

Article

강화 동검도 염습지 식생의 대형저서동물군집 분포에 영향을
주는 환경요인

이형곤^{1*} · 윤건탁¹ · 박흥식² · 홍재상³ · 이재학¹

¹한국해양과학기술원 생태기반연구센터
(15627) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

²한국해양환경관리공단
(05718) 서울특별시 송파구 송파대로 28길

³인하대학교 자연과학대학 해양학과
(22212) 인천광역시 남구 인하로 100

The Influence of Environmental Variables on Distribution of Macrobenthic
Community in Salt Marsh Vegetation in Donggeomdo, Ganghwa on the
West Coast of Korea

Hyung-Gon Lee^{1*}, Kon-Tak Yoon¹, Heung-Sik Park², Jae-Sang Hong³, and Jae-Hac Lee¹

¹Marine Ecosystem and Biological Research Center, KIOST
Ansan 15627, Korea

²Korea Marine Environment Management Corporation
Seoul 05718, Korea

³Department of Oceanography, College of Natural Science, Inha University
Incheon 22212, Korea

Abstract: This study examined the relationship between macrobenthic distribution patterns and environmental factors in salt marsh vegetation in Donggeomdo, Ganghwa on the west coast of Korea. Nine stations were fixed on a transect across the salt marsh vegetation, and field sampling was carried out monthly from July 1997 to June 1998. A total of 38 species of macrobenthos were recorded: each of faunal groups, 13 (34.2%) Arthropoda, 12 (31.6%) Polychaeta, 8 (21.1%) Mollusca, and 5 (13.2%) others. The mean density was 2,659 individuals/m², with a mean biomass of 178.6 gWWt/m². Mollusca dominated in terms of abundance and biomass, with a mean density of 2,172 individuals/m² (81.7%) and a mean biomass of 131.9 gWWt/m² (73.9%). The number of species decreased in winter (January–February), while mean density increased in the spring (May–June). The biomass was relatively in Summer and Fall (July–November), than any other season. The number of species was high in pure stands of *Suaeda japonica* in the lower salt marsh vegetation, and the mean density and biomass were high in mixed halophyte communities in the middle salt marsh vegetation. Two Mollusca, the bivalve *Glauconome chinensis* and gastropod *Assiminea lutea*, were dominant. The densities of these two species were high in mixed halophyte communities in the middle salt marsh vegetation. Non-metric multi-dimensional scaling (nMDS) showed that the study area could be divided into four groups corresponding to the vertical distribution of tidal levels and halophytes. Spearman's rank correlation revealed that the distribution patterns and community structure of macrobenthos were related to environment variables such as salinity of the substrates, exposure time, and

*Corresponding author. E-mail : hglee@kiost.ac.kr

grain size compositions of the sediment in the salt marsh vegetation. Particularly, the distribution and density of some dominant species showed differences along the vertical distributions of halophytes.

Key words : salt marsh vegetation, macrobenthic community, environmental variables, halophytes, Donggeomdo, Ganghwa, West coast of Korea

1. 서 론

세계적으로 중위도와 고위도의 연안을 따라 분포하는 염습지는 그 주변과 함께 균형을 유지하는 역동적인 하나의 복잡한 생태계를 형성하고 있으며, 해양과 육상의 영향을 동시에 받는 조간대 최상부에 위치한 접이시대(transition area)이다. 염생식물 군락지는 경제적 가치가 있는 종의 성육장이나 유기물 공급원으로 주변 해역의 생산력에 영향을 미치며, 그 외곽에 넓게 펼쳐진 갯벌 생태계를 안정적으로(Mitsch and Gosselink 1993; Whaley and Minello 2002). 또한, 염생식물의 높은 생산력은 미생물의 분해를 통하여 전 갯벌 생태계 먹이망의 근간이 되기도 하고, 해수에 의한 침수와 노출, 퇴적물의 염분과 함수량, 담수유입과 증발, 퇴적상 등 여러 환경요인에 의해 생육에 영향을 받고 있는 것으로 밝혀졌다(김과 임 1988; 임 2001; 이 등 2006; Hampel et al. 2009).

저서동물은 먹이사슬에서 중요한 역할을 하는 일차소비자이고, 생산자와 소비자(어류, 갑각류, 조류) 사이의 영양 전달자이자 주요 먹이원이며, 다양한 환경조건에 견디는 종들로 구성되어 주로 생태환경 지시자로 이용된다. 하구에 형성된 염습지 식생 내 저서동물군집은 지형적 구배를 이루는 조간대 환경요인에 의해 광범위하게 영향을 받고(Salgado et al. 2007), 염생식물의 존재 유무에 따라 저서동물의 분포가 결정되기도 하며(Vinagre et al. 2008), 식물의 뿌리와 지하경(rhizome)은 주변 환경요인과 함께 저서동물의 일부 종의 출현과 밀도에 영향을 미치는 잠재적인 요인으로 제안되기도 하였다(Capehart and Hackney 1989).

과거 염습지 연구는 식물의 생산력이나 생태계 구조와 기능이 주 연구 대상이었으며, 식생이나 퇴적물 속에 서식하는 저서동물에 대한 연구는 장기간에 걸친 분포 파악의 어려움으로 대부분 이루어졌다. 그러나 최근 염습지 식생의 환경요인과 저서동물 군집구조 변화(Craft and Sacco 2003; Levin and Talley 2000)와 식생 내 저서동물의 시·공간적 분포 및 역할(Whaley and Minello 2002), 그리고 식생과 저서동물군집의 상호관계(Braga et al. 2009; Chen et al. 2009; Pennings and Bertness 2001) 등 다양한 형태의 연구가 진행되고 있다.

한편, 크고 작은 강이 많은 국내 서해안 하구역에는 염

생식물 군락지가 곳곳에 산재한다. 그러나 지반이 견고하고 육지와 인접하여 개발압력으로 인한 훼손의 정도가 심하여 자연 상태의 식생지역이 많지 않은 실정이다. 또한, 다양한 물리적 생물학적 요인이 복합적으로 작용하여 정량적인 연구가 이루어지지 못한 원인이 되기도 하였다. 국내 염생식물 서식지 연구는 간척과 매립이 활발했던 서해안의 염생식물이 주 연구 대상이었으며, 식생 내 저서동물에 대한 연구는 갯벌조간대 조사의 일환으로 일부 이루어졌다(김 등 1982; 김과 오 1982; 고 등 1984), 그러나 최근에는 식생서식지 복원을 위한 연구(Koo et al. 2011), 간척지 식생 내 저서동물군집 연구(이 2001), 탄소동위원소 분석을 통한 저서동물의 먹이원 연구(Kang et al. 2003) 등이 일부 수행되었다.

연안습지 생태계 훼손을 앞서 경험한 선진국에서는 다양한 방법으로 생물 종다양성 감소와 그 영향을 저감할 수 있는 습지복원 방안과 대체습지 조성을 모색하고 있으며, 국내에서도 훼손된 서식지 복원에 대한 관심과 연구가 진행되고 있다(해양수산부 2005). 생태계 복원은 원생태계의 구조와 기능을 파악하고 훼손된 현황을 파악하는 것이 필수적이다. 단지 습지가 사라진 곳에 수질정화를 위해 인공습지 조성이나 간척지에 생태공원을 만드는 식의 공학적 복원방법은 조경은 습지와 유사하나 생태학적으로 불완전한 복원이라 할 수 있다. 염생식물 서식지는 갯벌생태계를 유지시키는 생태학적으로 매우 중요한 서식지이다. 이곳의 풍부한 영양염과 유기물은 식생 내 퇴적물 교환과 유기물 분해 등 생태학적으로 다양한 역할과 기능을 담당하는 유기쇄설물식자 군집(detritivore communities)에 의해 먹이사슬에 포함되고, 대형저서동물군집의 풍부성을 증가시킬 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 염생식물 서식지 복원을 위한 선행 연구로서 비교적 자연 상태의 고유한 서식지 기능을 유지하고 있는 동검도 염생식물 서식지를 대상으로 대형저서동물의 군집구조 및 시·공간적 분포와 이에 영향을 미치는 환경요인과 염생식물과의 상관성 및 상호작용을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

강화 동검도 염습지 식생에 한 개의 정선(transect line)을 선정한 후, 1997년 7월부터 1998년 6월까지 1년 동안

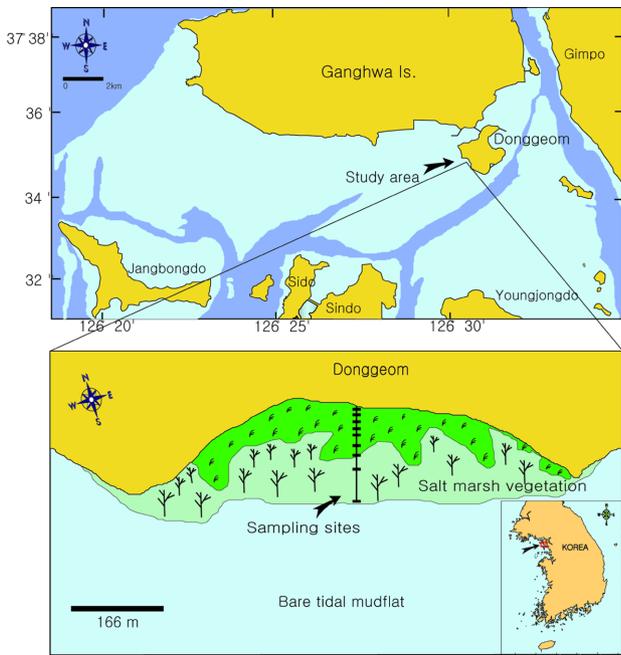


Fig. 1. Location of the study area and a transect of the sampling sites in salt marsh vegetation, in Donggeomdo, Ganghwa on the west coast of Korea

9개 정점에서 월별 조사를 수행하였다(Fig. 1). 대형저서동물과 함께 저서환경요인 측정과 염생식물을 동시에 채집하였으며, 두 조사방법은 이 등 (2006)의 연구방법과 동일하여 여기에 자세히 설명하였다. 대형저서동물은 조사정선 최상부 기준점으로부터 1, 3, 5, 7, 9, 15, 20, 34, 166 m 거리의 9개 정점을 대상으로 can corer(12×21×30 cm)를 이용하여 정점별 2회씩 월별 채집하였다. 채집된 저서동물은 분류군별로 선별하여 습중량을 측정하였으며, 이때 연체동물은 패각을 포함하였다. 이후, 종 수준까지 동정·계수하고 단위면적당(m²) 자료로 환산하였으며, 정점별 종수, 서식밀도, 생체량, 분류군별 구성비 등을 분석하였다. 종의 출현빈도와 정점수를 고려한 Le (1988)의 우점도 지수(D_{ij})와 Shannon and Wiener (1963)의 종다양성 지수(H') 등을 산정하였으며, 우점하는 두 우점종은 각장, 각고 등을 측정하여 크기-빈도(size frequency) 분포를 분석하였다. 저서동물 개체수 자료를 이용하여 대수변환 후 Bray-Curtis similarity index metrics를 이용하여 개체간의 비유사성(dissimilarity)을 측정하고 공간상에서 관계를 추정하는 nMDS(non-metric multidimensional scaling) ordination을 수행하였으며(Clarke 1993), 각 군집구분에 영향을 미치는 기여종(contribution species) 분석을 위해 SIMPER(similarity percentages procedure) test를 실시하였다. 저서동물군집에 영향을 미치는 주요 환경요인 분석을 위해 Draftsman plot test로 변수간 상관성 95% 이

상 자료를 제거한 환경자료와 생물자료를 이용하여 BIOENV(biota-environment best variable combination) test를 하였으며(Clarke and Ainsworth 1993), 두 자료를 nMDS plot 위에 매칭하여 표현하였다. 또한 상관분석(Spearman rank correlation)을 통해 환경요인과 식생지수 및 주요 우점종 등의 생물자료와 상호관계를 분석하였으며, 이들 분석에 PRIMER-E와 SigmaStat을 이용하였다.

3. 결 과

저서환경요인과 염생식물의 분포

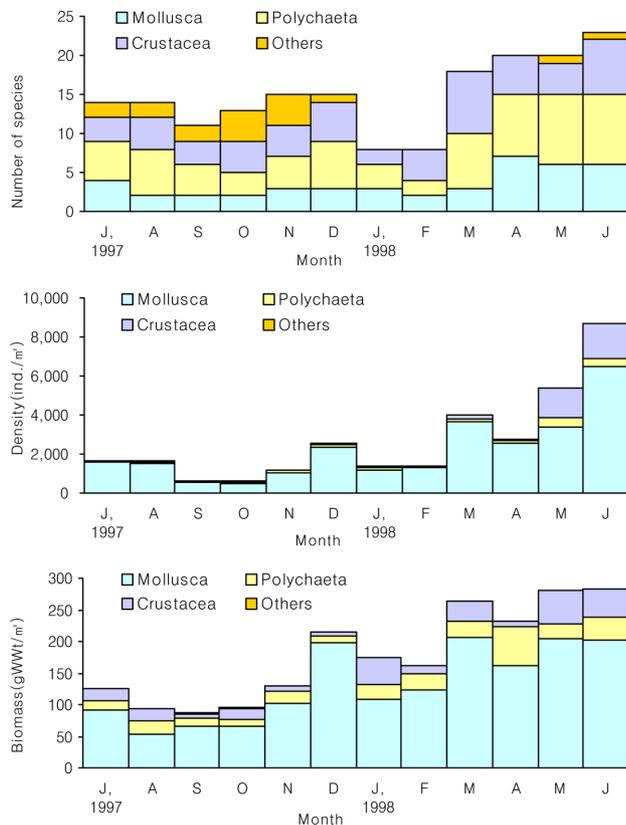
저서환경요인과 염생식물 자료는 기존 이 등 (2006)의 논문에서 인용하여 본 논문의 분석에 이용하였다. 강화 동검도 염습지 식생지역은 조위 721–834 cm 범위에 분포하였으며 평균 노출과 침수시간은 각각 613–702 hr과 28–117 hr으로 노출시간은 겨울에 증가하고 여름철에 감소하는 경향을 보였다(Table 1). 인천 연안의 평균수온은 조사기간인 1997–1998년에 평균 12.5°C로 1991–1996년 동안의 13.4°C보다 다소 낮았으며 식생지역은 평균 15.5–17.4°C의 범위를 보였다. 퇴적물 표층온도는 평균 18.9–20.6°C 범위로 수온 변화와 유사한 월별 패턴을 보였으며, 공극수 염분농도는 평균 11.9–28.2 psu를 보이고 함수량은 평균 19.4–40.4%로 식생 하부지역으로 갈수록 증가하는 수직분포를 나타냈다. 퇴적물 입도조성은 실트(silt)와 점토(clay)가 평균 73%, 모래(sand) 25%, 자갈(gravel)이 2%로 식생 하부로 갈수록 니질함량이 증가하였으며, 평균입도는 3.0–8.0 ϕ , 분급도는 평균 2.6–3.7의 범위로 매우 불량한(very poorly sorted) 상태였다. 퇴적물의 총유기탄소량(TOC)은 0.71–1.34%, 질소량(N)은 0.07–0.16%의 범위로 식생 중부지역에서 상대적으로 높았으며, 황(S)은 0.07–0.22%의 범위로 니질 함량이 많은 하부에서 높게 나타났다. 염생식물은 최상부에서 천일사초(*Carex scabrifolia*), 해홍나물(*Suaeda maritima*), 갯질경(*Limonium tetragonum*), 중부지역에서 지채(*Triglochin maritimum*), 갯골풀(*Juncus haenkei*) 등이 출현하고, 상부에서 중부에 걸쳐 갈대(*Phragmites communis*)가 분포하였으며, 갯벌과 경계지역인 최하부 지역은 칠면초(*Suaeda japonica*)만이 출현하여 조위에 따라 일정한 대상분포(zonation)를 보였다(Fig. 8).

대형저서동물의 조성 및 시·공간적 분포

강화 동검도 염습지 식생에 분포하는 대형저서동물은 총 38종, 평균서식밀도는 2,659 ind./m², 평균생체량은 178.6 gWWt/m²이었으며 갑각류 13종(34.2%), 다모류 12종(31.6%), 연체동물 8종(21.1%), 기타 분류군 5종(13.2%)으로 구성되었다(Fig. 2). 서식밀도는 연체동물

Table 1. Environmental variables in the study area in Donggeomdo salt marsh during the sampling period. Cited in Lee et al. (2006)

Variables / Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tide level (cm)	834	824	806	799	793	779	771	766	721
Exposure time (hr)	702 ± 21	696 ± 20	685 ± 21	680 ± 21	676 ± 21	664 ± 20	657 ± 22	653 ± 22	613 ± 22
Water temp. (°C)	17.4 ± 10.8	16.1 ± 10.0	17.4 ± 10.3	16.9 ± 10.1	17.4 ± 10.0	17.3 ± 9.7	16.8 ± 10.0	16.8 ± 10.4	15.5 ± 9.2
Sediment temp. (°C)	20.5 ± 10.8	18.8 ± 11.3	19.5 ± 11.6	19.2 ± 11.4	20.5 ± 11.0	20.6 ± 10.5	20.6 ± 10.1	20.0 ± 11.0	18.9 ± 10.7
Salinity (psu)	11.9 ± 7.1	15.3 ± 8.4	15.7 ± 6.6	17.6 ± 5.1	18.0 ± 4.8	19.8 ± 3.6	19.8 ± 3.8	25.9 ± 4.2	28.2 ± 4.0
Water content (%)	19.4 ± 4.7	28.6 ± 7.1	33.4 ± 6.6	39.6 ± 4.0	38.7 ± 6.8	41.6 ± 3.5	44.4 ± 4.8	40.7 ± 1.6	40.4 ± 2.7
Gravel (%)	9.1 ± 8.7	1.1 ± 0.3	1.7 ± 1.3	0.7 ± 0.4	0.6 ± 0.6	1.3 ± 1.0	0.4 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.0
Sand (%)	61.4 ± 10.2	65.5 ± 4.5	30.5 ± 8.4	16.2 ± 7.6	11.4 ± 9.2	22.6 ± 5.1	11.8 ± 2.8	5.3 ± 1.8	1.0 ± 0.5
Silt (%)	20.4 ± 13.4	22.5 ± 2.5	40.0 ± 7.4	43.3 ± 3.8	43.4 ± 4.4	36.1 ± 3.3	40.7 ± 3.0	52.3 ± 3.5	62.7 ± 3.9
Clay (%)	9.1 ± 4.6	10.9 ± 2.4	27.8 ± 8.0	40.0 ± 6.1	44.6 ± 6.6	40.0 ± 4.9	47.1 ± 1.5	42.3 ± 3.7	36.4 ± 3.7
Mz (Ø)	3.0 ± 1.6	3.5 ± 0.4	6.1 ± 0.8	7.4 ± 0.6	7.8 ± 0.7	7.1 ± 0.6	8.0 ± 0.1	8.0 ± 0.3	7.7 ± 0.2
St. De.	3.2 ± 0.4	3.3 ± 0.2	3.5 ± 0.3	3.3 ± 0.3	3.2 ± 0.4	3.7 ± 0.3	3.2 ± 0.2	2.8 ± 0.1	2.6 ± 0.1
Organic carbon (%)	0.7 ± 0.5	0.7 ± 0.2	1.0 ± 0.2	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.2	1.1 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.2
Nitrogen (%)	0.07 ± 0.05	0.08 ± 0.02	0.12 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.14 ± 0.03	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.03
Sulfur (%)	0.07 ± 0.04	0.07 ± 0.02	0.11 ± 0.04	0.14 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.21 ± 0.03	0.22 ± 0.06	0.21 ± 0.1	0.15 ± 0.01
Coverage of halophytes (%)	60	80	70	73	71	55	58	15	5
Stem (gDWt/m ²)	646.6 ± 443.4	354.3 ± 279.5	173.4 ± 202.4	231.4 ± 183.0	210.6 ± 174.1	398.0 ± 247.1	483.4 ± 276.0	20 ± 2.7	20 ± 2.5
Roots (gDWt/m ²)	1,039.6 ± 496.4	2,435.6 ± 1,245.5	1,904.8 ± 806.0	2,131.0 ± 700.4	2,224.7 ± 587.5	975.9 ± 421.2	1,150.5 ± 650.3	12 ± 1.4	12 ± 1.3

**Fig. 2. Monthly variation in the number of species, density and biomass of macrobenthos in salt marsh vegetation**

2,172 ind./m²(81.7%), 갑각류 321 ind./m²(12.1%), 다모류 160 ind./m²(6.0%), 기타 분류군 6 ind./m²(0.2%)였으며, 생체량은 연체동물 131.9 gWWt/m²(73.9%), 다모류 23.8 gWWt/m²(13.3%), 갑각류 22.6 gWWt/m²(12.7%), 기타 분류군 0.3 gWWt/m²(0.2%) 순으로 출현하였다. 출현 종수는 봄철에 증가하고 겨울철에 다소 감소하는 경향을 보이고 평균서식밀도는 5월과 6월에 가장 높게 나타났으며 생체량은 겨울철인 12월부터 이듬해 6월까지 높게 유지되었다. 정점별 출현 종수는 염습지 상부에서 하부로 갈수록 증가하는 수직구배를 보였으며, 낮은 출현 종수의 정점 3에서 6,932 ind./m²의 가장 높은 서식밀도를 나타냈다(Fig. 3). 생체량은 서식밀도와 유사한 패턴을 보였으나, 서식밀도가 감소하는 정점 4와 5에서 각각 342.7 gWWt/m²와 360.5 gWWt/m²로 가장 높게 나타났다. 저서동물의 종 다양성 지수는 염생식물이 혼군락을 이루는 상부와 중부지역의 경우 0.8–1.2 범위였으나, 식생이 순군락을 형성한 하부지역은 1.5–2.6의 범위를 나타냈다.

우점종의 시·공간적 분포

서식밀도와 출현빈도를 고려한 우점종은 상위 3종의 누적백분율이 전체의 91.2%를 차지하여 소수 종에 의한 높은 우점율을 나타냈다(Table 2). 가장 우점한 갈색새알조개(*Glaucanome chinensis*)는 평균서식밀도 1,357 ind./m²로 전체의 51.0%를 차지하여 출현 빈도를 73.1%를 나타냈으며, 기수우렁이(*Assimineea lutea*)는 평균서식밀도

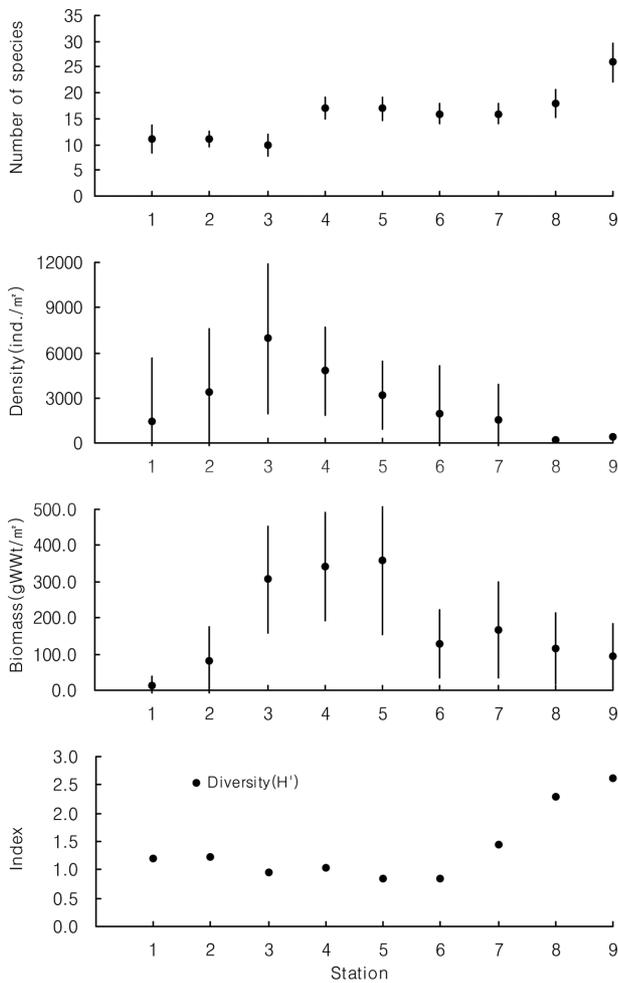


Fig. 3. Spatial distributions of the number of species, density, biomass and diversity indices of macrobenthos at each station

788 ind./m²와 개체수 백분율 29.6%로 빈도율 44.4%를 나타냈다. 낙동잔벌레(*Gnorimosphaeroma naktongense*)는 서식밀도 281 ind./m²로 전체의 10.6%를 차지하고 빈도율 33.3%로 우점하였다. 또한 생체량과 출현빈도를 고려한

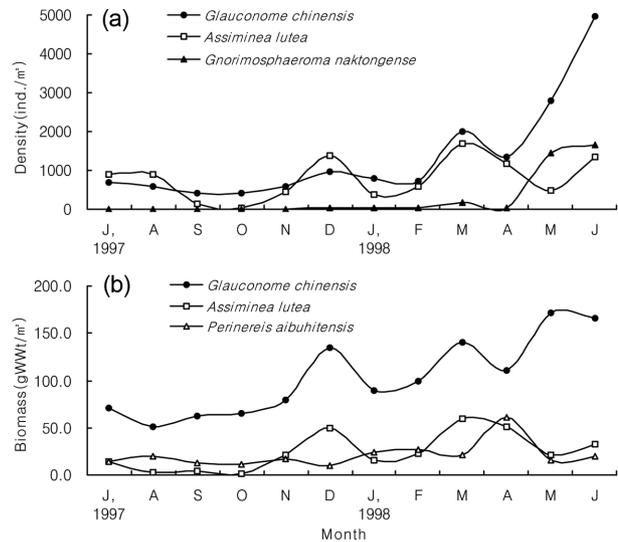


Fig. 4. Temporal distribution of the three dominant species in terms of (a) density and (b) biomass in salt marsh vegetation from July 1997 to June 1998

우점종은 상위 두 종의 경우 밀도기준 순위와 같았으나, 단일 개체의 생체량이 높은 두토막눈참갯지렁이 (*Perinereis aibuhitensis*)가 평균생체량 21.1 gWWt/m²로 점유율 11.8%와 출현 빈도율 51.9%로 우점하여 상위 3종의 누적백분율은 전체의 83.5%를 차지하였다. 갈색새알조개(*G. chinensis*)는 7월부터 다음해 2월까지 960 ind./m² 이하로 출현하다가 3월부터 증가하여 5월과 6월에 각각 2 mm 이하의 치패가 각각 34.3%와 57.4%의 높은 출현 빈도율을 보이면서 각각 2,802 ind./m²와 4,962 ind./m²로 가장 높은 서식밀도를 보였다(Fig. 4). 반면, 기수우렁이(*A. lutea*)는 계절별 증감을 반복하여 12월, 3월, 4월, 6월에 높은 서식밀도를 보였으며, 낙동잔벌레 (*G. naktongense*)는 5월과 6월에 각각 1,431 ind./m²와 1,642 ind./m²로 급격한 밀도 증가를 보였다. 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)의 생체량은 밀도

Table 2. Dominant species ranking based on density and biomass using the Le BH index (1988)

Rank	Taxon	Species name	Total abundance (ind./5.4 m ²)	Mean density (ind./m ² ± STD)	% of total density	Freq. of occurrence	Le Bris index
1	MBi	<i>Glauconome chinensis</i>	7,330	1,357 ± 773	51.0	79	354,576.1
2	MGs	<i>Assimineea lutea</i>	4,256	788 ± 617	29.6	48	171,720.5
3	CI	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	1,518	281 ± 146	10.6	36	124,263.4
Rank	Taxon	Species name	Total biomass (gWWt./5.4 m ²)	Mean biomass (gWWt./m ² ± STD)	% of total biomass	Freq. of occurrence	Le Bris index
1	MBi	<i>Glauconome chinensis</i>	558.8	103.5 ± 76.0	57.9	79	339,567.6
2	MGs	<i>Assimineea lutea</i>	133.5	24.7 ± 18.5	13.8	48	167,105.9
3	APol	<i>Perinereis aibuhitensis</i>	114.1	21.1 ± 17.9	11.8	56	137,205.6

*APol: Annelida Polychaeta; CI: Arthropoda Crustacea Isopoda; MGs: Mollusca Gastropoda; MBi: Mollusca Bivalvia

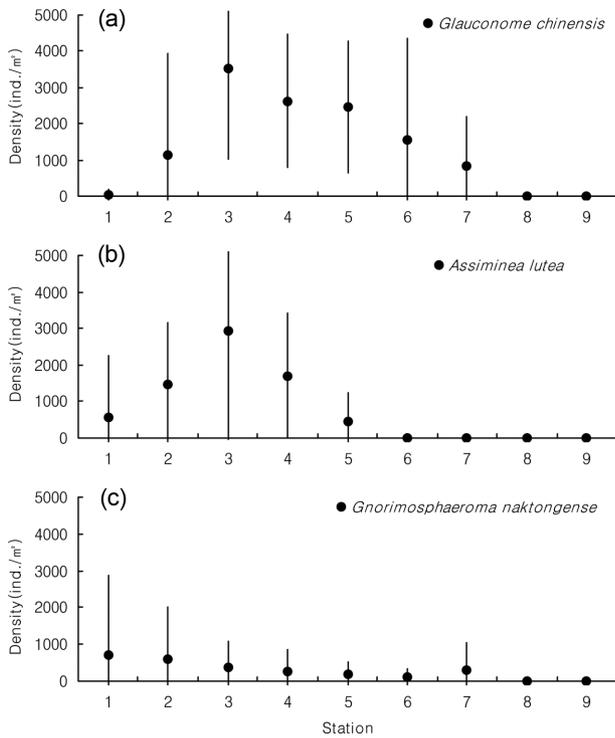


Fig. 5. Spatial distribution of the three dominant species in terms of density in salt marsh vegetation from July 1997 to June 1998

와 유사한 변화 양상을 나타냈으며, 두토막눈썹참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)는 4월에 60.6 gWWt/m^2 으로 다른 시기에 비해 다소 높은 생체량 변동을 보였다. 공간적으로 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)는 식생이 혼군락을 형성한 정점에서 높은 서식밀도를 보였으나(Fig. 5), 식생이 순군락을 이루는 상부와 하부 정점에서는 상대적으로 낮은 밀도를 나타냈다. 갈색새알조개(*G. chinensis*)는 기수우렁이(*A. lutea*)보다 하부로 분포범위가 다소 확대되었으며, 낙동잔벌레(*G. naktongense*)는 상부에서 하부로 갈수록 감소하였다. 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)의 생체량은 서식밀도와 유사한 공간적 분포를 보였으며(Fig. 6), 특히 갈색새알조개(*G. chinensis*)는 정점 5에서 높은 생체량을 지닌 개체들이 출현하였으며, 두토막눈썹참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)는 갈대(*P. communis*) 군락과 칠면초(*S. japonica*) 군락의 경계인 니질의 중·하부에서 높은 생체량을 보였다.

군집구조 및 기여종

대형저서동물 군집은 천일사초(*C. scabrifolia*)만이 분포하는 지역인 정점 1이 포함된 군집 A와 여러 염생식물이 혼군락을 형성한 정점 2, 3, 4, 5 등이 포함된 군집 B, 갈

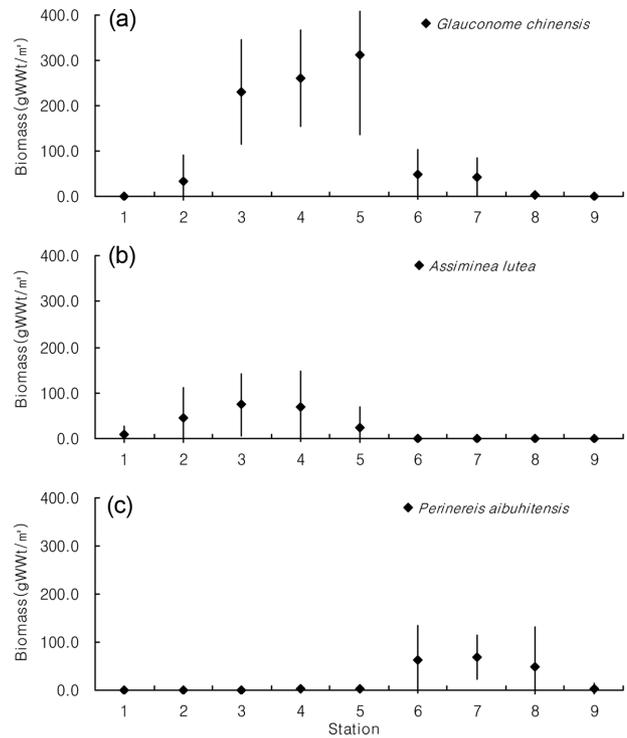


Fig. 6. Spatial distribution of the three dominant species in terms of biomass in salt marsh vegetation from July 1997 to June 1998

대(*P. communis*) 군락만이 형성된 정점 6, 7이 포함된 군집 C, 칠면초(*S. japonica*) 군락인 정점 8, 9가 포함된 군집 D 등의 네 군집으로 구분되었다(Fig. 7). 군집구조 형성에 영향을 미친 기여종은 군집 A의 경우 도출되지 않았으나, 군집 B는 평균유사도 74.1%로 갈색새알조개(*G. chinensis*), 기수우렁이(*A. lutea*), 낙동잔벌레(*G. naktongense*) 등이 누적기여도 85.9%로 기여하였다(Table 3). 군집 C는 다른 군집에 비해 상대적으로 다소 높은 평균유사도 77.1%로 갈색새알조개(*G. chinensis*), 두토막눈썹참갯지렁이(*P. aibuhitensis*), 낙동잔벌레(*G. naktongense*) 등이 66.3%의 누적기여도를 보였다. 식생 하부의 군집 D는 쇠방사늑조개류(*Potamocorbula laevis*), 세스랑게(*Cleistostoma dilatatum*), 버들갯지렁이류(*Mediomastus* sp.), 칠게(*Macrophthalmus japonicus*) 등이 각각 6~7%의 낮은 유사도와 누적기여도 49.9%로 군집 형성에 기여하였다. 군집 간 비유사도에 기여한 주요 특징종은 갈색새알조개(*G. chinensis*), 기수우렁이(*A. lutea*), 낙동잔벌레(*G. naktongense*), 두토막눈썹참갯지렁이(*P. aibuhitensis*), 참갯지렁이(*Neanthes japonica*) 등이 기여하였으며, 특히 상부 군집 A와 하부 군집 D는 비유사도 79.8%로 군집의 이질성이 높게 나타났다.

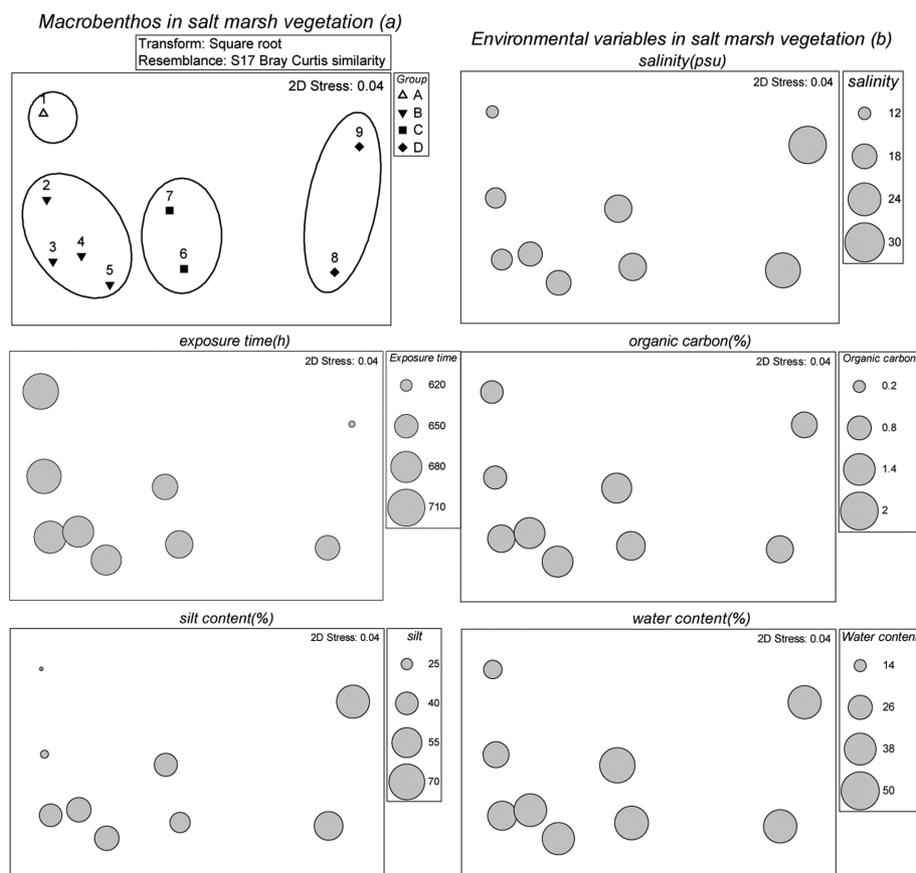


Fig. 7. (a) Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination of Bray-Curtis similarities from square-root transformed species abundance data with (b) overlapping circles of increasing size with increasing environmental variables at a nine-station transect in salt marsh vegetation. Environmental variables cited in Lee et al. (2006)

Table 3. The contribution of species to the average Bray-Curtis similarity percentages within each group (SIMPER test)

Group	Species name	Average abundance	Average similarity	Contribution %	Cumulative %	Total average similarity
Group A	Less than 2 samples in group					
Group B	<i>Glauconome chinensis</i> (MBi)	37.6	30.6	41.3	41.3	74.1
	<i>Assiminea lutea</i> (MGs)	29.9	21.8	29.5	70.8	
	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (CIs)	14.2	11.2	15.1	85.9	
Group C	<i>Glauconome chinensis</i>	26.5	28.8	37.4	37.4	77.1
	<i>Perinereis aibuhitensis</i> (APol)	9.8	12.2	15.8	53.2	
	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	10.6	10.1	13.1	66.3	
Group D	<i>Potamocorbula laevis</i> (MBi)	4.3	7.4	13.3	13.3	55.3
	<i>Cleistostoma dilatatum</i> (CDB)	4.3	6.9	12.5	25.8	
	<i>Mediomastus</i> sp. (APol)	3.9	6.7	12.0	37.8	
	<i>Macrophthalmus japonicus</i> (CDB)	4.9	6.7	12.0	49.8	

*APol: Annelida polychaeta; CIs: Athropoda crustacea isopoda; CDB: Athropoda crustacea decopoda brachyura; MBi: Mollusca bivalvia; MGs: Mollusca gastropoda

Table 4. Environmental variables impacting to the macrobenthic community in salt marsh vegetation (Bio-Env test). Environmental variables cited in Lee et al. (2006)

Number of variables	Best variables combination	Spearman rank correlation (ρ)
4	exposure time, salinity, stem, coverage	0.960
3	exposure time, salinity, coverage	0.956
5	exposure time, salinity, Sulfur, stem, coverage	0.954
4	exposure time, salinity, stem, roots	0.952
2	salinity, coverage	0.951
5	exposure time, salinity, stem, roots, coverage	0.949
4	salinity, Sulfur, stem, coverage	0.949
1	salinity	0.948
5	exposure time, water content, salinity, roots, coverage	0.947
2	exposure time, salinity	0.947

도의 조합($p = 0.960$)이 가장 많은 영향을 미치는 요인으로 작용하였다(Table 4). 주요 환경요인을 저서동물 군집구조 자료에 매칭하여 나타낸 결과, 상부에서 하부 군집으로 갈수록 염분, 함수량, 니질 함량은 증가하였으며 노출시간은 감소하였다(Fig. 7). 저서동물의 생태지수 및 주요 우점종, 식생지수 등과 환경요인과의 상관분석에 따르면 (Table 5), 저서동물의 종수는 노출시간, 자갈 및 사질 함량의 증가에 따라 감소하는 음의 상관관계를 나타냈으나 염분과 실트질 함량과는 양의 관계를 보였다. 또한 서식밀도는 식생의 뿌리 및 피도와 그리고 생체량은 유기탄소량과 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 우점종인 갈색새알조개(*G. chinensis*), 기수우렁이(*A. lutea*), 낙동잔벌레(*G. naktongense*)는 식생지수와 양의 상관성을 보이고, 이 중 기수우렁이(*A. lutea*)와 낙동잔벌레(*G. naktongense*)는 노출시간과 자갈, 그리고 모래 함량과 양의 상관관계를 보였으나, 염분과는 음의 관계를 나타냈다. 두토막눈썩참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)는 퇴적물의 함수량, 점토 함량, 퇴적물 온도, 황 함량 등과 양의 상관관계를 보였다.

저서환경요인과 대형저서동물의 관계

대형저서동물의 분포와 군집구조 형성에 식생지역의 노출시간과 퇴적물내 공극수 염분, 그리고 식생의 줄기와 피

식생분포와 대형저서동물의 관계

조사지역 상부는 천일사초(*C. scabrifolia*), 해홍나물(*S. maritima*), 갯질경(*L. tetragonum*) 등의 염생식물이 분포하

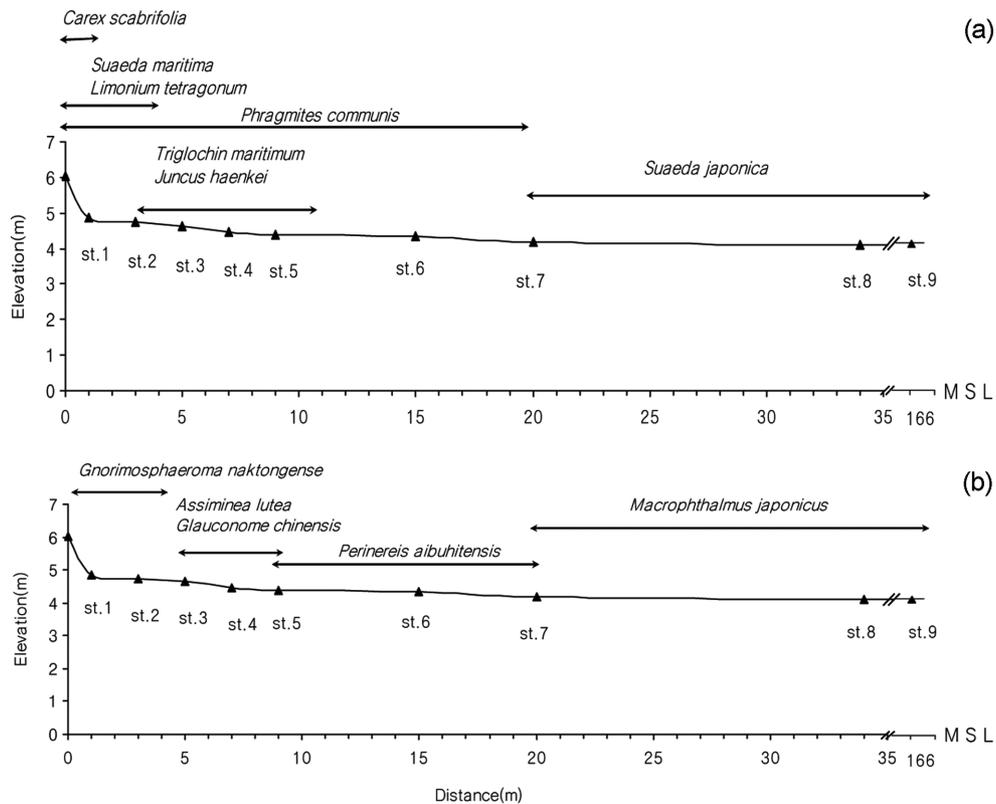


Fig. 8. Vertical distributions of characteristic (a) halophyte and (b) macrobenthos species in salt marsh vegetation in Donggeomdo. Halophytes cited in Lee et al. (2006)

Table 5. The results of Spearman's rank correlation analyses between environmental variables and biotic indices, including halophytes. Environmental variables and halophytes cited in Lee et al. (2006)

Environmental variables & biotic indices	S	N	Bio.	J'	H'	Gl.c.	As.l.	Gn.n.	Pa.	Stem	Roots	Cover.
Exposure time (hr)	-0.802 **						0.817 **	0.900 ***		0.527 ***	0.644 ***	0.767 **
Water content (%)								-0.667 *	0.828 **			
Salinity (psu)	0.805 **						-0.828 **	-0.929 ***		-0.538 ***	-0.664 ***	-0.778 **
Water temp. (°C)				-0.695 *	-0.736 *							
Gravel (%)	-0.861 ***						0.667 *	0.750 *				
Sand (%)	-0.903 ***						0.700 *	0.867 ***				
Silt (%)	0.878 ***							-0.833 **		-0.795 **		
Clay (%)									0.778 **			
Sediment temp. (°C)									0.711 *			
Organic carbon (%)			0.933 ***									
Sulfur (%)							-0.667 *		0.879 ***			
No. of species (S)							-0.700 *	-0.869 ***				
Density (N)						0.933 ***	0.883 ***				0.795 **	0.800 ***
Biomass (Bio.)						0.717 *						
Evenness (J')				0.983 ***	-0.800 **							
Diversity (H')					-0.817 **							
<i>Glauconome chinensis</i> (Gl.c.)							0.767 *				0.678 *	0.683 *
<i>Assiminea lutea</i> (As.l.)								0.750 *			0.762 *	0.833 **
<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (Gn.n.)										0.661 *		0.667 *
<i>Perinereis aibuhitensis</i> (Pa.)												
Stem (gDWt)											0.261 ***	0.293 ***
Roots (gDWt)												0.962 ***

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

고 이곳의 저서동물은 낙동잔벌레(*G. naktongense*)가 특징 종으로 출현하였다(Fig. 8). 중부지역은 지체(*T. maritimum*), 갯골풀(*J. haenkei*) 등이 분포하고 복족류인 기수우렁이

(*A. lutea*)와 이매패인 갈색새알조개(*G. chinensis*)가 높은 밀도로 서식하였다. 식생의 혼군락이 끝나고 갈대(*P. communis*)만 분포하는 중하부의 정점 6과 7에서는 두토

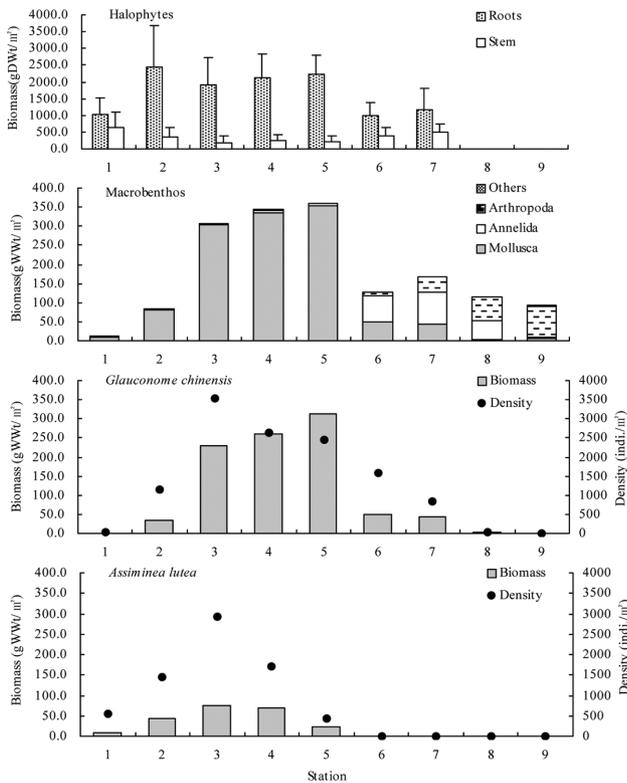


Fig. 9. Relationship between the distribution of halophytes and macrobenthos showing two dominant species in salt marsh vegetation during the sampling period. Halophytes cited in Lee et al. (2006)

막눈썸참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)가 출현하였으며, 칠면초(*S. japonica*)가 순군락을 형성한 최하부에서는 칠계(*M. japonicus*)가 특징 종으로 출현하였다. 식생이 혼군락을 이루는 중부지역은 높은 뿌리 중량을 보였으나 상대적으로 줄기 중량은 낮게 나타났다. 특히, 퇴적물 속에 서식하는 갈색새알조개(*G. chinensis*)는 이들 정점에서 높은 서식 밀도와 생체량을 보인 반면, 표층에 분포하는 기수우렁이(*A. lutea*)는 높은 서식밀도에 비해 상대적으로 낮은 생체량을 보였다(Fig. 9). 저서동물의 서식밀도는 식생의 뿌리 및 피도와 높은 양의 상관관계를 나타냈으며, 서식밀도의 대부분을 차지하는 우점종인 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)도 유사한 결과를 보였다(Table 5). 그러나 낙동간벌레(*G. naktongense*)는 식생의 줄기 및 피도와 양의 상관관계를 보였으나, 두토막눈썸참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)는 식생과 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다.

4. 고 찰

저서환경과 염생식물의 분포

동검염습지 식생 분포는 주로 염분농도와 노출시간에 의해 영향을 받고 있는 것으로 밝혀졌으며, 이와 같은 결

과는 이 등 (2006)의 연구에서 이미 보고되었다(Table 5). 퇴적물의 염분농도는 식물의 분포에 영향을 미치는 요인으로 염분농도의 구배에 따라 식물이 대상분포를 이루고, 염생식물과 중성식물의 분포가 토양의 염분농도에 의해 결정됨을 보고하였다(민 1985). 또한 염생식물은 서식지 지형변화에 따른 해수의 침수정도와 전기전도도에 따라 식물의 수직분포가 결정되었으며(Bertness and Ellison 1987; Pennings and Callaway 1992), 전기전도도가 낮은 지역에서 천일사초(*C. scabrifolia*)가 분포하고 높은 지역에서 칠면초(*S. japonica*)가 출현하였다(임 1987). 이런 염생식물의 분포형태는 동검염습지에서도 유사한 결과를 보인다. 즉, 염분이 11.9–15.3 psu 범위의 농도로 비교적 낮고 월별 변화가 심한 상부 지역에서 천일사초(*C. scabrifolia*), 해홍나물(*S. maritima*), 갯질경(*L. tetragonum*) 등이 출현하고, 중부 지역에서는 지채(*T. maritimum*), 갯골풀(*J. haenkei*) 등이 분포하였으며, 염분이 25.9–28.2 psu 범위로 상대적으로 높은 하부에서는 칠면초(*S. japonica*)가 출현하는 일정한 대상분포를 보인다(Fig. 8). 또한 염분 변화와 밀접한 관련성을 지니는 노출시간 및 해수의 침수시간과 빈도, 그리고 식물의 종간경쟁 등의 상호작용이 염생식물의 수직분포에 영향을 미치며 비교적 조위변화가 중요한 역할을 하는 것으로 판단하기도 하였다(Pennings and Callaway 1992). 따라서 동검염습지에서도 조위에 따른 염분변화와 노출시간은 염생식물의 수직분포와 서식지를 제한하는 주요 요인으로 작용하고 있으며, 장시간 노출과 해수의 잠김에 의해 식물의 생리활동에 영향을 받고 있음이 확인되었다(이 등 2006).

저서환경과 대형저서동물의 분포

염습지에서 환경요인의 수직구배는 서식처와 이곳에서 서식하는 동·식물의 서식밀도와 분포를 결정하고, 대상분포를 변화시켜 군집에 영향을 미치며, 환경요인의 일별 또는 계절적 변동은 서식지의 종 구성을 결정하기도 한다(Hampel et al. 2009). 환경요인 변화의 영향은 동검염습지 저서동물군집에서도 나타나고 있다. 환경변화에 적응한 종들로 구성된 동검염습지 저서동물 군집은 봄철부터 저서동물의 종수, 서식밀도, 생체량 등이 증가하였으며 강수량이 많은 여름철과 건조한 날씨가 지속되는 가을철에 감소하는 계절적 변동을 보인다. 이는 경기만에서 풍수기인 여름철에 일시적인 상당량의 담수유입에 따른 저염분으로 저서생물의 분포와 성장에 영향을 받는 유 (1992)와 박 (1998)의 연구와 염습지 저서동물이 늦은 봄부터 초여름까지 피크를 이루는 계절적 변동(Sarda et al. 1995)과 유사한 경향을 보인다. 또한 퇴적물의 평균입도, 입도 조성, 유기물함량 등이 염습지 저서동물의 다양성과 풍부성을 결정하는 이차적인 요인이며(Lana and Guiss 1991),

유기물이 풍부한 사니질 퇴적상의 저서동물은 높은 종 풍부도와 생체량을 보이나 유기물이 낮은 사질 퇴적상에서는 반대 양상을 보이는 것으로 나타났다(Sarda et al. 1995). 이에 따르면 동검 염습지에서도 식생 상부의 유기물이 적은 사질 퇴적상에서는 낮은 서식밀도와 생체량을 보이고, 사니질인 중부지역은 높은 서식밀도와 생체량을 보이고 있다. 그러나 노출시간이 적고 유기물 함량이 비교적 높은 니질 퇴적상인 하부지역은 상대적 높은 종 다양성에도 불구하고 낮은 서식밀도와 생체량을 보임으로서 퇴적물의 입도조성에 따른 저서동물의 분포특성이 다른 양상을 보이는데 이는 식생의 분포 차이에 의한 영향으로 볼 수 있다. 이와 같이 동검염습지 식생의 대형저서동물 군집은 조위에 따른 염분 변화와 노출시간, 그리고 퇴적상의 변화에 따른 유기물 함량 등의 수직구배에 따라 군집 구조가 형성되고 있으며, 하나의 환경요인보다는 식생을 포함한 이들 요인의 복합적인 작용에 의해 저서동물의 시·공간적 분포에 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

주요 우점종의 분포 특성

염습지 대형저서동물 우점종의 분포를 결정하는 여러 환경요인 중 염분과 조석에 따른 조류의 흐름이 상당한 영향을 미치고(Sarda et al. 1995), 서식밀도는 퇴적물의 C, N, 유기쇄설물 등과 높은 상관성을 보이며, 종 풍부도는 식생의 특징인 유기쇄설물의 영향이 크게 작용하는 것으로 보고하였다(Craft and Sacco 2003). 이와 같은 연구는 동검염습지에서도 일부 유사한 결과를 보인다. 즉 많은 노출시간에 따른 저염분과 사질 퇴적상인 염습지 상부지역에서는 낙동잔벌레(*G. naktongense*)가 우점하고, 유기물과 질소함량이 상대적으로 높은 사니질인 중부에서는 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)가 패치(patch)를 보이고 있다. 또한 갈대(*P. communis*)가 순군락을 형성한 니질의 중·하부에서는 두토막눈썹참갯지렁이(*P. aibuhitensis*)가 우점하고, 노출시간이 적은 니질인 최하부의 칠면초(*S. japonica*) 군락에서는 칠게(*M. japonicus*)가 우점하는 특징을 보인다. 특히, 식생의 영향으로 예상되는 조류의 흐름이 약한 중부지역에서 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)의 극우점 양상은 상관분석에서도 두 우점종의 밀도와 식생의 뿌리 및 피도가 양의 상관관계를 보이는 것으로 알 수 있다. 식생의 뿌리와 함께 퇴적물 속에 서식하는 내서동물인 갈색새알조개(*G. chinensis*)는 환경요인과 뚜렷한 상관성을 보이지 않았으나, 양쯔강 하구 염습지 식생에서 다른 요인보다 염생식물의 일종인 세모고랭이(*Scirpus triqueter*) 군락에서 더 높은 서식밀도를 보이는 연구(Chen et al. 2009)와 일치하고 있다. 또한 국내 낙동강 하구 갈대습지(김 등 1982)와 사니질 퇴적상을 보이는 군산 산동갯벌 조간대 상부의 염생

식물 군락지, 그리고 갈대 군락이 형성된 장항의 남전리 갯벌조간대 상부에서 높은 서식밀도로 출현한(홍과 임 1988) 점으로 보아, 이 종의 분포와 서식밀도는 다른 환경요인보다 염생식물의 존재 유무에 따라 영향을 받는 것으로 추정된다. 또한 퇴적물 표층과 식물의 잎이나 줄기 표면에 서식하는 표서동물인 기수우렁이(*A. lutea*)는 열대와 온대의 기수역과 조석의 영향을 받는 연안과 습지에 광범위하게 분포하며, 유기쇄설물이나 규조류, 조류(algae), 질소량이 높은 니질 퇴적물, 생물의 사체 등을 섭식하는 것으로 알려지고 있다(Abbott 1958; Berman and Carlton 1991). 이 종은 식생이 분포하는 낙동강 하구습지와 군산과 장항갯벌 상부의 식생군락에 분포하여 6월에 1.2–1.6 mm의 치패가 8월 이후 5.5–13 mm까지 성장하고 칠새들의 먹이원으로 보고되었다(김 등 1982; 홍과 임 1988). 동검염습지에서도 평균 각고 5–6 mm(최대 10 mm)까지 성장하고 6월–8월에 치패의 가입 이후 9월부터 성장이 이루어지는 유사한 패턴을 보인다. 특히, 노출시간, 염분, 퇴적상 등의 환경요인과 밀접한 관련성을 보이고 있으며, 퇴적물의 표층이나 줄기 표면의 수분함량이 많은 곳에 패치를 형성하는 것으로 보아 함수량도 이들의 활동과 이동에 영향을 미치고 있음이 관찰되었다(Abbott 1958; Fowler 1980). 또한 식생의 피도와 높은 상관성(Table 5)을 보여 혼군락을 이루는 중부지역에서 식생 줄기의 반복적인 고사와 유속감소로 인한 유기물 증가 등이 이들의 분포와 밀도에 영향을 미치는 것으로 보인다(Chen et al. 2009). 따라서 동검염습지 식생에 분포하는 주요 우점종의 시·공간적 분포는 종에 따라 다소 차이는 있으나, 조위에 따른 노출과 염분, 그리고 퇴적상의 변화에 따른 영향을 받고 있으며, 서식밀도는 식생의 분포에 따른 영향을 더 강하게 받는 것으로 판단된다.

염습지 식생과 대형저서동물의 분포

염생식물은 강우량이 많은 저염분 지역에서 해수의 고염분 지역까지 폭넓게 분포하는 것으로 알려져 있으며(Lieth and Moschenko 1998), 거친 물리적 조건으로부터 습지를 보호하고 주변에 서식하는 동물에 서식처와 먹이를 제공하며 포식자로부터 보호하거나 거주지(burrow)의 훼손을 방지하는 역할을 한다(Lana and Guiss 1992). 반면, 저서동물은 유기물, 미세조류, 조류(algae) 등을 섭취하는 섭식행동이나 굴착활동으로 빈산소 퇴적물에 산소를 공급하거나 유기물의 부패축진과 재순환을 통한 영양염을 증가시켜 서식지를 개선하거나 식물 생산력을 높이는 역할을 한다(Packham and Willis 1997; Pennings and Bertness 2001). 이와 같은 식물과 동물의 상호작용은 동검염습지 식생의 성장이 이루어지는 봄부터 여름 동안에 저서동물의 종수, 서식밀도, 생체량 등이 증가하고 겨울철

에 감소하는 계절적인 변동과 지체(*T. maritimum*), 갯골풀(*J. haenkei*), 갈대(*P. communis*) 등이 혼군락을 형성한 중부지역에서 저서동물의 높은 서식밀도와 생체량을 보이는 것으로 알 수 있다. 특히 식생의 뿌리 및 피도가 저서동물의 서식밀도와 높은 양의 상관성을 보여(Table 5) 우점종으로 출현한 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 기수우렁이(*A. lutea*)의 높은 서식밀도는 이를 잘 설명하고 있다. 그러나 식생의 뿌리와 지하경(rhizome)이 주변 퇴적물의 수분을 흡수하여 저서동물의 생리작용에 영향을 미치거나, 이들의 수직이동과 활동을 제한하여 일부 종의 출현과 서식밀도 변화에 영향을 미친다는 연구 등이 보고되기도 하였다(Capehart and Hackney 1989; Dacey and Howes 1984). 그럼에도 동검염습지 퇴적물 속에 서식하는 갈색새알조개(*G. chinensis*)가 식생의 뿌리가 매트를 형성한 중부지역에서 오히려 높은 서식밀도를 보인 것은 이동성이 적은 여과식자인 이매패류의 특성과 식생에 의한 유기쇄설물 공급과 유속감소 등으로 인한 저층에 많은 유기물 공급이 때문인 것으로 보이며, 이는 저서동물의 생체량이 유기물량과 높은 양의 상관관계를 보인 것으로 알 수 있다. 또한, 식생의 혼군락 지역에서 식물 줄기나 잎의 표면과 퇴적물 표층에 있는 유기물을 섭식하고 수분함량이 높은 지점에서 무리를 이루는 기수우렁이(*A. lutea*)의 생태적 특징 등으로 보아, 식생의 수직분포와 이들에 의한 서식환경 조성이 일부 저서동물 종의 분포나 서식밀도 변화에 영향을 주거나 높게 유지시키는 요인으로 작용하고 있는 것으로 보인다(Capehart and Hackney 1989; Ference et al. 2000; Rader 1984; Salgado et al. 2007; Vinagre et al. 2008).

5. 결론 및 요약

강화 동검도 염습지 식생의 환경요인과 저서동물군집에 대한 일 년 동안의 월별 조사에서 대형저서동물은 총 38종, 평균 서식밀도는 2,659 ind./m², 생체량은 178.6 gWWt/m²을 보였으며, 이 중 갑각류가 가장 많은 출현 종수를 보이고 서식밀도와 생체량은 연체동물이 가장 높게 나타났다. 대형저서동물은 식생의 성장이 이루어지는 봄부터 여름철에 증가하고, 가을과 겨울철에 감소하는 계절적인 변동을 보였으며, 출현 종수는 식생 하부 지역의 칠면초(*S. japonica*) 군락에서 상대적으로 많은 종수를 보이거나, 서식밀도와 생체량은 지체(*T. maritimum*), 갯골풀(*J. haenkei*), 갈대(*P. communis*) 등이 혼군락을 이루는 중부지역에서 높게 나타나는 공간적 분포패턴을 보였다. 또한 두 우점종인 기수우렁이(*A. lutea*)와 갈색새알조개(*G. chinensis*)도 식생의 혼군락 지역에서 높은 밀도와 생체량을 보이고 있다. 대형저서동물 군집은 네 개의 군집으로

구분되어 일정한 대상분포를 보이고 있으며, 조위에 따른 염분 변화와 노출시간, 그리고 퇴적상 변화에 따라 시·공간적 분포 및 군집구조가 영향을 받고 있다. 특히 염생식물의 수직분포에 따라 일부 우점종의 분포와 서식밀도 변화에 큰 차이를 보이는 것이 매우 특징적이라 할 수 있다. 본 연구는 갯벌생태계와 연결된 식생 고유 서식지의 지리적 위치(서식지 경사도, 조위)와 염생식물을 포함한 다양한 서식환경요인 등을 저서동물의 분포와 관련하여 살펴보았다. 이를 기반으로 향후 저서동물군집의 역할과 기능을 고려하여 훼손된 염생식물 서식지의 생태학적 복원에 기여할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원에서 수행한 “갯벌의 효율적인 이용과 보전을 위한 연구(BSPE 99748-00-1245-3)”의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구에 도움을 주신 제종길, 차재훈 박사님, 최병미, 신상호 님께 감사드립니다. 또한 본 원고의 세밀한 부분까지 수정 검토해 주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 김준호, 김훈수, 이인규, 김종원, 문형태, 서계홍, 김원, 권도현, 유순애, 서영배, 김영상 (1982) 낙동강 하구생태계의 구조와 기능에 관한 연구. Proc Coll Natur Sci SUN 7(2):121-163
- 김준호, 오계칠 (1982) 한국 서해안 간석지 생태계의 구조와 기능에 관한 연구. 서울대학교 자연과학종합연구소, 98 p
- 김철수, 임병선 (1988) 한국 서남해안 간석지 식생에 관한 연구. 한국생태학회지 11(4):175-192
- 고철환, 박용안, 이창복 (1984) 서해안 조간대지역(Mud flat)의 해양지질학적 제반현상 및 저생생물 군집에 관한 연구. 서울대학교 자연과학종합연구소, 65 p
- 박홍식 (1998) 연안 간척에 따른 천수만의 저서환경과 저서생물 군집의 변화에 대한 연구. 이학박사학위논문, 인하대학교, 226 p
- 민병미 (1985) 한국 서해안 간척지의 토양과 식생 변화. 이학박사학위논문, 서울대학교, 144 p
- 이학곤 (2001) 소래포구 염습지 식생에 서식하는 대형저서동물의 분포패턴. 이학석사학위논문, 인하대학교, 113 p
- 이형근, 박홍식, 홍재상, 제종길, 이재학 (2006) 강화 동검도 염습지 식생의 분포와 저서환경조건의 시·공간적 변화. 한국수산학회지 39(특별호):180-188
- 임병선 (1987) 해안 간척지 토양환경에 따른 식물의 분포와 생장. 연안환경연구, 목포대학교 4:71-79
- 임병선 (2001) 해안염생식물의 분포와 중요성. 자연생태교육

- 강좌 9, 환경운동연합 <http://blog.daum.net/ecosun/15865352>
Accessed 6 July 2013
- 유재원 (1992) 한강하구 및 경기만에서의 해양저서동물 군집의 구조와 분포. 이학석사학위논문, 인하대학교, 100 p
- 홍재상, 임현식 (1988) 한국 황해안 조간대 생물상에 관한 연구. 한국해양연구소, BSPE 00114-181-3, 158 p
- 해양수산부 (2005) 갯벌생태계 복원을 위한 대형저서생물 다양성 조절인자 연구. 291 p
- Abbott RT (1958) The gastropod genus *Assiminea* in the Philippines. In: Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. **110**:213–278
- Berman J, Carlton JT (1991) Marine invasion processes: interactions between native and introduced marsh snails. *J Exp Mar Biol Ecol* **150**:267–281
- Bertness MD, Ellison AM (1987) Determinants of pattern in a New England salt marsh plant community. *Ecol Monogr* **57**:129–147
- Braga CF, Beasley CR, Isaac VJ (2009) Effects of plant cover on the macrofauna of *Spartina* marshes in northern Brazil. *Braz Arch Biol Techn* **52**(6):1409–1420
- Capehart AA, Hackney CT (1989) The potential role of roots and rhizomes in structuring salt-marsh benthic communities. *Estuaries* **12**(2):119–122
- Chen ZB, Guo L, Jin BS, Wu JH, Zheng GH (2009) Effect of the exotic plant *Spartina alterniflora* on macrobenthos communities in salt marshes of the Yangtze River Estuary, China. *Estuar Coast Shelf S* **82**:265–272
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust J Ecol* **18**:117–143
- Clarke KR, Ainsworth M (1993) A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol-Prog Ser* **92**:205–219
- Craft C, Sacco J (2003) Long-term succession of benthic infauna communities on constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Mar Ecol-Prog Ser* **257**:45–58
- Dacey JW, Howes BL (1984) Water uptake by roots controls water table movements and sediment oxidation in short *Spartina* marsh. *Science* **224**:87–489
- Ference A, Szalay DE, Resh VH (2000) Factors influencing macroinvertebrate colonization of seasonal wetlands: responses to emergent plant cover. *Freshwater Biol* **45**:295–308
- Fowler BH (1980) Reproductive biology of *Assiminea californica*. *Veliger* **23**(2):163–166
- Hampel H, Elliott M, Cattrijsse A (2009) Macrofaunal communities in the habitats of intertidal marshes along the salinity gradient of the Schelde estuary. *Estuar Coast Shelf S* **84**:45–53
- Kang CK, Kim JB, Lee KS, Kim JB, Lee PY, Hong JS (2003) Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Mar Ecol-Prog Ser* **259**:79–92
- Koo BJ, Je JG, Woo HJ (2011) Experimental restoration of a salt marsh with some comments on ecological restoration of coastal vegetated ecosystems in Korea. *Ocean Sci J* **46**(1):47–53
- Lana PC, Guiss C (1991) Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranagua Bay(southeastern Brazil). *Mar Ecol-Prog Ser* **73**:231–244
- Lana PC, Guiss C (1992) Macrofauna-plant-biomass interactions in a euhaline salt marsh in Paranagua Bay(SE Brazil). *Mar Ecol-Prog Ser* **80**:57–64
- Le BH (1988) Fonctionnement des écosystèmes benthiques cotier au contact d'estuaires ; la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These de doctorat d'Océanologie Biologique, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 311 p
- Levin LA, Talley TS (2000) Influences of vegetation and abiotic environmental factors on salt marsh invertebrates. In: Weinstein MP, Kreeger DA (eds) Concepts and controversies in tidal marsh ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 661–707
- Lieth H, Moschenko M (1998) Sustainable use of halophytes (salinity tolerant plants). UNESCO, Osnabrueck, EU CONCERTED ACTION IC 18 CT 96-0055, 16 p
- Mitsch WJ, Gosselink JG (1993) Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, 722 p
- Packham JR, Willis AJ (1997) Ecology of dunes, salt marsh and shingle. Chapman & Hall, London, 331 p
- Pennings SC, Bertness MD (2001) Salt Marsh Communities. In: Bertness MD, Gaines S, Hay ME (eds) Marine community ecology. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA, pp 289–316
- Pennings SC, Callaway RM (1992) Salt marsh plant zonation: The relative importance of competition and physical factors. *Ecology* **73**(2):681–690
- Rader DN (1984) Salt-marsh benthic invertebrates: small scale patterns of distribution and abundance. *Estuaries* **7**(4A):413–420
- Salgado JP, Cabral HN, Costa MJ (2007) Spatial and temporal distribution patterns of the macrozoobenthos assemblage in the salt marshes of Tejo estuary(Portugal). *Hydrobiologia* **587**:225–239
- Sarda R, Foreman K, Valiela I (1995) Macroinfauna of a Southern New England salt marsh: seasonal dynamics and production. *Marin Biology* **121**:431–445
- Shannon CE, Wiener W (1963) The mathematical theory of.

- communication. University Illinois Press, Urbana, 360 p
- Vinagre C, Cabral HN, Cacador I (2008) Influence of halophytes and metal contamination on salt marsh macro-benthic communities. *Estuar Coast Shelf S* **76**:715–722
- Whaley SD, Minello TJ (2002) The distribution of benthic infauna of a Texas salt marsh in relation to the marsh edge. *Wetlands* **22**(4):753–766
- 국문 참고자료의 영어표기**
English translation / Romanization of references originally written in Korea
- Kim JH, Kim HS, Lee IK, Kim JW, Mun HT, Suh KH, Kim W, Kwon DH, Yoo SA, Suh YB, Kim YS (1982) Studies on the estuarine ecosystem of the Nagdong river. *Proc Coll Natur Sci SUN* **7**(2):121–163
- Kim JH, O KC (1982) Structure and function of the tidal flat ecosystem in western coast of Korea. *Natur Sci SNU* **98** p
- Kim CS, Ihm BS (1988) Studies on the vegetation of the salt marsh in the Southwestern Coast of Korea. *J Ecol Environ* **11**(4):175–192
- Koh CH, Park YA, Lee CB (1984) Studies on the geological processes and benthic communities in mud flat zone (Yellow Sea). *Natur Sci SNU* **65** p
- Park HS (1998) Effects of dike construction on benthic environment and macrofaunal community in Chonsa Bay, Korea. Ph. D. Thesis, Inha University, 226 p
- Min BM (1985) Changes of soil and vegetation in coastal reclaimed lands, west coast of Korea. Ph. D. Thesis, Seoul National University, 144 p
- Lee HG (2001) The distribution pattern of the Macrofauna on salt marshes in Sorae, Inchon, Korea. MA Thesis, Inha University, 113 p
- Lee HG, Park HS, Hong JS, JE JG, Lee JH (2006) Spatio-temporal variation in the benthic environmental conditions and salt marsh vegetation in Donggeomdo, Incheon, Korea. *J Kor Fish Soc* **39**(Special Issue):180–188
- Ihm BS (1987) The distribution and growth of halophytes at the coastal marsh. *Bull Inst Littoral Biota MNU* **4**:71–79
- Ihm BS (2001) The distribution and importance of halophytes at the coastal marsh. *Natur Eco Train Cour* **9**, KFEM, <http://blog.daum.net/ecosun/15865352> Accessed 4 July 2016
- Yoo JW (1992) The community structure and distribution of the benthic macrofauna in Han estuary and Kyonggi bay, Korea. MA Thesis, Inha University, 100 p
- Hogn JS, Lim HS (1988) A Study on the biota of intertidal zone in the coast of Yellow Sea, Korea. *KORDI, BSPE* **00114-181-3**, 182 p
- MOF (2005) Studies on controlling factors of tidal flat macrofaunal diversity for restoration. 291 p

Received Nov. 13, 2015

Revised Apr. 1, 2016

Accepted Apr. 6, 2016