005).

충남 갯벌에 대한 연구는 주로 태안국립공원 주변과 천수만과 가로림만에 집중되고 있으며, 그 외 장항과 서천지역 갯벌에서는 주로 공단건설과 매립으로 인한 갯벌 환경에 대한 연구가 많이 진행되었다(Chungnam Development Institute, 2007). 태안군에 위치하고 있는 태안해안 국립공원은 사질이 풍부한 갯벌이 많고 비교적 다른 지역에 비해 보존이 양호한 편이며, Korea National Park (2006)에 의하여 이 지역에 대한 연구가 활발히 진행 중인데, 전반적인 현황을 보면, 저서동물 종류별 현황은 종수에 있어서는 절지동물의 갑각류와 환형동물 중 다모류가 전 지역에 걸쳐 우점적이다. Park et al. (2000)은 천수만 조하대 연

http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0104

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial Licens (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 48(1) 104-115, February 2015

Received 12 November 2014; **Revised** 23 December 2014; **Accepted** 23 December 2014

***Corresponding author:** Tel: +82. 41. 530. 1283 Fax: +82. 41. 530. 1638

E-mail address: cwooma@sch.ac.kr

Copyright © 2015 The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상에 관한 연구가 있었으며, Shin et al. (2004)은 서해 가로림만 갯벌의 대형저서동물 공간분포에 관한 연구, Koo et al. (2005)은 신두리 해안의 조하대와 모래 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 분포에 관한 연구 등이 수행되었다.

본 연구는 충남 갯벌에 서식하는 저서동물의 연도별 종조성 및 양적 변화 파악과 우점종의 시·공간적인 변화를 분석하고 분포에 영향을 미칠 수 있는 환경요인의 측정을 병행하여 갯벌의 환경변화에 따른 저서동물의 주요 종 분포양상과 군집의 변동에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2008년과 2010년에 4월부터 6월 중 각각 1회씩 총 16개 지역에서 전체 거리와 지형적 특성을 고려하여 각 정점별 조사선을 선정한 후 국립해양조사원에서 제공하는 조석예보를 기준으로 사리(대조) 시의 조간대 최상부에서 간조시 갯벌이 드러나는 조간대 최하부까지 조사선별 상부, 중부, 하부 3곳에서 조사를 실시하였다(Fig. 1, Table 1). 조사방법은 50 cm × 50 cm 면적의 방형구(대상면적: 0.25 m^2)를 이용하여 정량조사를 실시하였으며, 각 정선별로 정점당 2회씩 깊이 30 cm까지의 저질을 채취해서 1 mm 망 체로 현장에서 생물을 분리한 후, 10% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반 분류하였으며, 대형저서동물은 분류군별로 선별한 후 최종적으로 현미경 하에서 종 수준까지 동정하였다. 또한, 개체수를 계수하였으며, 습중량은 0.001 g까지 측정하였다.

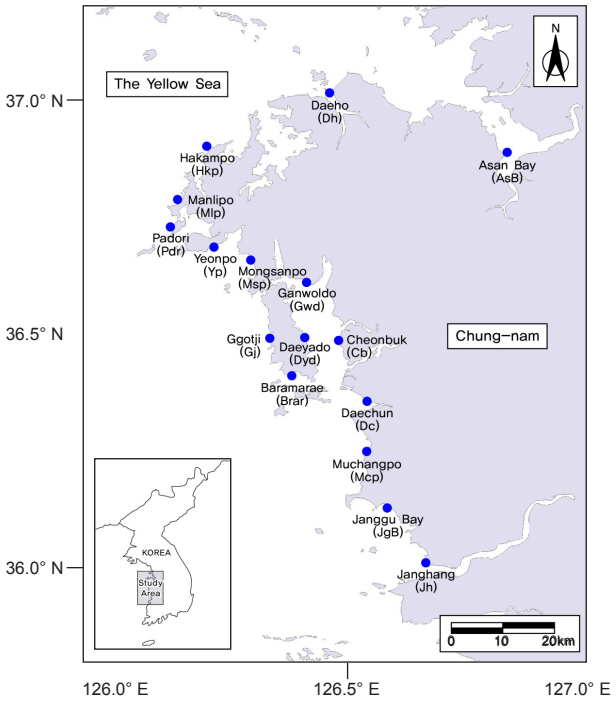

Fig. 1. Map of sampling stations in the study area.

Table 1. Dates and stations of annual survey

Year	Date	Station
2008	05.05	Cb, Dc, Mcp, Jgb, Jh
	05.19	Msp, Gj, Brar, Dyd, Gwd
	06.04	AsB, Dh, Hkp, Mlp, Pdr, Yp
2010	04.28	Cb, Dc, Mcp, Jgb, Jh
	05.14	Msp, Gj, Brar, Dyd, Gwd
	05.28	Hkp, Mlp, Pdr, Yp
	06.12	AsB, Dh

조사지점의 해양환경 중에서 해양생물의 지리적 분포에 민감한 영향을 미칠 것으로 예상되는 입도분석은 현장에서 각 정점별로 채취한 표층퇴적물 시료를 실험실로 운반하여, 전처리 후, 자동입도분석기로(Sedigraph 5100D)로 분석하였다. 퇴적상(Sediment type) 분류는 Folk and Ward (1957) 방법을 따랐으며, 평균입도(Mz)는 통계 처리하여 각각 그 값을 구하였으며, 표층 퇴적물에 대한 총 유기물 함량은 연소 소실법(Ingnition Loss Technique)에 의해 수행되었다.

대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여 종 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1963)를 산출하였으며, 전체 우점종은 정점별 출현밀도와 빈도, 각 정점별 우점종은 출현밀도를 근거로 선정하였다(LeBris, 1988). 집괴분석(Cluster analysis)과 nMDS (Non-metric multidimensional scaling)은 대형저서동물 군집 구조의 유사성을 파악하기 위해 종의 개체수를 Squre root로 변환하여 Bray-Curtis 유사도 지수를 구하였고, SIMPROF test를 병행하여 실시하였다. SIMPROF test에 의해 구분된 그룹은 통계적으로 유사한 군집 구조를 가지고 있는 것으로 간주하였으며, 구분된 각 군집의 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 이용하였다. 각 구분된 군집의 유사도에 기여한 기여종을 밝히기 위해 SIMPER (Similarity-percentages procedure) 테스트와 저서동물의 공간분포에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위해 BIO-ENV 테스트를 각각 실시하였다. 또한, 환경변수(퇴적상, 입도평균, 유기물 함량 등)와 생물지수(종수, 밀도, 종다양도 등), 우점종 간의 상관관계를 파악하기 위해 비모수통계에 의한 Spearman rank correlation을 실시하였다. 정점별 종수와 출현 개체수의 유의한 차이를 파악하기 위하여 분석을 실시하기 전에 각 자료의 정규성 검증(Normality test)을 실시하였다. 정규성 분포 자료는 두 개 집단인 경우 T-test, 두 개 집단 이상인 경우에는 one-way ANOVA test로 분석하였고, 비정규성인 자료는 Kruskal-Wallis test를 실시하였다(SigmaStat 3.0). 통계분석은 SPSS 18과 PRIMER 6을 이용하였다.

결 과

환경요인

조사기간 입도분석의 경우, 2008년과 2010년 모두 아산만에서 Sand 함량은 낮고 Silt 함량은 상대적으로 높은 가장 세립한 지역으로 나타났다. 연도별 입도 평균값은 2008년과 2010년에 각각 2.96∅와 3.16∅로 나타나 대부분의 정점이 전형적인 사질 퇴적상을 나타내는 것으로 조사되었다. 특히, 대호와 장항 정점의 경우는 2008년에 비해 2010년에 Silt 함량이 대호의 경우 82.0%에서 7.1%로, 장항은 76.5%에서 27.9%로 감소하였고 Sand 함량이 대호의 경우 14.5%에서 91.8%로, 장항은 20.0%에서 68.3%으로 크게 증가하여 시간이 지남에 따라 펄 갯벌에서 모래 갯벌의 특성이 상대적으로 우세해졌음을 알 수 있었다. 또한 2008년과 비교하여 2010년의 퇴적물 중 자갈(Gravel)이 추가적으로 구성성분에 포함되어졌다(Fig. 2, 3).

2008년의 경우, 조사해역의 퇴적물의 유기물 함량은 0.3-3.3%의 범위로 평균값 1.2%로 나타나 대부분의 정점에서 전형적인 사질조간대에서 나타나는 적은 양의 유기물 함량을 보였다. 2010년의 경우는 조사해역의 퇴적물의 유기물 함량은 0.6-9.7%의 범위로 평균값 2.6%로 나타나 2008년과 비교시 전체적으로 높은 유기물 함량을 나타냈다(Fig. 4). 2008년과 2010년의 유기물 함량은 각각 평균 1.2%, 2.6%로 나타났으며, 유의한 수준에서 증가한 것으로 나타났다(P<0.05).

저서동물의 군집구조 변화 및 분포 특성

조사 지역의 2008년도 분류군별 종 수의 변동패턴을 보면 총 154종으로 이 중 환형동물(Annelida)이 55종 출현하여 전체의

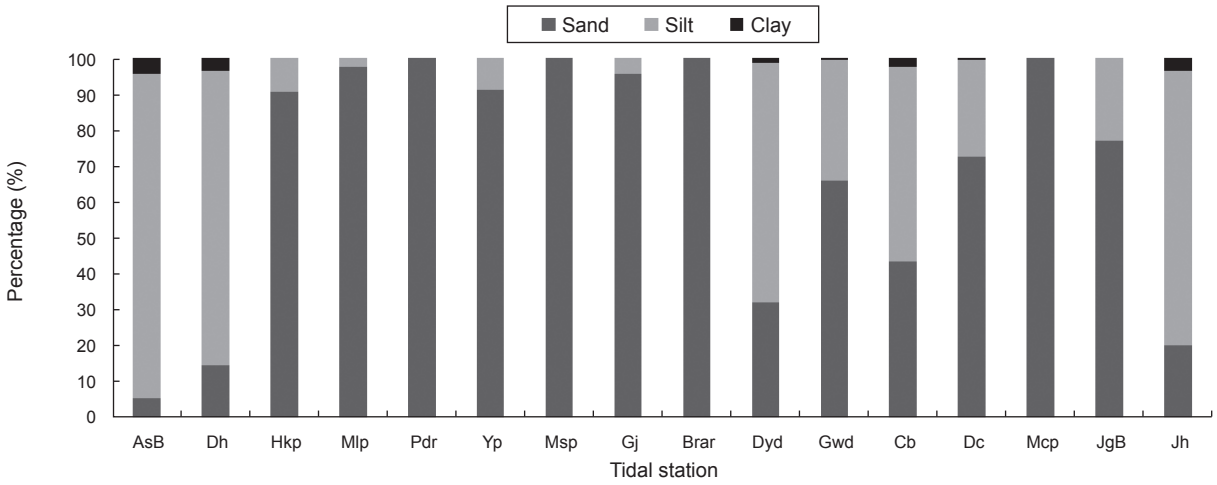

Fig. 2. Variations in the grain material composition of surface sediment (2008).

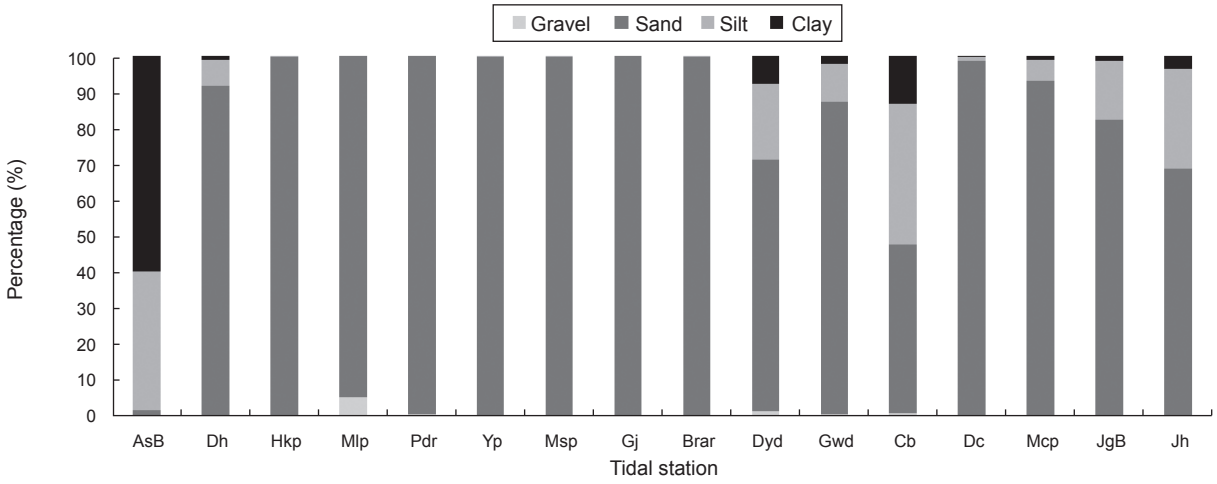

Fig. 3. Variations in the grain material composition of surface sediment (2010).

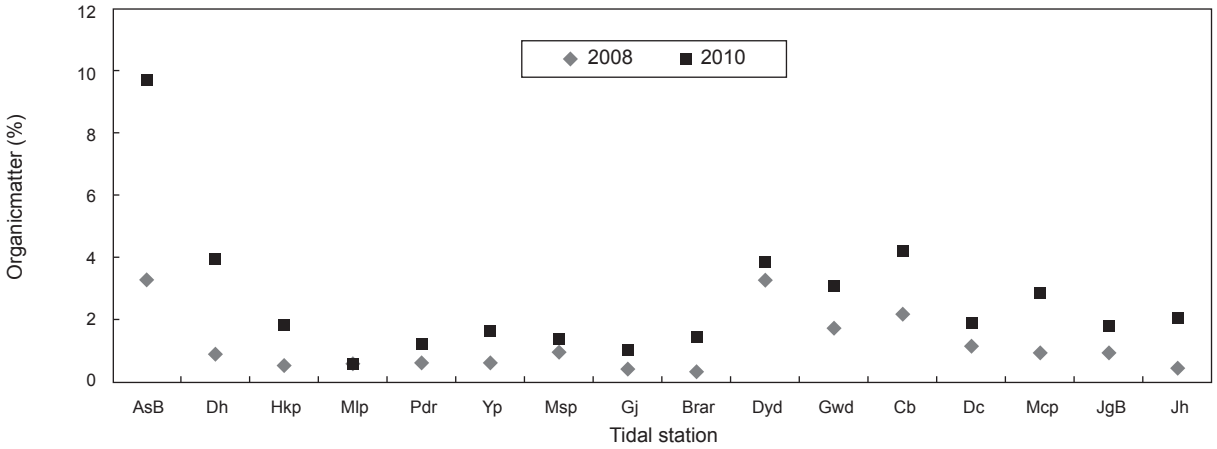

Fig. 4. Sediment organic content at each station in the study area.

36%를 점유 하였으며, 절지동물(Arthropoda)이 50종 출현하여 32%을 차지하였으며, 연체동물(Mollusca)이 41종, 27%, 기타동물(Other)이 8종으로 5%를 점유하였다. 2010년도에는 총 134종으로 이 중 환형동물이 64종 출현하여 전체의 48%를 점유하였으며, 절지동물이 40종 출현하여 30%을 차지하였으며, 연체동물이 27종, 20%, 기타동물이 3종으로 2%를 점유하였다. 2008년과 2010년의 결과 비교시, 전체적인 종 수의 변화는 2008년에 154종에서 2010년에 134종으로 감소하였지만, 정점별 출현 종 수에 있어서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 분류군별 종 수 비교시는 환형동물과 연체동물을 제외한 절지동물에서 감소하는 것으로 나타났다(P<0.05).

2008년도의 단위 면적당 개체수는 403개체/m^{2}였으며, 이중 연체동물이 163개체/m^{2}를 나타냈고, 절지동물이 132개체/m^2, 환형동물 105개체/m^2, 기타가 3개체/m^{2}로 나타냈다. 2010년도의 단위 면적당 개체수는 242개체/m^{2}였으며, 이중 환형동물이 96개체/m^{2}를 나타냈고, 연체동물 88개체/m^2, 절지동물 42개체/m^2, 기타가 16개체/m^{2}로 나타냈다. 2008년과 2010년의 결과 비교시, 2008년 403개체/m^{2}에서 2010년 242개체/m^{2}로 감소하였지만, 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 분류군별 개체수 비교시는 환형동물은 증가 하였고(P<0.05), 절지동물은 감소하였으며(P<0.05), 연체동물은 차이가 없는 것으로 나타났다.

2008년도 조사된 생체량을 살펴보면 단위 면적당 242.674 gWWt/m^{2}이였으며, 2010년도는 131.683 gWWt/m^2 를 나타냈다. 2008년과 2010년의 결과 비교시, 분류군별로는 패각 및 갑각의 무게를 포함하고 있어 상대적으로 높은 생체량을 나타내는 연체동물과 절지동물이 연도별로 각각 높게 나타났으며, 전체적인 생체량은 2010년도에 감소하였고, 유의하지 않은 것으로 나타났다. 분류군별 결과는 환형동물과 절지동물은 2008년에 비해 상대적으로 감소하였고(P<0.05), 연체동물에서는 2008년에 71%에서 2010년에 92%로 증가하였지만, 유의한 차이는 없었다.

2008년과 2010년 조사된 전체 출현 대형저서동물 개체수와 출현빈도를 고려하여 LeBris index (1988)를 이용하여 상위 10위의 우점종을 선별하였다. 2008년은 절지동물이 4종으로 가장 많았고, 다음으로 연체동물과 환형동물이 각각 3종으로 서열되었다. 이들을 순위별로 나열해 보면, 이매패류인 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 8개 정점에서 75개체/m^2 출현하였고, 지수 점유율은 14%로 나타났다. 그 다음 단각류인 긴털모래옆새우(*Haustorioides koreanus*), 이매패류인 꼬마돌살이조개(*Felaniella sowerbyi*), 다모류인 북방백금갯지렁이(*Nephtys caeca*)와 대나무갯지렁이류(Maldanidae sp.) 등의 순으로 나타났으며, 상위 10위의 우점종이 차지하는 단위면적당 개체수는 285개체/m^2 로 전체 지수 점유율의 70%를 점유하였다(Table 2). 2010년 조사된 전체 출현 대형저서동물 중 상위 10위의 우점종으로는 환형동물 5종, 연체동물 3종, 절지동물과 기타동물이 각각 1종씩 포함되었다. 이들을 순위별로 나열해 보면, 다모류인 침보석요정갯지렁이(*Armandia lanceolata*)가 10개 정점에서 20개체/m^{2}로 지수 점유율은 17%로 나타내어 가장 높은 것으로 확인되었다. 그 다음 유형동물인 Nemertia, *R. philippinarum*와 *F. sowerbyi*, *H. koreanus* 등의 순으로 나타났으며, 상위 10위의 우점종은 128개체/m^2 를 차지하여 전체 지수 점유율의 75%를 차지하였다(Table 3).

군집 분석

2008년과 2010년도 개체수 자료를 근거로 하여 각 정점별로 생태학적 지수(종 다양도, 균등도, 풍부도)를 구하였다(Fig. 5, 6, 7). 2008년도의 경우는 종 다양도는 최소 2.21에서 최대 3.30의 범위를 나타내었며, 평균값은 2.85이었다. 균등도는 0.76-0.98의 범위로 평균값은 0.89이었다. 종 풍부도는 최소 4.17에서 최대 8.33의 범위를 보였고, 평균값은 6.07로 나타났다. 종 다양도와 균등도는 모두 만리포에서 가장 낮았고, 무창포에서

Table 2. Dominance of the top species in density by LeBris method (2008)

Rank	Sp.	Taxa	Abundance (inds./m²)	LeBris index Dominance (%)
1	*Ruditapes philippinarum*	Mo	75	14
2	*Haustorioides koreanus*	Ar	76	12
3	*Felaniella sowerbyi*	Mo	49	11
4	*Nephtys caeca*	An	7	8
5	Maldanidae sp.	An	39	6
6	*Macrophthalmus japonicus*	Ar	3	5
7	*Upogebia major*	Ar	5	4
8	*Umbonium thomasi*	Mo	15	4
9	*Corophium affinis*	Ar	11	3
10	*Haploscoloplos elongatus*	An	5	3
	Total		285	70

(Mo, Mollusca; An, Annelida; Ar, Arthropoda)

Table 3. Dominance of the top species in density by LeBris method (2010)

Rank	Sp.	Taxa	Abundance (inds./m²)	LeBris index Dominance (%)
1	*Armandia lanceolata*	An	20	17
2	Nemertia	*Ot*	16	16
3	*Ruditapes philippinarum*	Mo	5	13
4	*Felaniella sowerbyi*	Mo	27	9
5	*Haustorioides koreanus*	Ar	10	6
6	*Moerella jedoensis*	Mo	6	4
7	*Nerinides yamaguchii*	An	34	3
8	*Nephtys caeca*	An	4	3
9	*Lunbrineris nipponica*	An	2	2
10	Maldanidae sp.	An	4	2
	Total		128	75

(Mo, Mollusca; An, Annelida; Ar, Arthropoda; Ot, Other)

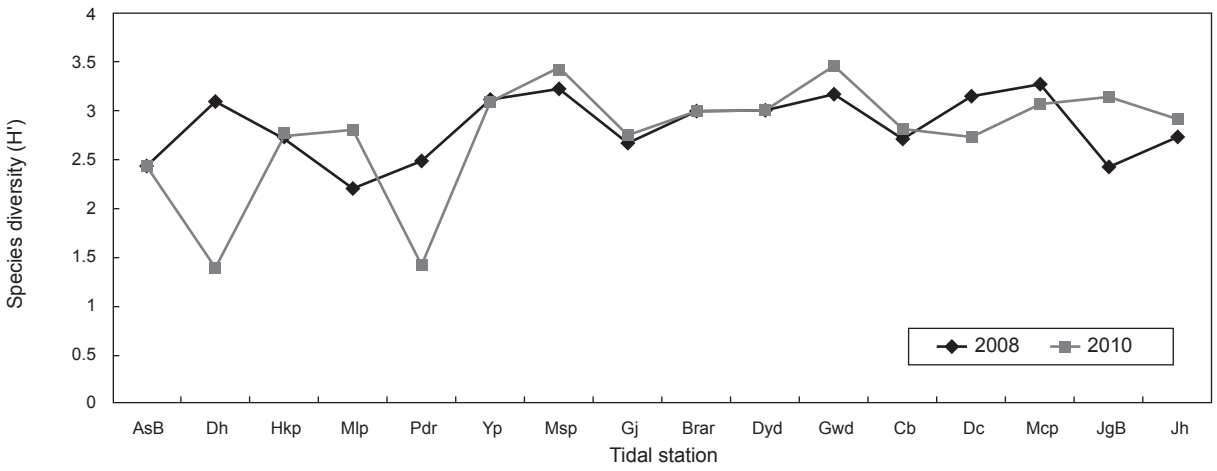

Fig. 5. Variations of species diversity index at each station in 2008 and 2010.

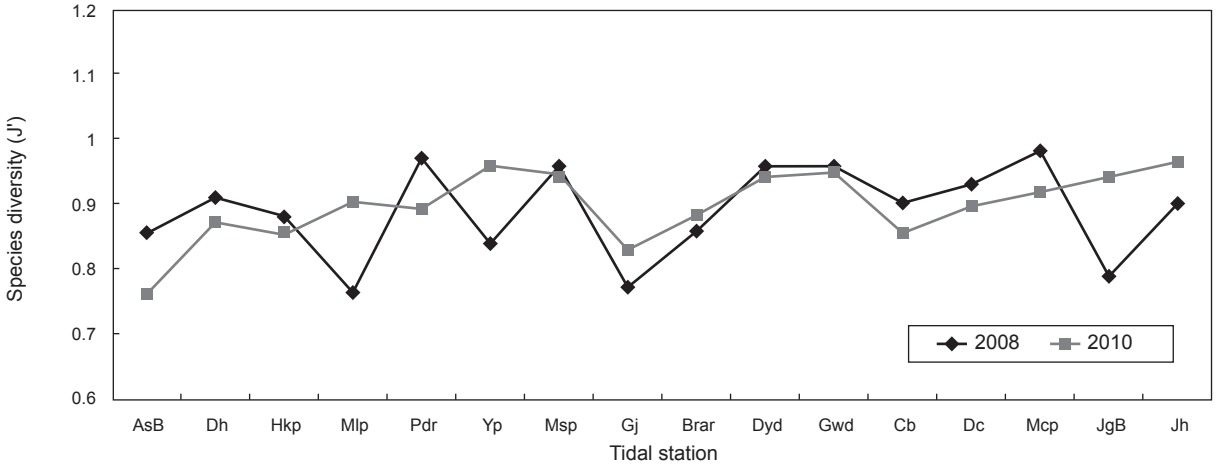

Fig. 6. Variations of evenness index at each station in 2008 and 2010.

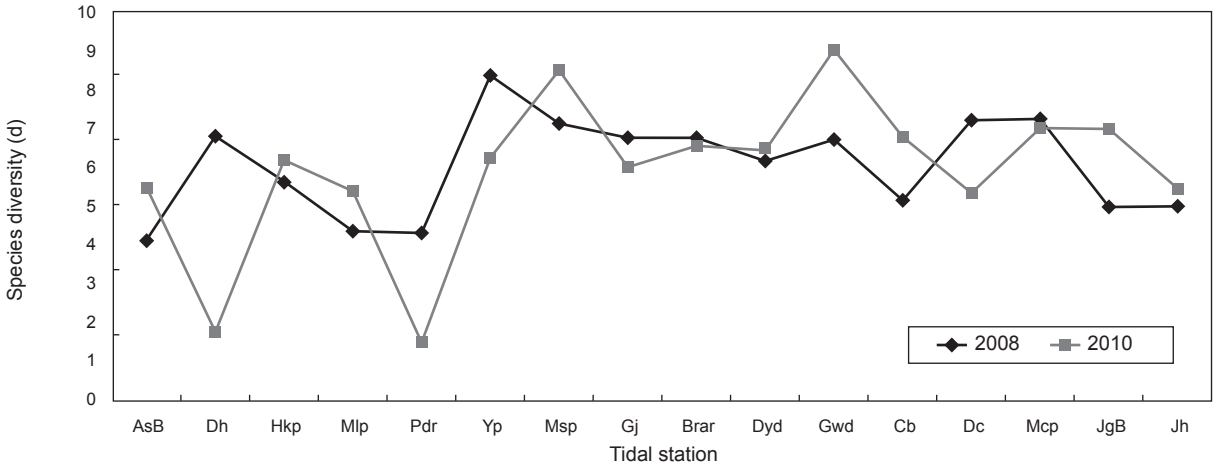

Fig. 7. Variations of richness index at each station in 2008 and 2010.

가장 높게 나타났으며, 풍부도의 경우는 아산만에서 가장 낮았고, 연포에서 가장 높게 나타났다.

2010년도는 종 다양도에서 최소 1.41에서 최대 3.46의 범위를 나타내었며, 평균값은 2.77이였다. 각 정점별로는 2.00을 기준으로 다른 지점과 비교하여 대호와 파도리에서 각각 1.41과 1.44를 나타내어 비교적 다양하지 않았다. 균등도는 0.76-0.96의 범위로 평균값은 0.90이었다. 종 풍부도는 최소 1.56에서 최대 9.04의 범위를 보였고, 평균값은 5.95로 나타났다. 종 다양도는 대호에서 가장 낮았고, 간월도에서 가장 높았으며, 균등도는 아산만에서 가장 낮게 나타났고, 연포와 장항에서 0.96으로 가장 높게 나타났다. 풍부도의 경우는 파도리에서 가장 낮았고, 간월도에서 가장 높게 나타났다.

2008년과 2010년 각각의 16개 조사정점을 대상으로 Bray-Curtis의 유사도(Similarity)를 구하였으며, nMDS 분석을 추가적으로 실시하여 정점간 비교하였다. 집괴분석 중 SIMPROF test 분석을 통하여 각 연도별 차이를 나타내는 그룹은 2008년 3개의 그룹(Fig. 8), 2010년 2개의 그룹으로 각각 구분되어졌고(Fig. 9), 이는 ANOSIN test 결과에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(P<0.05). 또한, 각 그룹을 구별짓는 상위 3종들을 구한SIMPER 분석 결과, 군집간의 차이는 주요 우점종들의 개체수 차이에 의해 구분되었고, 2008년에는 *Macrophthalmus japonicus*, *Felaniella sowerbyi*, *Ruditapes philippinarum*, 2010년에는 *Felaniella sowerbyi*, *Armandia lanceolata* 등이 각각 크게 기여하고 있는 것으로 나타났다(Table 4, 5).

저서동물 분포와 환경요인과의 관계

환경과 생물간의 상관관계에 대해 이해하기 위해 각 요인들의 상관계수를 구하였다. 상관계수를 구하기 위한 환경요인들

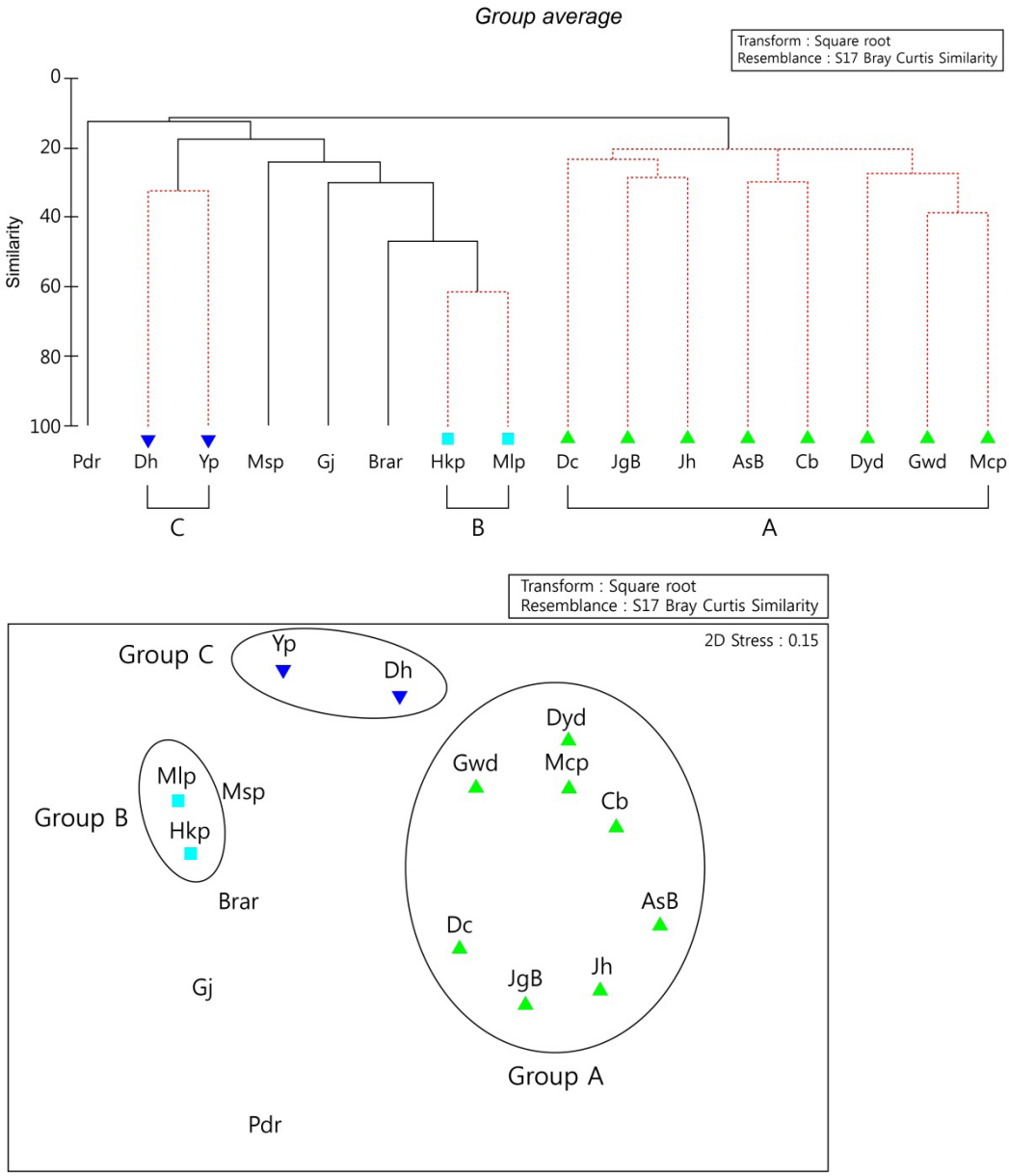

Fig. 8. Dendogram based on cluster analysis and nMDS at each station in the study area (2010). Broken lines indicate the same group by SIMPROF analysis.

은 퇴적상으로 Gravel, Sand, Silt, Clay와 입도평균 및 유기물 함량, 생물학적요인은 종수, 출현밀도, 생체량, 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수를 사용하였고, 연도별 주요 우점종 상위 5종을 추가하여 각 정점별 값을 대비하여 분석하였다. 상관관계성 분석결과, 2008년의 환경요인 중 환경변수간의 상관관계성은 평균입도는 Silt에 r=0.902, Clay에 r=0.903의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, Sand에는 상관계수 r=-0.902로 역으로 높은 상관계수 값을 나타내고 있었다. 또한 유기물 함량은 Clay에 r=0.517의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 생물지수와의 환경변수간 상관관계 분석결과는 종 수, 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수, 제 1우점종, 제 4우점종간의 상관관계가 나타나지 않았다(Table 6). 또한 출현밀도와 제 3우점종은 유기물 함량에 각각 r=-0.545와 r=-0.691의 역상관성을 나타내었고, 생체량에 있어서는 Silt, Clay 및 평균입도와 정상관관계를 나타내었으나 Sand와는 역상관성을 보였다. 2010년의 환경요인 중 환경변수간의 상관관계성은 평균입도는 Silt에 r=0.955, Clay에 r=0.943의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, Sand에는 상관계수 r=-0.839로 역으로 높은 상관계수 값

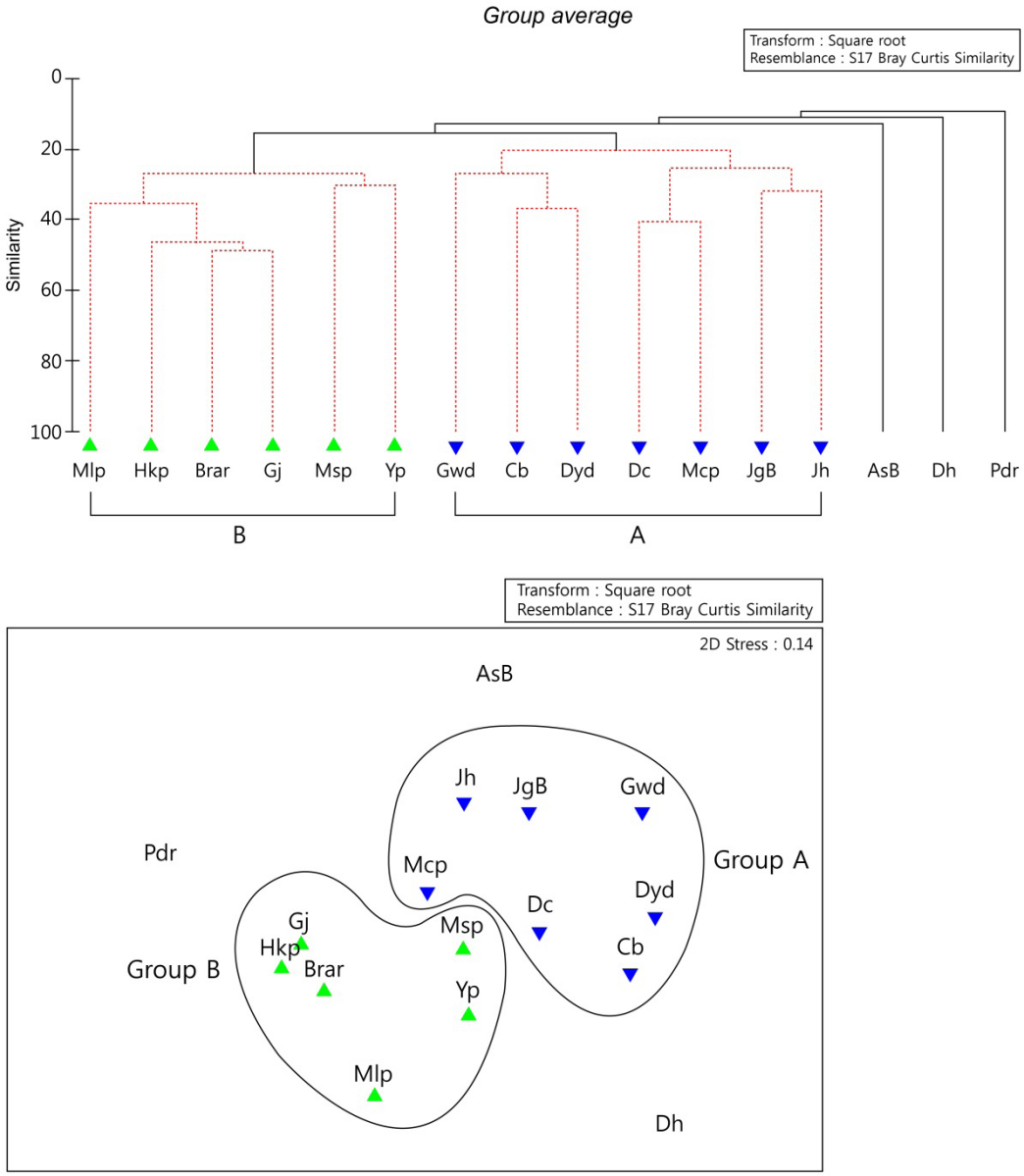

Fig. 9. Dendogram based on cluster analysis and nMDS at each station in the study area (2010). Broken lines indicate the same group by SIMPROF analysis.

을 나타내고 있었다. 또한 유기물 함량은 Silt, Clay, 평균입도와 정상관관계를 나타내었으나 Sand에는 r=-0.756의 역상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 생물지수와의 환경변수간 상관관계 분석결과는 종수, 출현밀도, 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수, 제 1우점종, 제 2우점종, 제 3우점종간의 상관관계가 나타나지 않았다(Table 7). 또한 생체량에 있어서는 Silt, Clay, 평균입도 및 유기물 함량과 정상관관계를 나타내었으나 Sand와는 역상관성을 보였다.

2008년과 2010년에 측정되어진 환경요인 중에서 저서동물군집 구조 및 분포 경향을 가장 잘 설명할 수 있는 다변량 환경요인의 조합을 파악하기 위하여 BIO-ENV 분석을 실시하였다(Table 8). 먼저 2008년도의 저서동물군집의 구조 및 분포를 설명하는 다변량 환경요인의 조합은 '입도평균(pw=0.383)'의 조합으로 가장 높은 연광성을 보였고, 다음으로는 'Silt·입도평균(pw=0.351)'의 조합으로 나타내었다. 2010년도의 저서동물군집의 구조 및 분포를 설명하는 다변량 환경요인의 조합은 '입도평균·유기물 함량(pw=0.565)'의 조합으로 가장 높은 연관성을 보였고, 다음으로는 'Clay·입도평균·유기물 함량 (pw=0.542)'

Table 4. The list of higher contributing species between group by SIMPER analysis (2008)

	Group A	Group B	Group C
Group A	*Macrophthalmus japonicus* *Glycera* sp. *Nephtys caeca*	*Felaniella sowerbyi* *Maldanidae* sp. *Umbonium thomasi*	*Ruditapes philippinarum* *Maldanidae* sp. *Spio borealis*
Group B		*Felaniella sowerbyi* *Umbonium thomasi* *Armandia lanceolata*	*Ruditapes philippinarum* *Meretrix Lusoria juvenile* *Spio borealis*
Group C			*Ruditapes philippinarum* *Nephtys caeca* *Glycera* sp.

Table 5. The list of higher contributing species between group by SIMPER analysis (2010)

	Group A	Group B
Group A	*Armandia lanceolata* *Nemertia* sp. *Nephtys polybranchia*	*Felaniella sowerbyi* *Nerinides yamaguchii* *Armandia lanceolata*
Group B		*Felaniella sowerbyi* *Nemertia* sp. *Haustorioides koreanus*

의 조합으로 나타내었다.

고 찰

2008년과 2010년의 입도분석 결과, 각 정점별 입도조성의 편차가 비교적 높은 해역으로 나타났으며, 대부분의 정점에서 모래함량이 70% 이상인 전형적인 사질 조간대의 특징을 보였다. 본 조사 해역에 포함되어진 지역에서 연구된 Korea Ocean Research & Development Institute (2009) 조사에서 2009년도 계절별 조사시 만리포는 0.75-2.00∅의 범위를 나타내어 본 조사의 만리포 결과와 유사한 것으로 나타났으며, 연포와 몽산포에서는 각각 2.1-2.4∅ 와 2.5-3.0∅의 범위를 보이는 지역으로 나타내어 본 조사의 연포와 몽산포 결과가 포함되어 졌거나 좀 더 조립한 것으로 나타났다.

2008년과 비교하여 2010년의 유기물 함량은 유의한 수준에서 증가한 것으로 나타났다. 조사정점 중 아산만 지역의 경우는 연도별 최대 변화값을 나타냈으며, 이는 아산호방조제와 삽교

Table 6. Spearman rank correlation coefficients between the environmental variables, biotic indices and dominant species (2008)

	Silt	Clay	Mz(Phi)	OC	S	A	B	H'	J'	d	RP	Hk	FS	NC	Ma
Sand	-1.000**	-0.909**	-0.902**	-0.462	0.227	-0.022	-0.643**	0.148	0.086	0.281	-0.261	0.653**	0.528*	-0.335	-0.507*
Silt		0.909**	0.902**	0.462	-0.227	0.022	0.643**	-0.148	-0.086	-0.281	0.261	-0.653**	-0.528*	0.335	0.507*
Clay			0.903**	0.517*	-0.265	-0.174	0.594*	-0.023	0.151	-0.268	0.287	-0.525*	-0.553*	0.304	0.405
Mz(Phi)				0.387	-0.193	-0.022	0.561*	-0.156	-0.009	-0.313	0.248	-0.425	-0.408	0.157	0.503*
OC					-0.301	-0.545*	0.235	0.166	0.434	-0.074	0.029	-0.425	-0.691**	0.059	0.317
S						0.423	0.346	0.637**	-0.053	0.893**	0.463	0.376	-0.068	0.147	-0.206
A							0.353	-0.324	-0.894**	0.112	0.055	-0.024	0.29	0.269	0.011
B								0.153	-0.171	0.221	0.626**	-0.456	-0.476	0.408	0.408
H'									0.629**	0.841**	0.459	0.195	-0.479	0.210	-0.150
J'										0.238	0.207	0.152	-0.415	-0.142	-0.084
d											0.415	0.331	-0.268	0.080	-0.263
RP												-0.367	-0.338	0.290	-0.208
DL													0.469	-0.475	-0.233
FS														-0.410	-0.435
NC															0.135

Mz, Mean grain size; OC, Organic content; S, No.species; A, Abundance; B, Biomass; H', Diversity; J', Evenness; d, Richness; RP, *Ruditapes philippinarum*; HK, *Haustorioides koreanus*; FS, *Felaniella sowerbyi*; NC, *Nephtys caeca*; Ma, Maldanidae sp.

Table 7. Spearman rank correlation coefficients between the environmental variables, biotic indices and dominant species (2010)

	Sand	Silt	Clay	Mz(Phi)	OC	S	A	B	H'	J'	d	AL	Ne	RP	FS	HK
Gravel	-0.360	0.078	0.136	0.045	-0.006	-0.215	-0.334	0.376	0.097	0.308	-0.075	-0.274	0.040	0.269	-0.134	-0.251
Sand		-0.879**	-0.897**	-0.839**	-0.756**	0.209	0.253	-0.659**	-0.029	-0.106	-0.044	0.389	0.270	-0.179	0.759**	0.754**
Silt			0.965**	0.955**	0.876**	0.001	-0.15	0.582*	0.156	0.106	0.259	-0.395	-0.167	0.247	-0.738**	-0.661**
Clay				0.943**	0.878**	0.019	-0.144	0.613*	0.168	0.109	0.256	-0.321	-0.159	0.265	-0.770**	-0.622*
Mz(Phi)					0.792**	0.125	-0.062	0.681**	0.221	0.091	0.331	-0.423	-0.106	0.248	-0.701**	-0.676**
OC						-0.104	-0.100	0.503*	-0.088	-0.129	0.100	-0.37	-0.130	0.382	-0.669**	-0.502*
S							0.467	0.040	0.782**	0.160	0.927**	0.025	0.399	0	0.252	0.101
A								0.091	-0.026	-0.574*	0.224	0.108	0.212	-0.279	0.520*	0.223
B									0.126	0.094	0.121	-0.482	0.027	0.274	-0.238	-0.647**
H'										0.709**	0.894**	-0.098	0.262	0.149	0.034	-0.186
J'											0.368	-0.023	-0.081	0.194	-0.161	-0.311
d												-0.105	0.369	0.141	0.014	-0.105
AL													-0.066	-0.423	0.143	0.439
Ne														0.426	0.339	0.224
RP															-0.233	-0.440
FS																0.520*

Mz, Mean grain size; OC, Organic content; S, No.species; A, Abundance; B, Biomass; H', Diversity; J', Evenness; d, Richness; AL, *Armandia lanceolata*; Ne, Nemertia; RP, *Ruditapes philippinarum*; FS, *Felaniella sowerbyi*; HK, *Haustorioides koreanus*

Table 8. Combinations of environmental variables giving the best matching weighted rank correlations (pw) between biotic and environmental matrices from BIO-ENV analysis

Sampling season	Highest (pw)	Variables
2008	0.383	Mz (Phi)
	0.351	Silt, Mz (Phi)
	0.345	Sand, Mz (Phi)
	0.337	Sand, Silt, Mz (Phi), Organic content
2010	0.565	Mz (Phi), Organic content
	0.542	Clay, Mz (Phi), Organic content
	0.500	Organic content
	0.500	Sand, Mz (Phi), Organic content

호방조제에서 수시로 담수를 방류하고 있는 영향으로 판단된다(EKR, 2010). 따라서, 다량의 담수와 함께 유기물이 인근에 위치하고 있는 아산만으로 유입되어 연간 변동폭이 매우 심하며, 이에 따른 결과가 전체 유기물 함량 증가에 영향을 미친 것으로 여겨진다.

대형저서동물의 조사 시기 및 채집방법에 따라 출현 종수, 개체수가 달라지기는 하나 비슷한 환경을 나타내는 지역과의 비교는 조사해역의 다양성을 어느 정도 유추해 볼 수 있는 자료로 추정 되어진다(Jeong, 2006). 본 연구 지역인 충남 조간대를 대상으로 한 16개 정점에서 2008년에는 154종으로 나타났으며, 2010년은 134종으로 확인되었다. 본 연구 해역에서 출현한 종수는 Jeong (2006)이 안면도 갯벌에서 보고한 135종과 Seo (2003)가 인천 척전 연안에서 보고한 127종과 유사한 수준이었다. 유의성 검증 결과, 연도 변화에 따른 정점별 종수 변화의 유의한 차가 없는 것으로 나타났으나, 분류군별 종 수 중 환형동물과 연체동물을 제외한 절지동물에서 감소하는 것으로 나타났으며, 분류군별 개체수 비교시는 환형동물은 증가하였고, 절지동물은 감소하였으며, 연체동물은 차이가 없는 것으로 나타났다.

우점종의 시•공간적 변동 양상은 대상 군집의 구조와 천이과정을 파악하는데 필요한 정보를 제공한다(Dobbs and Scholly, 1986). 따라서 군집 연구에 있어 우점종의 비중은 대상 해역 생태계의 안정도를 평가하고(Borja et al., 2003), 환경을 해석하는데 매우 중요한 역할을 하기 때문에(Pearson and Rosenberg, 1978; Fried et al., 2000), 우점종을 대상으로 생태적 지위 파악하기 위한 연구(Taghon, 1992)와 개체군 동태에 대한 연구가 수행되고 있다(Bagheri and McLusky, 1982; Wilhelm and Hilbish, 1998). 우점종의 경우 상위 10위의 변화양상은 2008년에 절지동물이 4종에서 2010년에는 1종으로 감소하였으며, 환형동물은 2008년에 3종에서 2010년에 5종으로 증가하는 양상을 나타내었다. 이상의 결과로 살펴 볼 때, 본 조사 해역에서의 분류군별 종조성, 개체수 및 우점종의 변동은 대형저서동물의 서식환경이 변화함에 따른 영향이 일부 작용한 것으로 판단되며, 이와 같은 현상이 지속 되어지거나 다른 경향으로의 변화 가능성을 파악하기 위한 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 여겨진다.

Bray-Curtis의 유사도(Similarity)와 SIMPROF test 분석에 의한 군집분석 결과, 2008년에는 3개 그룹, 2010년에는 2개의 그룹으로 각각 구분되었고, 이는 ANOSIN test 결과에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. SIMPROF test로 형성된 연도별 각각의 그룹은 퇴적물에 의한 영향과 함께 조사정점인 Brar와 Dyd를 기준으로 조사정점간 위치에 의해 그룹이 형성되는 경향을 보였다. 또한, 각 군집을 대표하는 주요종을 알아보기 위한 SIMPER 분석 결과, 각 연도별 최상위 우점종 차지하고 있는 *Ruditapes philippinarum*와 *Felaniella sowerbyi*의 두 종은 대부분의 정점에서 출현하면서, 공간별로 개체수의 차이에 의해 각 군집을 구분하는 역할을 하였다.

상관관계성 분석결과, 2008년의 환경요인 중 저서동물의 분포에 영향을 미치는 요인으로는 출현밀도는 유기물 함량과 역상관관계를 나타내어 유기물 함량이 증가할수록 출현밀도가 감소하였다. 2010년의 환경요인 중 저서동물의 분포에 영향을 미치는 요인으로는 생체량에 있어서는 Silt, Clay의 비율과 평균입도 및 유기물 함량에서 정상관관계를 보여 이들이 증가할수록 생체량도 함께 증가하는 것으로 나타났으나, Sand의 경우는 비율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. BIO-ENV 분석 실시결과는 2008년은 입도평균(pw=0.383)의 조합, 2010년은 입도평균·유기물 함량(pw=0.565)의 조합으로 가장 높은 연광성을 나타내었다. Snelgrove and Butman (1994)의 연구결과에 의하면, 퇴적물의 유기물함량은 저질의 입경에 좌우되며, 연성기질에 서식하는 대형 저서동물 군집의 구조는 퇴적물의 입도조성에 의하여 일차적으로 결정되는 것으로 알려져 있다(Levinton, 1995) 또한, 일반적으로 퇴적물 중 유기물 함량이나 중금속의 농도는 퇴적물의 입도와 좋은 상관관계를 보인다(Fostner and Wittmann, 1981). 이상의 결과를 전반적으로 살펴보면 2008년과 2010년 모두 충남 갯벌의 대형저서동물에 있어서 퇴적상, 입도평균 및 유기물 함량이 중요한 환경요인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다.

결론적으로 충남 갯벌의 저서동물군집은 자연적 현상과 함께 인위적인 환경변화에 의하여 영향을 받고 있는 것으로 판단되며, 여러 가지 원인 중 2007년 12월에 태안 인근해역에서 발생한 유류오염 사고의 영향을 배제할 수 없는 상황으로 여겨진다. 따라서, 효율적인 환경평가 방법의 도입과 함께 장기적인 모니터링 검증을 실시하여 환경변화에 따른 충남 갯벌 저서동물의 변화양상을 파악할 필요성이 매우 중요할 것으로 여겨진다.

사 사

본 논문을 상세하게 심사해주신 익명의 심사위원분들께 감사드립니다. 또한, 본 논문은 2014학년도 순천향대학교 교수 연구년제에 의하여 연구되었음을 밝히며, 학교 당국에 감사드립니다.

References

Bagheri EA and McLusky DS. 1982. Population dynamics of oligochaetes and small polychaetes in the polluted forth estuary ecosystem. Neth J Sea Res 16, 55-66.

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. Mar Poll Bull 46, 835-845.

Chungnam Development Institute. 2005. Chungnam Regional Studies, 366-374.

Chungnam Development Institute. 2007. Chungcheongnam-wide ecological network research for building a natural environment, 809.

Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust J Ecol 18, 117-143.

Dobbs FC and Scholly TA. 1986. Sediment processing and selective feeding by *Pectinaria koreni* (Polychaeta: Pectinariidae). Mar Ecol Prog Ser 29, 165-176.

EKR. 2010. http://www.ekr.or.kr/Kkrpub/index.krc on Dec 15.

Folk RL and Word WC. 1957. Brazos river bar: Astudy in the significance of grain-size parameters. J Sed Pet 27, 3-27.

Forstner U and Wittmann GTW. 1981. Metal pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag, New York, USA, 486.

Fried CLJ. Harwood KG. Hall SJ and Hall JA. 2000. Long-term changes in the benthic communities on North Sea fishing grounds. ICES J Mar Sci 57, 1303-1309.

Gomez Gesteira JL and Dauvin JC. 2005. Impact of the Aegean Sea oil spill on the subtidal fine sand macrocommunity of the Ares-Betanzos Ria (Northwast spain). Marine Environmental Res 60, 289-316.

Hong JS and Seo IS. 2001. The Community Ecology of Benthic Macrofauna on the Cheokjeon Tidal Flat, Incheon, Korea 1. Community Structure. J Kor Wetl Soc 6, 190-200.

Jeong YH. 2006. Ecological studies and spatial patterns of macrobenthos on tidal flat around Anmyon-do. Ph. D. Soon chun hyang Univ, Asan, Korea.

KHOA. 2008. http://www.khoa.go.kr on Mar 20.

KHOA. 2010. http://www.khoa.go.kr on Mar 20.

Koo BJ, Shin SH and Woo HJ. 2005. Distribution of Benthic Macrofauna in subtidal area and on sand flat of Sindu-ri coast, Korea. J Kor Wetl Soc 7, 69-88.

Korea National Park. 2006. Taean shore korea national park resources monitoring, 326.

Korea Ocean Research & Development Institute. 2009. Oil Pollution Environmental Impact Assessment and Environmental Restoration Study, 935.

KOSTAT e-Index. 2010. http://www.index.go.kr on Dec 15.

LeBris H. 1988. Fonctionnement des ecosystems benthiques cotiers au contact d'estuaires: la rade de lorient et la baie de Vilaine. These doc. Univ. Bretagne Occidental, Brest, France, 311.

Levinton JS. 1995. Marine Biology-Function, Biodiversity,

Ecology. Oxford University Press Inc. New York, USA, 420.

Park HS. Lim HS and Hong JS. 2000. Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. Bull Kor Fish Soc 33, 262-271.

Pearson T and Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr Mar Biol Ann Rev 16, 229-311.

Sanders HL, Grassle JF, Hampson GR, Mores LS, Price-Garner S and Jones CC. 1980. Anatomy of an oil spill: Long-term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth. Massachusetts. J Marine Res 38, 265-280.

Seo IS. 2003. Community Structure and Trophic Relationships of Macro- and Megabenthic assemblages on Incheon Macrotidal flat of the Yellow Sea. Ph.D. Inha Univ, Incheon, Korea.

Shannon CE and Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana Illinois, 177.

Shin SH. Koo BJ and Je JK. 2004. Spatial Distribution of Benthic Macrofauna on the Tidal Flat of Garolim Bay, West Coast of Korea. J Kor Wetl Soc 6, 57-73.

Snelgrove EH and Butman CA. 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause va effect. Oceanogr Mar Biol Ann. Rev 32, 111-127.

Taghon GL. 1992. Effect of animal diversity and supply of deposited and suspended food particles on feeding, growth and small-scale distributions of two spionid polychaetes. J Exp Mar Biol Ecol 162, 77-95.

Willhelm R and Hilbish TJ. 1998. Assessment of natural selection in a hybrid population of mussel: evaluation of exogenous vs endogenous selection models. Mar Biol 131, 505-514.