

# 울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

김형철\* · 최병미\*\* · 정래홍\*\*\* · 이원찬\*\*\* · 윤재성\*\* · 서인수\*\*†

\*, \*\*\* 국립수산과학원 어장환경과 \*\* (주)저서생물연구센터

## The Community Structure of Macrobenthic Assemblages in the Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea

Hyung-Chul Kim\* · Byoung-Mi Choi\*\* · Rae-Hong Jung\*\*\* · Won-Chan Lee\*\*\* · Jae-Seong Yun\*\* · In-Soo Seo\*\*†

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

\*\* Korea Benthos Research Center, Co. Ltd. 22, Hwangnyeong-daero 489 beon-gil, Suyeong-gu, Busan 48313, Korea

**요 약** : 본 연구는 울산광역시의 태화강을 포함한 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여 2012년 2월부터 동년 11월까지 총 4회에 걸쳐 현장조사를 실시하였다. 태화강 하구역에서는 총 176종/9.6㎡와 1,992개체/㎡의 대형저서동물이 출현하였고, 가장 우점한 동물군은 다모류로 출현 종수와 평균 서식밀도는 각각 91종과 1,463개체/㎡이었다. 태화강 하구역의 주요 우점종은 다모류의 *Minuspio japonica*(609±1,221개체/㎡), 참갯지렁이(*Hediste japonica*, 174±318개체/㎡), *Tharyx* sp.1(106±283개체/㎡), 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*, 79±207개체/㎡), 이매패류의 아기반투명조개(*Theora fragilis*, 114±272개체/㎡) 및 단각류의 발성육질꼬리옆새우(*Grandidierella japonica*, 88±223개체/㎡) 등이었다. 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 파악한 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개로 구분되었다. 그룹 I (조립질 퇴적물)과 III (세립질 퇴적물)은 각각 담수 및 해수우세 환경의 군집으로, 그룹 II (혼합질 퇴적물)는 2개 환경이 혼합되는 추이대로 고려할 수 있었다. 결국 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물 군집은 염분농도의 구배와 퇴적상에 따라 구조를 달리함을 알 수 있었다.

**핵심어** : 대형저서동물, 군집구조, 하구역, 태화강, 울산

**Abstract** : This study investigated the community structure of macrobenthic assemblages in the Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea. Macrobenthos were collected with a Van Veen Grab Sampler during February and November 2012. The total species number and mean density were 176 species/9.6㎡ and 1,992 inds./㎡, respectively. Polychaetes were the most dominant faunal group in terms of species (91 species) and abundance (1,463 inds./㎡). The major dominant species were polychaetes *Minuspio japonica* (609±1,221 inds./㎡), *Hediste japonica* (174±318 inds./㎡), *Tharyx* sp.1 (106±283 inds./㎡), *Lumbrineris longifolia* (79±207 inds./㎡), bivalve *Theora fragilis* (114±272 inds./㎡) and amphipod *Grandidierella japonica* (88±223 inds./㎡). Based on community statistics (cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination), the macrobenthic community was divided into three station groups. Group I (freshwater dominated stations 2-6 with coarse sediment) was characterized by a high abundance of polychaetes *Minuspio japonica*, *Hediste japonica*, *Capitella capitata*, *Pseudopolydora kempfi*, amphipods *Grandidierella japonica* and *Apocorophium acutum*. Group II (ecotone, stations 7-9 with mixed sediment) was numerically dominated by bivalve *Theora fragilis*, polychaetes *Cirriiformia tentaculata*, *Tharyx* sp.1, *Lumbrineris longifolia* and *Chaetozone* sp. Finally, Group III (seawater dominated stations 10-12 with fine sediment) was characterized by a high density of polychaete *Magelona japonica*. These results showed that changes in salinity gradient and sedimentary characteristics were the main factors behind spatial changes in the macrobenthic communities of the Taehwa River Estuary.

**Key Words** : Macrobenthos, Community structure, Estuary, Taehwa River, Ulsan

\* First Author : hckim072@korea.kr, 051-720-2523

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

## 1. 서론

태화강은 울산광역시 울주군 상북면의 가지산과 두서면의 백운산에서 발원하여 둔기천, 동천 및 여천천 등의 지류가 합류한 후 도심지를 가로질러 최종적으로 동해의 울산만으로 유입된다. 우리나라 하천 중에서 발원지와 끝지점이 동일한 지방자치단체 내에 포함되는 유일한 하천이다. 태화강은 총 연장 47.54 km의 하천으로 상류구간의 지방하천(36.27 km)과 하류구간의 국가하천(11.27 km)으로 구분되며, 유로면적은 636.96 km<sup>2</sup>로 울산광역시 면적(1,057 km<sup>2</sup>)의 60.10%를 점유하고 있다(UDI, 2013). 울산광역시는 1962년 특정공업지구로 지정되면서 급속하게 산업도시로 변모하였다. 그러나 짧은 기간의 급속한 발전과 성장은 환경오염이라는 사회문제를 양산하는 원인이 되었다. 이에 2005년 수립된 태화강 살리기 10년 사업을 통하여 강으로 유입되는 오염물질의 차단과 처리를 목적으로 하수처리장 확충사업, 관거 정비사업, 오염퇴적물 준설사업 및 하천의 건천화를 막는 유지용수 확보사업 등을 진행하였다. 그 결과, 태화강의 수질은 1996년에 생물학적산소요구량(BOD)이 농업용수로도 이용이 불가능한 11.30 ppm으로 3급수 이하를 나타내었다. 그러나 시간경과에 따라 2007년에는 수질이 1급수인 1.70 ppm까지 개선된 후 현재까지 유지되고 있다. 또한 연안역의 수질도 동시에 개선되어 태화강 하류부에 위치한 울산만은 1997년에 화학적산소요구량(COD)이 3등급인 2.05 ppm에서 2011년에는 1등급인 0.97 ppm으로 향상되었다. 한편 태화강은 동해안에 위치한 중·소규모의 하구역이다. 하구역은 바다와 강이 만나서 해수와 담수의 혼합이 일어나는 곳으로 조석, 바람 및 담수유입 등에 의해 수위가 연속적으로 변화한다. 따라서 하구역에서의 염분농도, 수온 및 용존산소농도 등의 무기환경 요인은 시·공간적인 변화가 매우 심한 역동적인 환경조건을 갖추고 있다(Wolff, 1983; Mannino and Montagna, 1996; Costanza et al., 1997). 또한 하구역은 육상으로부터 영양염이 공급되는 가장 중요한 경로로써 주변해역에 입지한 연안어장의 생산성을 결정하는데 있어 중요한 역할을 담당하고 있다. 그럼에도 불구하고 하구역은 주변에 필연적으로 대도시의 형성을 요구하게 되며, 사회·경제적인 측면에서도 항만과 공업단지가 들어서는 공간이다. 그 결과 다량의 생활 및 산업 오폐수와 같은 육상기인 오염물질이 지속적으로 유입되어 환경적으로 위협을 받고 있는 것이 사실이다(NFRDI, 2012). 본 연구의 대상생물인 대형저서동물은 생활사 전반을 통해서 행동학적으로 이동성이 적거나 또는 고착성의 특징을 나타내 급성 또는 만성적인 서식처 교란에 반응하여 능동적으로 도피하는데 한계가 있고, 수명이 상대적으로 길어 환경변화를 비교적 잘 반영하는 생물군이다. 또

한 대형저서동물은 서식처의 기질인 퇴적물의 환경교란에 반응하는 내성의 정도 차이가 개체군별로 매우 다양하여 군집의 생태학적 천이과정과 건강도 구배정도를 잘 표현하고 있다. 더불어 서식처의 매질과 기질사이의 영양염 및 물질순환의 측면에서도 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 이렇듯 대형저서동물의 생물다양성, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조는 해역 전반의 안정성과 건강도 평가 및 환경교란의 감시요인으로 매우 중요한 생태학적 지위를 가지고 있다(Dauer et al., 2000; Rosenberg and Nilson, 2005; Wildsmith et al., 2009). 따라서 하구역에 서식하는 대형저서동물은 극심한 물리·화학적 환경요인의 변화에 생리·생태학적으로 적응할 수 있는 능력이 있는 종들만이 살아갈 수 있게 된다(McLusky, 1981). 결국 대형저서동물의 군집도 생물학적 요인보다는 저층수의 염분농도와 퇴적물의 입도 조성 등과 같이 무기 환경요인의 영향을 더 많이 수렴한다는 것이 일반적인 사실로 받아들여지고 있다(Rhoads and Young, 1970; Hong and Yoo, 1996). 지금까지 하구역에 서식하는 대형저서동물에 대한 연구는 한강(Yoo and Hong, 1996), 금강-만경강-동진강(Choi and Koh, 1994), 영산강(Lim and Park, 1998a; Lim and park, 1998b; Lim and Seo, 2011) 및 낙동강(Bae and Yoon, 1988; Bae and Yoon, 1989a; Bae and Yoon, 1989b; Lee et al., 2005; Yoon et al., 2011) 등 우리나라의 주요한 4대강 하역을 대상으로 실시된 바가 있다. 또한 동해안에 위치한 중·소규모의 강릉 및 양양 남대천 하구역(Hong et al., 2000; Hong et al., 2004)과 서해안의 영광군 법성포 와탄천 하구역 및 남해안의 광양만 수어천 하구역에 대한 연구가 수행된 바 있다(Lim and Hong, 2002; Lim et al., 2012). 반면 본 연구해역에서 대형저서동물을 대상으로 한 연구들은 바지락 유생의 출현에 대한 개체군 및 자원평가 연구(Choi et al., 2011; Kang, 2011), 울산만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조(Yoon et al., 2009), 울산만 및 온산만에 서식하는 대형저서동물 군집의 공간분포(Shin et al., 2001) 등이 있다. 그러나 태화강의 하구역 전반에 대한 연구는 현재까지 전무하다. 따라서 본 연구는 태화강을 포함한 하구역에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 생물량, 생태지수 및 군집구조를 파악하여 저서생태계에 대한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 현장조사

연구해역에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 생물량 및 군집구조 등을 파악하기 위하여 2012년 2월(이하 동계), 5월(이하 춘계), 8월(이하 하계) 및 11월(이하 추계)에 태화강의 상류부에서부터 입구역에 이르는 총 12개 정점에

대하여 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 개량된 채니기(van Veen grab sampler, 0.05 m<sup>2</sup>)를 이용하여 정점 당 총 4회(0.2m<sup>2</sup>)의 퇴적물을 채취하였다. 현장조사에서 채취된 퇴적물은 선상에서 1 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 최종농도 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시한 후, 개체수와 생체량을 측정하였다. 환경요인은 대형저서동물의 채집과 동시에 실시하였고, 수심을 포함하여 수질항목으로는 저층수의 수온, 염분농도 및 용존산소농도를 측정하였다. 또한 퇴적물 항목으로는 강열감량(IL, Ignition Loss), 화학적산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand), 산취발성황화물(AVS, Acid Volatile sulfide) 농도와 조직학적 특성치(평균입도, 분급도, 모래·펄함량)를 대상으로 하였다. 단, 이 중에서 퇴적물의 조직학적 특성치는 조사 초기인 동계에 1회만 실시되었다.

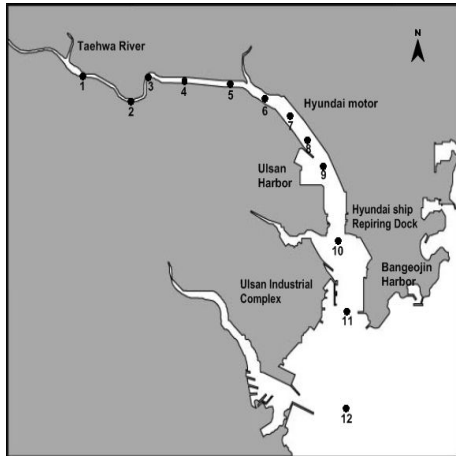


Fig. 1. Location of sampling stations in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

## 2.2 군집분석

대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여, 종 풍부도(Margalef, 1958), 종 다양도(Shannon and Weaver, 1949)와 균등도(Pielou, 1977) 지수를 구하였다. 한편 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 각 정점 간의 유사도를 파악하기 위하여, Bray and Curtis(1957)의 유사도지수(similarity index)를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER(Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram)와 다차원배열법(nMDS ordination)으로 나타내었다(Clarke and Warwick, 2001). 또한 우점종은 출현 개체수를 기초로 선정하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 환경요인

연구해역의 수심은 최소 평균 0.4m(정점 1)에서 최대 평균 22.5m(정점 12)의 범위에 상류부 및 중류부의 정점 1에서 8까지는 0.4~4.2m 범위의 낮은 수심을 나타낸 반면, 정점 9부터 강의 입구부(울산만)에 위치한 정점 12까지는 10.0m 이상의 상대적으로 깊은 수심을 보였다(Fig. 2). 저층수의 수온은 조사 시기에 따라 동계에 평균 8.7(±2.3)°C로 가장 낮았고, 하계에 평균 24.2(±5.5)°C로 가장 높았다. 조사 정점에 따라서는 평균 14.7(±3.4)~17.0(±10.3)°C의 범위에 정점 12에서 가장 낮았고, 정점 2에서 가장 높았다. 저층수의 평균 수온은 전반적으로 상류부의 정점 1에서 6까지는 16.0°C 이상을 나타낸 반면, 정점 7부터 12까지는 15.0°C 이하를 나타내었다. 계절적으로는 수온이 낮은 추계와 동계에는 상류부의 정점군에서 상대적으로 낮은 수온을 나타낸 반면, 중·하류부의 정점군에서 높은 수온을 보였다. 그러나 수온이 높은 춘계와 하계에는 반대의 경향을 나타내었다(Fig. 2). 저층수의 염분농도는 하계에 최소 평균 21.78(±13.47) psu에서 동계에 최대 평균 25.38(±8.97) psu의 범위를 나타내 수온과는 반대의 경향을 나타내었다. 또한 공간적으로는 정점 1에서 평균 2.48(±4.09) psu로 가장 낮았고, 정점 12에서 평균 33.69(±0.70) psu로 가장 높았다(Fig. 2). 따라서 염분농도는 상류부에서 하류부의 입구역으로 향할수록 점진적으로 증가하는 경향을 나타내 염분농도의 구배가 뚜렷하였다. 특히 이러한 경향은 모든 조사 시기에 동일하게 관찰되었고, 중류부의 정점 7을 기준으로 염분농도의 구분이 기수역 및 해양역으로 양분되었다. 저층수의 용존산소농도는 평균 6.79(±1.86)~10.32(±2.59) mg/L의 범위에 하계에 가장 낮았고, 동계에 가장 높았다. 이 밖에 춘계와 추계에는 각각 평균 7.87(±1.69) mg/L와 8.65(±1.73) mg/L의 수치를 보였다. 조사 정점별로는 정점 7에서 평균 6.92(±0.51) mg/L로 낮았고, 정점 1에서 평균 11.02(±2.14) mg/L로 높았다. 저층수의 용존산소농도는 비교적 상류부에 위치한 정점군(정점 1~4)에서 10.0mg/L 이상의 수치를 나타내 상대적으로 높았다(Fig. 2). 또한 조사 시기에 따라서는 염분농도의 경향과 유사하게 추계와 동계에는 상류부에서 하류의 입구부로 향할수록 점진적으로 용존산소농도가 감소하는 결과를 보였던 반면, 춘계와 하계에는 이러한 경향이 뚜렷하지 않았다. 결국 춘계와 하계에서 나타나는 염분농도와 용존산소농도의 변화 양상은 강우와 그에 따른 해역으로의 담수유입의 영향이 전반적으로 반영된 것으로 고려할 수 있다. 따라서 본 연구해역과 같이 강(하천)과 연결되어 있는 하구역 생태계는 수온, 염분농도 및 용존산소농도 등의 무기 환경요인의

## 울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

시·공간적인 변화가 매우 심한 환경임을 확인할 수 있었다 (Wolff, 1983). 이 중에서도 하천을 포함하는 해역은 육상으로부터 지속적인 담수유입으로 인하여 염분농도의 구배가 매우 뚜렷하다는 것이 주지의 사실이다. 본 연구에서도 상류부에 위치한 정점에서부터 하류부의 정점으로 향할수록 염분농도가 점진적으로 증가하는 경향을 나타내 염분농도의 구배가 명확하게 관찰되었고, 중류부의 정점 7을 기준으로 염분농도의 구분이 발생하여 전형적인 하구역의 특성을 반영하고 있었다. 퇴적물의 유기물 함량을 표현하는 강열감량은 평균  $4.05(\pm 3.27) \sim 6.08(\pm 2.55) \%$ 의 범위에 추계에 가장 낮았고, 춘계에 가장 높았다. 또한 조사 정점별로는 퇴적물이 굵은 모래와 자갈로 이루어져 측정이 불가능하였던 정점 1을 제외하면, 최소 평균  $1.20\%(\pm 0.33)$ , 정점 4)에서 최대  $8.54\%(\pm 0.64)$ , 정점 11)의 범위를 보였고, 전반적으로 정점 7부터 입구부의 정점으로 향할수록 비교적 높은 값을 나타내었다(Fig. 3). 퇴적물의 화학적산소요구량은 춘계에 최소 평균  $10.18(\pm 8.86) \text{ mg/g}$ 에서 추계에 최대 평균  $17.82(\pm 6.24) \text{ mg/g}$ 의 범위를 보였고, 이 외에 하계에 평균  $15.41(\pm 7.99) \text{ mg/g}$ 을 나타내 상대적으로 높았다. 조사 정점에 따라서는 평균  $2.94 \sim 20.47 \text{ mg/g}$ 의 범위에 정점 4에서 가장 낮았고, 정점 7에서 가장 높았다. 이 밖에 정점 9에서  $20.19 \text{ mg/g}$ 의 수치를 보였다. 이렇듯 정점 7과 9에서의 높은 화학적산소요구량은 어장환경기준 값( $20.00 \text{ mg/g}$ )을 초과하고 있다는 점에서 향후 이들 정점에 대한 감시체계 구축 및 관리방안이 요구된다 (Fig. 3). 산화발성황화물농도는 평균  $0.31(\pm 0.64) \sim 0.54(\pm 0.64) \text{ mgS/g}$ 의 범위에 추계에 가장 낮았고, 하계에 가장 높았다. 이 밖에 춘계에 평균  $0.48(\pm 0.47) \text{ mgS/g}$ 의 값을 보여 상대적으로 높았다. 조사 정점별로는 최소 평균  $0.00 \text{ mgS/g}$ (정점 4)에서 최대 평균  $1.14 \text{ mgS/g}$ (정점 8)를 나타내었고, 이 외에 정점 5에서 평균  $1.00 \pm 0.56 \text{ mgS/g}$ 의 수치로 높았다(Fig. 3). 한편 본 연구에서 퇴적물의 특성치 분석은 조사 초기인 동계에 한정하여 실시하였다. 분석 결과, 가장 조립질 퇴적물인 자갈함량은  $0.00 \sim 19.84 \%$ 의 범위에 정점 1에서 가장 높았고, 공간적으로 정점 1에서 7까지에 한정하여 분포하였다. 모래함량은 최소  $1.38\%$ (정점 10)에서 최대  $95.85\%$ (정점 5)의 범위를 보였고, 전반적으로 상류부와 중류부에 위치한 정점군에서 상대적으로 점유율이 높았다. 반면 펄함량은 모래함량과 반대의 경향을 나타내  $0.00 \sim 98.62 \%$ 의 범위에 정점 1과 5에서 적었고, 정점 10에서 가장 높았다. 결국 본 연구해역은 상류부의 정점 1부터 정점 6까지는 조립질 퇴적물, 중류부의 정점 7부터 정점 9까지는 혼합질 퇴적물, 마지막으로 하류부의 정점 10부터 12까지는 세립질 퇴적물이 우세하게 분포하는 특징을 보였다(Fig. 3). 퇴적물의 평균입도도 상기의 경향을 잘 반영하여 최소  $0.32 \phi$ (정점

1)에서 최대  $8.07 \phi$ (정점 11)의 범위를 보였고, 정점 1부터 7까지는 평균  $2.00 \phi$ 이하를, 이를 제외한 나머지 정점은 평균  $5.00 \phi$ 이상을 나타내었다(Fig. 3).

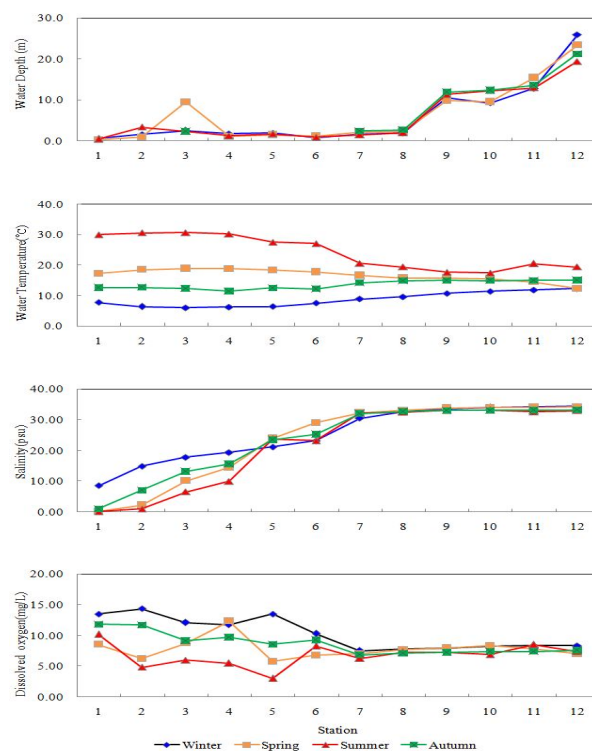


Fig. 2. Spatio-temporal variations of Water Depth, Water Temperature, Salinity and Dissolved Oxygen in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

퇴적물의 이질성 정도를 나타내는 분급도는  $0.94 \sim 2.88 \phi$ 의 범위에 정점 5에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 8에서 가장 높았다. 따라서 정점 1부터 4까지는 불량한 분급 (poorly sorted)을, 정점 5는 보통의 분급 (moderately sorted)을 그리고 정점 6부터 12까지는 매우 불량한 분급 (very poorly sorted)을 나타내 상류부보다는 중류부와 하류부에서의 퇴적물이 상대적으로 이질적임을 보여주고 있었다(Fig. 3). 따라서 연구해역의 퇴적물 특성치는 상류부의 삼호교에서부터 하류쪽의 울산만으로 향할수록 조립질 퇴적물이 감소하면서 점차적으로 세립질 퇴적물이 증가하고, 좁은 해역에 다양한 퇴적상이 존재한다는 연구결과와도 잘 일치하고 있다 (Hwang et al., 2015). 한편 와탄천 하구역의 경우에도 퇴적물은 상류부인 배수갑문에서 하류부 해역으로 갈수록 세립해지는 동일한 경향을 보였다. 또한 갈수기와 풍수기에는 담수유입으로 인하여 세립질 퇴적물이 침식과 퇴적의 과정을 거침으로써 퇴적상의 변동이 컸고, 특히 상류부와

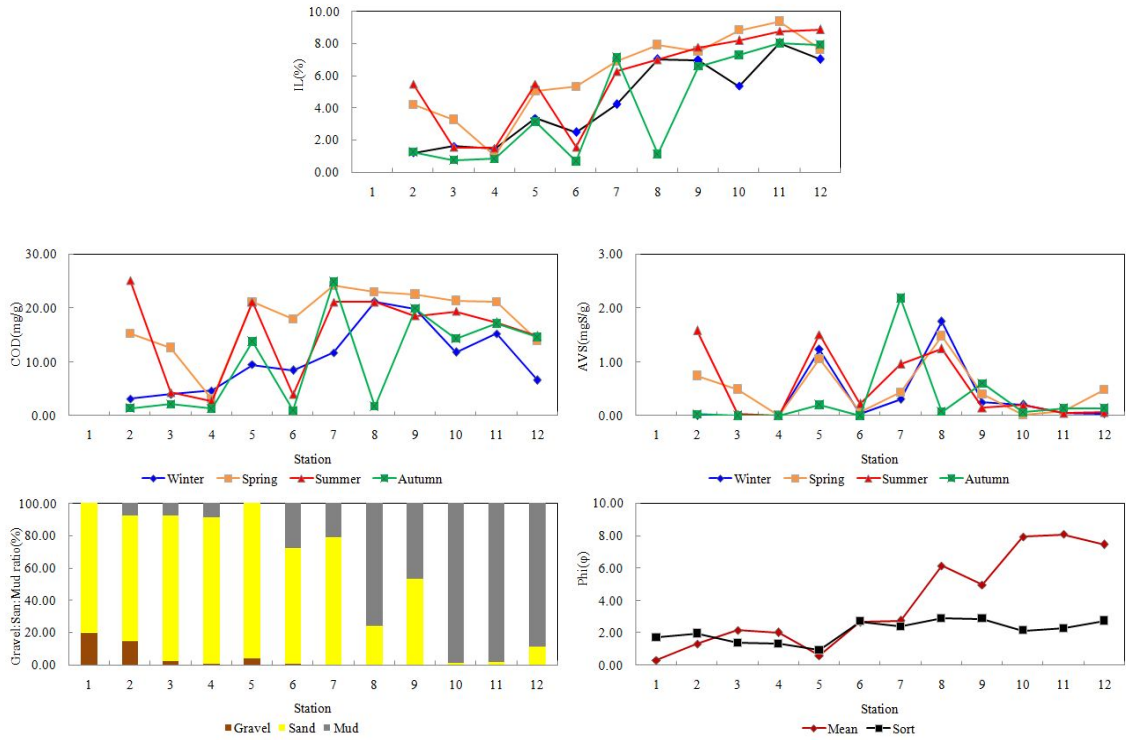


Fig. 3. Spatio-temporal variations of Sediment composition, IL (Ignition loss), COD (Chemical oxygen demand), AVS (Acid Volatile Sulfide), Mean phi and Sorting value in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

중류부에서 비교적 심하게 발견된 것으로 보고된 바 있다 (Lim and Hong, 2002). 따라서 본 연구해역에서도 비록 동계에 한정되어 조사가 이루어졌으나, 중류부 정점에서의 퇴적물의 변화 양상은 이러한 현상이 일정 부분 반영된 것으로 추정해 볼 수 있다. 이렇듯 퇴적물의 평균입도와 펄·모래의 함량비는 유기물 함량과 유의한 상관관계를 나타내는 것이 일반적이다(Snelgrove and Butman, 1994). 본 연구에서도 유기물 함량은 이와 같은 경향을 잘 반영하여 조립질 퇴적물로 구성된 정점 1에서 5까지는 평균 1.20~4.25%의 범위의 상대적으로 낮은 값을 나타낸 반면, 세립질 퇴적물이 우세한 정점 10부터 12까지는 평균 7.40~8.54%의 높은 값을 나타내었다. 혼합질 퇴적물로 이루어진 정점 6부터 9까지는 2.51~7.20% 범위로 비교적 변화 폭이 큰 유기물 함량을 보였다. 그러나 본 연구에서 정점 7은 조립한 퇴적물의 함량이 매우 높았음에도 불구하고, 평균 유기물 함량이 6.11%로 높아 특징적이었다. Hwang et al.(2015)의 연구에서도 명촌천 입구에 위치한 정점 6~8은 다른 정점과 비교해 상대적으로 강열감량, 화학적산소요구량 및 산화발성황화물농도 등이 높은 것으로 보고하고 있다. 이와 같이 퇴적물의 높은 유기물 함량은 육상기원 유기물 및 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 서식에 의한 해양생물기원 유기

물이 복합적으로 영향을 미친 것으로 판단하고 있다. 결국 본 연구에서 육상기원유기물의 유입은 차치하더라도 정점 7의 높은 유기물 함량은 바지락에 의한 기여가 있는 것으로 추정된다. 왜냐하면 바지락의 생물량이 정점 6~8에서 매우 높게 나타나고 있기 때문이다. 이상에서와 같이 하구역에서 퇴적학적 특성치는 홍수기의 일시적인 담수유입 (Gaston and Nasci, 1988; Probert, 1984), 그에 따른 퇴적물의 입도조성(Gambi and Giangrande, 1986) 및 퇴적물의 변화 (Schaffner et al., 1987) 등에 의해 직·간접적으로 영향을 받고 있다. 따라서 계절적으로 담수유입이 상대적으로 많은 상류부에서부터 하류부로 갈수록 퇴적상도 조립질에서 세립질 퇴적물로 변화하는 하구역의 특징을 잘 반영하는 것으로 판단되었다(Kim, 1991; Lim and Hong, 2002). 결론적으로 본 연구해역은 지속적인 담수유입과 상류부로부터의 퇴적물 유입의 결과로 조직학적 특성치가 자갈-모래-펄 및 조립질-세립질로의 변화형태를 명확하게 보여주고 있다.

### 3.2 출현 종수 및 개체수

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 총 176종이었고, 단위면적당(m<sup>2</sup>) 출현 개체수와 생체량은 각각 1,922개체와 116.1 gWWt이었다. 출현 종수는 환형동물의 다모류가 91종이

## 울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

출현하여 전체의 51.7%를 점유하였고, 다음으로 연체동물과 절지동물의 갑각류가 각각 37종, 21.0%와 34종, 19.3%를 차지하였다. 이 외에 기타동물군과 극피동물은 각각 9종과 5종이 채집되어 5.1%와 2.8%의 낮은 점유율을 보였다(Fig. 4). 출현 종수는 조사 정점에 따라서 단 1종도 출현하지 않은 정점 1을 제외하면, 최소 평균 4종/㎡(정점 2)에서 최대 평균 40종/㎡(정점 9)의 범위를 보였고, 이 밖에 정점 8, 11과 12에서 평균 30종/㎡ 이상이 출현하여 상대적으로 다양하였다. 생물 다양성은 전반적으로 하구역의 입구부에 위치한 정점군에서 비교적 높았다(Fig. 5). 출현 개체수에 있어서도 다모류는 64,355개체가 채집되어 76.1%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물과 갑각류가 각각 9,615개체, 11.4%와 9,415개체, 11.1%를 나타내었다. 이 밖에 기타동물군과 극피동물은 각각 1,030개체와 155개체가 출현하여 1.2%와 0.2%로 점유율이 매우 낮았다(Fig. 4). 조사 정점별로는 평균 455~4,309개체/㎡의 범위에 정점 2에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았다. 또한 정점 4에서 평균 4,045개체/㎡로 많았고, 이 밖에 정점 3, 5, 8 및 9에서 2,000~3,000개체/㎡의 범위를 나타내 상대적으로 밀도가 높았다. 출현 개체수는 전반적으로 정점 3~6 및 정점 8~9에서 많았고, 특히 정점 3부터 6에서의 밀도 편차가 상대적으로 컸다(Fig. 5). 생체량은 단일 개체의 중량이 상대적으로 높은 연체동물이 2,688.1 gWWt을 나타내 전체의 52.6%를 점유하였고, 다음으로 극피동물, 다모류 및 기타동물군의 순서로 각각 1,082.2 gWWt(21.2%), 928.8 gWWt(18.2%) 및 360.8 gWWt(7.1%)의 생체량을 보였다. 이 외에 갑각류는 49.6 gWWt, 1.0%로 점유율이 매우 낮았다(Fig. 4). 조사 정점별로는 최소 평균 2.1 gWWt/㎡(정점 2)에서 최대 평균 571.8 gWWt/㎡(정점 8)의 범위를 나타내었고, 이 밖에도 정점 9, 11과 12에서 각각 평균 194.2 gWWt/㎡, 243.9 gWWt/㎡ 및 110.5 gWWt/㎡의 생체량을 보여 상대적으로 높았다. 생체량은 공통적으로 정점 8과 11에서 높았고, 출현 종수의 경향과 동일하게 입구부에서 비교적 높았다(Fig. 5). 이상을 종합하면, 분류군에 있어서 출현 종수와 개체수는 다모류가, 생체량은 연체동물이 높았다. 또한 공간적으로도 출현 종수와 생체량은 입구부 정점군에서 공통적으로 높았으나, 개체수는 일부 정점(정점 3~6 및 8~9)에서 특징적으로 많아 일정한 분포경향이 없었다. 하구역에 서식하는 대형저서동물 군집의 종 다양성은 담수종과 해산종의 임계 염분농도인 5~8 psu에서 최소가 되는 것으로 알려져 있다. 또한 공간적으로 강을 향해서는 담수종이, 해양을 향해서는 해산종이 증가하게 된다(Remane and Schlieper, 1971). 본 연구에서도 저층수의 평균 염분농도가 각각 2.48 psu와 6.33 psu를 나타낸 정점 1과 2에서는 종이 전혀 출현하지 않았거나 또는 평균 4종이 채집되었고, 또한 담수유입이 영향을 미치는 범위에 위치하는 정점 3부터 6까지는 평균 5~14종 범위의 낮은

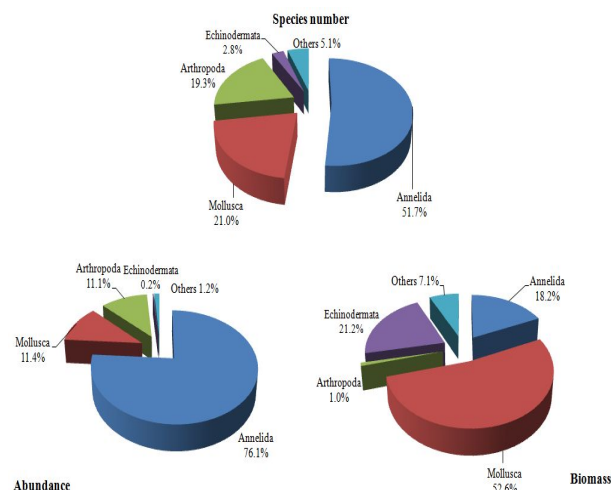


Fig. 4. Composition of species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

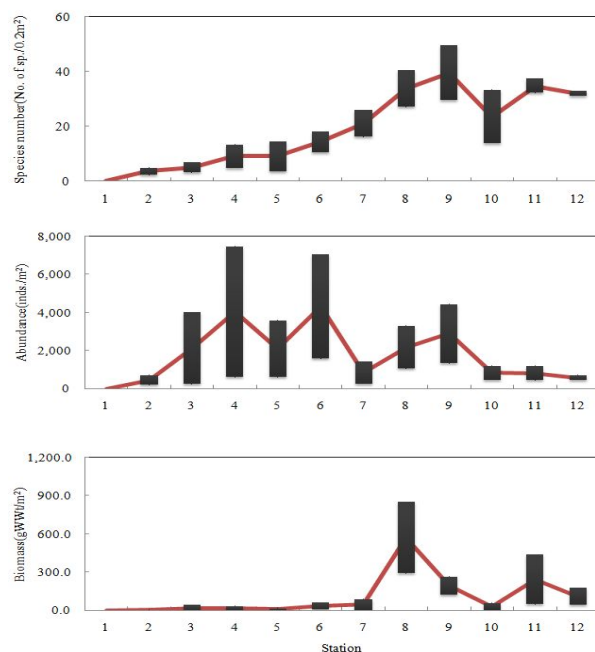


Fig. 5. Spatial variations of mean species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

출현 종수를 나타내 유사한 결과를 보였다. 다만 정점 1은 이러한 환경적인 특성과 동시에 퇴적물이 대부분 굵은 모래와 자갈로 구성되어 있어 생물채집이 효과적으로 이루어지지 않은 원인도 일부 작용한 것으로 추정할 수 있다. 결국 연구해역은 염분농도의 증가에 따라 상류부에서 하류부로 향할수록

점진적으로 출현 종수가 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 와탄천 하구역에서도 동일하여 염분농도가 상대적으로 높고, 퇴적물이 세립한 하류부의 정점군에서는 출현 종수가 많았던 반면, 염분농도가 낮고 상대적으로 조립한 퇴적물로 구성된 상류부의 배수갑문을 향하면서 점차 감소한 결과와 일치하며, 광양만의 수어천 하구역에서도 유사한 결과를 나타내었다(Lim and Hong, 2002; Lim et al., 2012). 또한 미국 텍사스의 Corpus Christi Bay 하구역에서의 출현 종수가 담수가 유입되는 장소로부터 해양쪽으로 향하면서 증가하는 양상과도 잘 부합된다고 볼 수 있다(Flint and Kalke, 1985). 한편 본 연구에서 대형저서동물의 밀도는 강의 중류부에 위치한 정점에서 높았다. 특히 상·중류부의 정점 3부터 6까지는 비록 출현 종수가 적었음에도 불구하고, *Minuspio japonica*, 참갯지렁이(*Hediste japonica*)와 발성육질꼬리옆새우(*Grandidierella japonica*), *Apocorophium acutum* 등 기수역에서 높은 밀도를 나타내는 종들이 밀도 변화를 주도하고 있었다. 반면 정점 7을 기준으로 정점 12까지는 아기반투명조개(*Theora fragilis*), 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), *Tharyx* sp.1 및 양손갯지렁이(*Magelona japonica*) 등이 우세하게 출현하였다. 따라서 본 연구해역은 출현 밀도에 있어서도 염분농도의 구배에 의해 기수역 종군과 해양역 종군으로 나뉘었고, 서해의 와탄천 하구역에서의 그것과 동일하였다(Lim and Hong, 2002). 마지막으로 생체량은 정점 7을 기준으로 해양역의 정점군에서 비교적 높았고, 특히 정점 8과 11에서의 수치가 매우 높았다. 이와 같은 결과는 전자는 바지락이, 후자는 염통성게(*Schizaster lacunosus*)의 출현에 기인한 결과이었다.

한편 우리나라의 대표적인 수산자원생물인 바지락은 동해안의 경우에 본 연구해역을 포함해서 죽변 연안 및 형산강 등의 기수지역 일부에서 출현하는 것으로 보고되고 있다(Konstantin et al., 2002). 특히 연구해역에서는 친환경조성사업의 지속적인 수행으로 수질환경이 점진적으로 개선되면서 바지락 자원의 회복이 눈에 띄게 향상되었다(Choi et al., 2011). 또한 연구해역에 서식하는 바지락 개체군의 건강도 조사에서 체내 미량금속 농도가 국내 및 미국 식품의약국(FDA) 허용권고치의 이하 수치를 나타내 매우 안전한 먹거리로 평가되어 태화강의 청정 이미지 제고에도 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 바지락은 정점 6부터 8사이에 집중적으로 출현하고 있다. Choi et al.(2011)은 태화강의 중·하류부의 하천역에서 높은 밀도로 서식하는 바지락 개체군을 매우 이례적으로 소개한 바 있고, 해수의 영향을 수렴하는 연구해역의 염분농도가 29.2~32.8 psu(NFRDI, 2010)의 범위에 있어 개체군 서식이 가능함을 제시한 바 있다. 이것은 Coughlan et al.(2009)이 비록 실험실에서 연구결과이기는 하지만 바지락의 서식을 위한 염분농도

반응결과에서 23.0~35.0 psu 범위에 잘 적응한 것으로 나타나 이를 잘 입증하고 있다. 따라서 본 연구에서도 저층수의 염분농도가 평균 25.2~32.7 psu의 범위에서 집중적으로 서식하는 것은 이들의 넓은 생태학적 지위로 설명이 가능할 것으로 판단된다. 한편 태화강에 서식하는 바지락 개체군의 자원량 평가에서도 1.46 km<sup>2</sup>의 서식면적에 단위면적당 평균 생체량이 1,005.3 g/m<sup>2</sup>을 나타내 해역에서의 자원량이 총 1,483톤으로 보고되고 있다(Choi et al., 2011). 결국 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 출현 밀도 및 생체량과 특정 수산자원생물(바지락)의 현존량을 고려해 볼 때, 연구해역의 대형저서동물 군집은 비교적 양호한 상태를 반영하는 것으로 판단된다.

### 3.3 우점종

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수를 기초로 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 상위 우점종 중에서는 다모류가 6종으로 가장 많았고, 다음으로 단각류와 이매패류가 공통적으로 2종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 보면, *Minuspio japonica*, 참갯지렁이, 아기반투명조개, *Tharyx* sp.1, 발성육질꼬리옆새우, 긴자락송곳지렁이, *A. acutum*, *Pseudopolydora kempii*, 공주채첩(*Corbicula colorata*) 및 양손갯지렁이 등이었다(Table 1). 이상에서와 같이 상위 10위종들이 나타내는 밀도는 66,395개체로 전체의 78.5%를 점유하였다. 특히 *Minuspio japonica*는 29,230개체(평균 609±1,221개체)가 채집되어 단일 종으로 가장 높은 34.6%의 점유율을 보였다. 다음으로 참갯지렁이, 아기반투명조개 및 *Tharyx* sp.1의 순서로 각각 8,365개체(평균 174±318개체, 10.0%), 5,460개체(평균 114±272개체, 6.5%) 및 5,105개체(평균 106±283개체, 6.0%)가 채집되었다. 한편 주요 우점종의 조사 시기 및 정점에 따른 분포양상을 보면, *Minuspio japonica*는 조사 시기에 따라 평균 82~942개체의 범위에 하계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다. 이 밖에 추계에 평균 831개체의 밀도를 나타내 상대적으로 밀도가 높았다(Table 1). 반면 조사 정점별로는 개체가 출현하지 않은 정점 1, 10 및 11을 제외하면, 최소 평균 1개체(정점 9와 12)에서 최대 평균 2,653개체(정점 4)의 범위를 나타내었다. 이 외에 정점 3, 5와 6에서 평균 1,620개체, 1,093개체 및 1,648개체가 채집되어 상대적으로 많았다(Fig. 6). *Minuspio japonica*는 와탄천 하구역에서도 전체 출현밀도의 80.0%를 상회하는 우점종으로 밀도 점유율이 매우 높은 종이었다. 특히 서식공간에 있어서 담수의 영향이 적은 해양역으로 향하면서 밀도가 급격히 감소하는 경향을 보이고 있어 본 연구결과와도 잘 일치하며, 본 종이 저층수의 염분농도와 음의 상관관계를 보인다는 점에서 이를 입증하고 있다(Lim

울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

Table 1. The top 10 dominant species raking based on abundance data in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea(mean individuals)

Rank	Taxa	Species name / Sampling Time	Winter	Spring	Summer	Autumn	Total individuals
1	APol	<i>Minuspio japonica</i>	11,305(942)	6,975(581)	980(82)	9,970(831)	29,230(609)
2	APol	<i>Hediste japonica</i>	2,655(221)	1,020(85)	985(82)	3,705(309)	8,365(174)
3	MBi	<i>Theora fragilis</i>	1,535(128)	1,915(160)	1,595(133)	415(35)	5,460(114)
4	APol	<i>Tharyx</i> sp.1	1,145(95)	1,825(152)	1,325(110)	810(68)	5,105(106)
5	CAM	<i>Grandidierella japonica</i>	1,670(139)	1,845(154)	20(2)	670(56)	4,205(88)
6	APol	<i>Lumbrineris longifolia</i>	950(79)	1,200(100)	1,380(115)	260(22)	3,790(79)
7	CAM	<i>Apocorophium acutum</i>	515(43)	1,725(144)	55(5)	510(43)	2,805(58)
8	APol	<i>Pseudopolydora kempii</i>	815(68)	70(6)	140(12)	1,720(143)	2,745(57)
9	MBi	<i>Corbicula colorata</i>	105(10)	50(5)	5(<1)	2,365(215)	2,525(57)
10	APol	<i>Magelona japonica</i>	940(78)	465(39)	365(30)	395(33)	2,165(45)

Index: APol, Annelida Polychaeta; CAM, Arthropoda Malacostraca Amphipoda; MBi, Mollusca Bivalvia

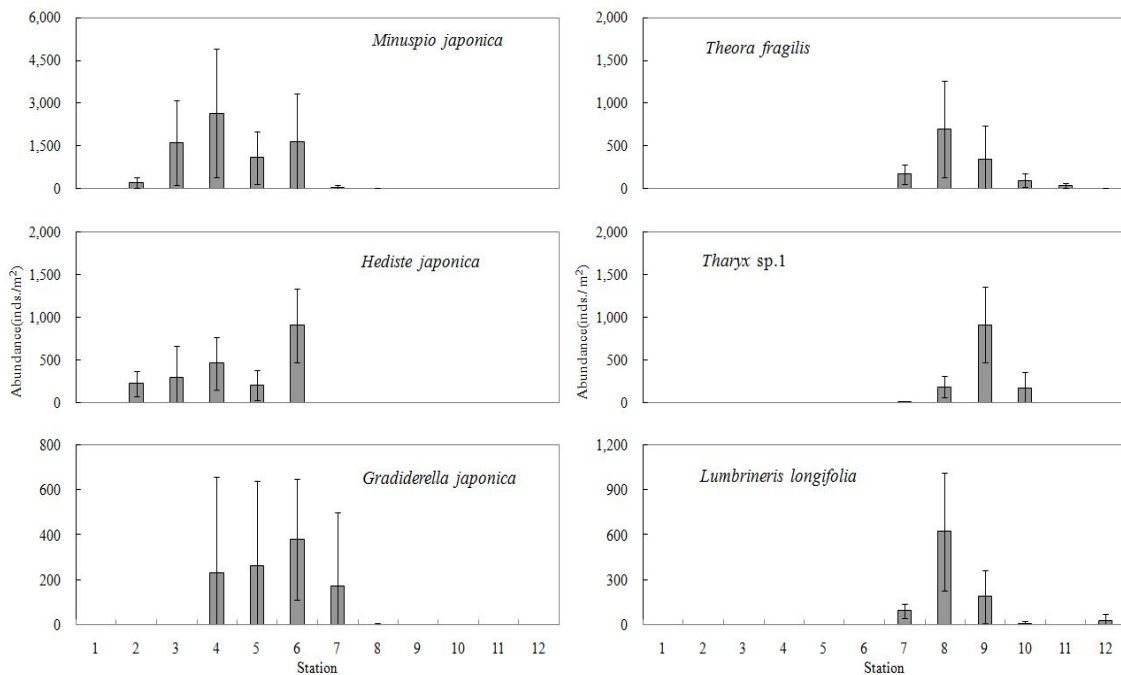


Fig. 6. Spatial variations of major dominant species in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

and Hong, 2002). 반면 본 종은 퇴적상과는 의미있는 연관성이 없음에도 불구하고, 모래함량이 높은 정점에서 밀도가 높아 특징적이었다. 이러한 경향은 광양만에 인접한 섬진강 하구역에서 본 종이 평균입도가 1.5φ로 조립하고, 필함량이 6.6%로 적으며, 염분농도가 20.15 psu에서 집중적으로 출현하고 있어 염분농도와 퇴적상이 이들의 분포범위를 조절하는 인자로 추정해 볼 수 있다(Jung, 1998). 본 연구에서도 평균입도가 0.60~2.67φ, 필함량이 0.00~27.57% 및 염분농도 11.94~25.20 psu의 범위를 나타내는 정점 3부터 6에서 집중적으로 분포하고 있어 유사하였다. 참갯지렁이는 조사

시기별로 최소 평균 82개체(하계)에서 최대 평균 309개체(추계)의 범위를 보였다. 또한 동계에 평균 221개체가 출현하여 상대적으로 많았다(Table 1). 조사 정점에 따라서는 평균 1~903개체의 범위에 정점 8에서 가장 적었고, 정점 6에서 가장 많았으며, 정점 1과 정점 9~12까지는 채집되지 않았다(Fig. 6). 본 종은 와탄천 하구역(Lim and Hong, 2002), 울산만 해역(Shin et al., 2001), 양양 남대천 하구역(Hong et al., 2000) 및 수어천 하구역(Lim et al., 2012) 등에서 서식하는 것으로 보고되고 있다. 와탄천 하구역에서는 평균 40개체가 출현한 가운데 수온이 낮은 동계에는 배수갑문 전방



의 20.0 psu 이하에서, 반대로 수온이 높은 하계에는 12.0 psu를 나타내는 정점에서 평균 30개체가 출현하였다. 또한 수어천 하구역에서도 평균 146개체가 출현하고 있으나, 염분농도가 높은 입구역 정점에서는 채집되지 않았다(Lim et al., 2012). 이렇듯 참갯지렁이는 하구역의 상류부에서 높은 밀도로 출현하고 있어 저층수의 염분농도 및 평균입도와 음의 상관관계를 나타내는 것으로 파악되었다. 결국 참갯지렁이는 염분농도가 낮은 해역과 조립한 퇴적물에서 높은 밀도를 나타내는 전형적인 기수성 종임을 확인할 수 있었다. 발성육질꼬리옆새우는 조사 시기에 따라 평균 2~154개체의 범위에 하계에 가장 적었고, 춘계에 가장 많았다. 이 밖에 동계에 평균 139개체의 밀도를 나타내 상대적으로 밀도가 높았다(Table 1). 반면 조사 정점별로는 개체가 출현하지 않았던 정점 1, 3 및 10~12를 제외하면, 최소 평균 1개체(정점 2와 9)에서 최대 평균 379개체(정점 6)의 범위를 나타내었다. 이 외에 정점 4, 5와 7에서 평균 231개체, 265개체 및 171개체가 채집되어 상대적으로 많았다(Fig. 6). 본 종은 대표적인 기수성 옆새우류로 와탄천 하구역에서는 평균 204개체의 밀도를 나타내고 있으나, 다른 해역에서는 높은 밀도가 보고된 사례가 많지 않다. 다만 발성육질꼬리옆새우는 울산만 주변(Shin et al., 2001)에서 담수의 영향을 받는 장소에서 출현하며, 퇴적환경과 높은 상관성을 보인 바 있거나 또는 모래함량이 많고 분급이 불량할수록 밀도가 높은 것으로 보고되고 있다(Lim and Hong, 2002). 본 연구에서도 모래함량이 72.07~95.85% 범위와 분급도가 0.94~2.74  $\phi$  (보통~매우 불량한 분급)의 범위를 차지하는 정점 4부터 7에서 집중적으로 분포하여 유사하였다. 아기반투명조개는 조사 시기에 따라 평균 35~160개체의 범위에 춘계에 가장 적었고, 춘계에 가장 많았다. 이 밖에 동계와 하계에 각각 평균 128개체와 133개체의 밀도를 나타내었다(Table 2). 반면 조사 정점별로는 개체가 출현하지 않은 정점 1~4와 6을 제외하면, 최소 평균 1개체(정점 5)에서 최대 평균 703개체(정점 8)의 범위를 나타내었다. 이 외에 정점 9와 10에서 각각 평균 349개체와 100개체가 출현하였다(Fig. 6). 아기반투명조개는 표층퇴적물식자로서 생활사가 수 개월에 불과할 정도로 매우 짧고, 연중 산란하는 종으로 분류되고 있다(Kikuchi and Tanaka, 1976). 또한 빈산소농도인 2.50 mg/L에 견딜 수 있는 내성을 가지며(Tamai, 1993), 개체밀도는 하계의 용존산소농도에 따라 변화하기 때문에 부영양화 해역의 지표종으로 이용되고 있다(Imabayashi and Tsukuda, 1984). 본 연구에서 단위면적당( $m^2$ ) 114개체의 밀도를 나타내 연구해역의 하류부에 위치한 울산만에서의 113개체(Yi et al., 1982)와 173개체(Yoon et al., 2009)와 유사하거나 또는 적었다. 특히 Yoon et al.(2009)에 의하면, 울산만의 전역에서 출현하여 그

공간적인 분포 범위가 매우 넓은 종으로 구분하고 있다. 본 연구에서도 염분농도가 30.0 psu를 상회하는 정점 7부터 12까지의 해양역에서 분포하며, 주 서식범위는 정점 7부터 10까지이었다. 한편 아기반투명조개의 개체 밀도는 산란과 기질로의 성공적인 개체군 가입이 이루어지는 하계에 높은 것으로 알려져 있다(Lim et al., 1995). 그러나 본 연구에서는 동계에서부터 하계에 이르기까지 각각 1,535개체, 1,915개체 및 1,595개체의 밀도를 나타내 차이가 있었다. 따라서 이것은 본 종의 개체군이 해역에서 연중 성공적으로 유지되고 있다는 점에서 해역의 부영양화 정도를 감시할 수 있는 유용한 도구로써 이들 개체군에 대한 보다 자세한 역학조사가 요구된다. *Tharyx* sp.1은 조사 시기별로 최소 평균 68개체(춘계)에서 최대 평균 152개체(춘계)의 범위를 보였다. 또한 하계에 평균 110개체가 출현하여 상대적으로 많았다(Table 1). 조사 정점에 따라서는 평균 3~913개체의 범위에 정점 5, 11과 12에서 공통적으로 적었고, 정점 9에서 가장 많았다. 그러나 정점 1~4와 6에서는 채집되지 않았다. 따라서 주 분포역은 정점 8, 9 및 10이었다(Fig. 6). 본 종은 하류부의 울산만에서 가장 밀도가 높은 *Aphelochaeta monilaris*와 동일한 과(科)에 속하는 종으로(Yoon et al., 2009), 현재 까지도 분류학적 논란의 대상이 되고 있으며, 기존의 Yi et al.(1982)과 Shin et al.(2001)의 연구에서 *Tharyx* sp.로 분류되는 종의 하나로 추정되고 있다. 또한 남해의 광양만에서 상위 우점종으로 출현한 *Tharyx multifilis*와 동일한 속에 포함되나, 아직까지 국내에서는 분류적인 연구가 매우 미진한 편에 속한다(Jung, 1998). 특히 광양만에서는 생태학적으로 하계에는 수심이, 동계에는 분급도와 상관성이 있는 것으로 보고된 바 있으나, 아직까지 환경요인에 대한 관계 규명이 난해한 종이다. 이렇듯 본 종은 동일한 연구해역에서 1980년 및 1981년에는 평균 개체밀도가 각각 72개체와 89개체를 나타내고 있었으나, 시간 경과에 따라 현재는 1,036개체로 현저히 증가한 특징을 보이고 있다(Yoon et al., 2009). 결국 본 종의 밀도가 과거와 비교하여 매우 증가하였다는 점과 서식처의 유기물 함량이 비교적 높은 해역에서 밀도가 높다는 점에서 이들 개체군에 대한 추적과 감시 및 생태학적인 의미 부여가 요구된다. 긴자락송곳갯지렁이는 조사 시기별로 최소 평균 22개체(춘계)에서 최대 평균 115개체(하계)의 범위를 보였다. 또한 춘계에 평균 100개체가 출현하여 상대적으로 많았다(Table 1). 조사 정점에 따라서는 평균 1~624개체의 범위에 정점 2에서 가장 적었고, 정점 8에서 가장 많았으며, 정점 1, 3~6 및 11에서는 개체가 채집되지 않았다. 따라서 본 종 역시도 정점 7을 기준으로 해양역에서 주로 서식하는 종으로 분류할 수 있다(Fig. 6). 긴자락송곳갯지렁이는 우리나라 전역에서 출현하며, 유

기물 오염과 관련된 종으로 알려져 있다(Shin et al., 2001; Yoon et al., 2007). 지금까지 생태적으로 필이 많은 혼합질 퇴적물에서 주로 출현하며, 빈산소수괴가 잘 발달한 해상가두리 양식어장이나 환경교란이 전혀 없는 해역에서도 높은 밀도를 나타내는 등 생태적인 지위가 매우 넓다(Jung et al., 2002; Jung et al., 2007; Paik et al., 2007). 그럼에도 불구하고, 본 연구에서는 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 79개체가 출현하여 이전에 수행된 울산만에서의 451개체(Yoon et al., 2009)와 257개체(Yi et al., 1982)와 비교해 밀도가 상대적으로 적었다. 이와 같은 결과는 이전에 수행된 조사는 주로 혼합질 또는 필이 우세하게 분포하는 울산만을 중심으로 하는 해역에서 이루어진 반면, 본 연구는 태화강의 상류 및 중류부의 포함하여 상대적으로 세립질 퇴적물로 이루어진 정점이 적었다는 점에서 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 이상에서와 같이 본 연구해역의 주요 우점종은 공간적으로 *Mimuspio japonica*, 참갯지렁이 및 발성육질꼬리옆새우는 주로 정점 2부터 7까지 분포하여 담수의 영향이 있는 해역에서 출현하는 특징이 있었다. 반면 아기반투명조개, 긴자락송곳갯지렁이 및 *Tharyx* sp.1은 정점 7에서부터 하류부까지 해양역에서 주로 서식하는 것으로 파악되었다. 결국 대형저서동물의 생태학적 특성으로 고려해 볼 때, 본 연구해역의 경우에는 정점 7을 기준으로 담수 및 해수 영향의 정도에 따라 우점종의 공간 분포가 구분됨을 알 수 있었다(Fig. 6).

### 3.4 생태학적 제지수 및 군집구조

연구해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 생태학적 제지수의 변화양상을 보면(단, 생물이 출현하지 않은 정점 1은 제외), 종 풍부도는 평균 0.41~5.10의 범위를 나타내었다. 정점 2에서 가장 낮았고, 정점 11에서 가장 높았다. 이외에 정점 8, 9와 12에서 각각 평균 4.33, 4.91 및 4.88의 수치를 나타내 상대적으로 높았다. 종 풍부도는 전반적으로 상류부에서 입구부로 향할수록 증가의 경향을 보였고, 특히 정점 7을 기준으로 평균 3.00 이상으로 높았다(Fig. 7). 종 다양도는 최소 평균 0.55(정점 2)에서 최대 2.70(정점 11)의 범위를 나타내었고, 공간적으로 정점 7부터 입구부까지는 평균 2.00 이상의 수치를 보여 상대적으로 높았다. 종 풍부도와 종 다양도는 전반적으로 매우 유사한 경향을 보였다(Fig. 7). 한편 균등도는 평균 0.43~0.76의 범위에 정점 2와 3에서 공통적으로 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 11에서 높았다. 이 밖에도 정점 4, 5와 6에서 0.60 이하의 상대적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 7). 이와 같이 일부 정점에서의 낮은 균등도 수치는 *Mimuspio japonica*의 대량 출현에 그 원인이 있었다. 이렇듯 본 연구에서 종 풍부도와 종

다양도는 공통적으로 상류부에서 하류부로 향할수록 증가의 경향을 보였고, 특히 정점 7을 기준으로 그 값이 높았다. 일반적으로 해양으로부터 멀어질수록 염분농도의 감소와 이에 따른 종 풍부도와 종 다양도의 감소 패턴은 대부분의 하구역에서 나타나는 일반적인 현상으로 이해되고 있다는 점에서 본 연구결과와도 잘 일치한다(McLusky, 1981; Rabalais et al., 1989). 또한 와탄천 하구역에서도 이와 같은 현상은 동일하여 조사 전 계절을 통해서 담수가 유입되는 배수갑문 쪽에 위치한 정점들로 향할수록 다양도가 낮아지는 양상이었다. 결국 종 다양도는 저층수의 염분농도와 양의 상관관계를 나타내 염분농도가 높은 해역에서 다양도가 높다는 결과와 부합된다(Lim and Hong, 2002). 이 외에도 다양도의 공간 변동양상은 만경강 하구역의 저서동물 조사에서도 해수농도와 유사한 장소에서는 다양도가 높았고, 담수와 해수의 경계면에서는 다양성이 감소됨으로써 군집이 염분의 구배에 의해 영향을 받고 있음이 제시되어 동일하였다(Kim, 1991).

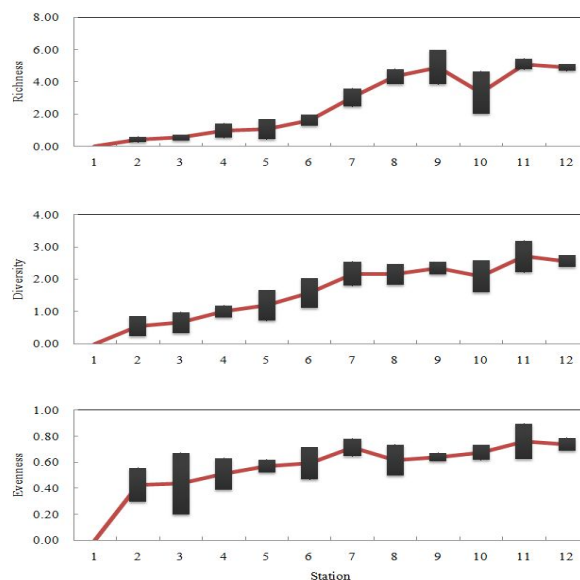


Fig. 7. Spatial variations of ecological indices (richness, diversity and evenness) in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea.

한편 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원배열법으로 표현하였다. 군집분석은 조사 기간 중 단 1종의 대형저서동물도 출현하지 않은 정점 1은 제외하였고, 총 출현 개체수의 0.50% 이상(430개체 이상)을 점유하는 19종을 대상으로 실시하였다. 또한 원자료는 우점종에 의한 효과를 줄이기

위하여 4<sup>th</sup> square root로 변환하였다. 그 결과, 본 해역에 서식하는 대형저서동물 군집은 크게 3개의 그룹과 2개의 정점(하계의 정점 2 및 동계의 정점 10)으로 대별되었다. 이 중 그룹 I (조립질 퇴적물)은 개별 정점으로 분리된 하계의 정점 2를 제외한 모든 조사 시기의 정점 2에서 6이 포함되었고, 그룹 II (혼합질 퇴적물)는 하계와 추계의 정점 10과 모든 조사 시기의 정점 7에서 9로 구성되었다. 반면 그룹 III (세립질 퇴적물)은 2개의 분리된 정점과 그룹 1과 2를 제외한 나머지 정점들이 속해있었다. 한편 2개의 정점은 전반적으로 출현 종수나 밀도가 매우 낮았고, 정점을 대표할 만한 특징종을 발견할 수 없었다. 이를 제외한 그룹 I에서는 *Minuspio japonica*, 참갯지렁이, 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*), *P. kempii*, 발성육질꼬리옆새우와 *A. acutum*이 대표적인 생물이었다. 반면 그룹 II에서는 아기반투명조개, 명주실타래갯지렁이(*Cirriformia tentaculata*), *Tharyx* sp.1, 긴자락송곳갯지렁이 및 *Chaetozone* sp. 등의 밀도가 높았다. 마지막으로 그룹 III에서는 양손갯지렁이가 높은 밀도를 나타내었다. 따라서 본 연구해역에 출현하는 대형저서동물의 군집구조는 담수영향의 정도에 따른 염분농도의 구배와 퇴적물 조성에 의해 그 구조를 달리하는 것으로 파악되었다(Fig. 8). Lim and Hong(2002)은 육상으로부터 담수가 유입되어 염분농도의 변화가 뚜렷하고, 갈수기와 홍수기때의 퇴적환경 변화가 관찰되는 하구역에서는 퇴적환경과 저층수의 염분농도의 차이가 군집분석 결과에서도 하류역으로부터 담수유입 장소인 상류부 정점군의 순서로 묶이는 순차적인 정점군 배치를 이루는 것으로 보고한 바 있다. 또한 담수 유입으로 인한 염분농도의 저하가 하구역에 서식하는 대형저서동물의 분포에 영향을 미치고(Lim et al., 2012), 특히 홍수기인 하계와 갈수기인 동계에는 이러한 염분농도의 구배가 더욱 뚜렷해져 서식하는 생물들이 더 큰 영향을 받을 것임을 제시한 바 있다(Kim, 1991). 결국 하구역의 가장 중요한 환경요소는 담수유입에 따른 염분농도의 구배 및 유속에 따른 퇴적상의 차이에서 기인한다는 결과와 일치한다(Lim and Hong, 2002; Lim et al., 2011). 따라서 본 연구해역에서 그룹 I 과 그룹 III 은 각각 담수우세와 해수우세 환경으로 볼 수 있고, 그룹 II 는 두 환경이 혼합하는 추이대(ecotone)로 고려할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서는 해역으로 유입되는 담수의 양은 정확하게 파악할 수 없었으나, 상류부에서부터 하류부에 걸쳐 뚜렷한 염분농도의 구배와 퇴적상의 차이가 존재함으로써 특징적인 종의 출현과 군집의 배치가 이루어지는 전형적인 하구역 생태계의 특징을 보이는 것을 알 수 있었다.

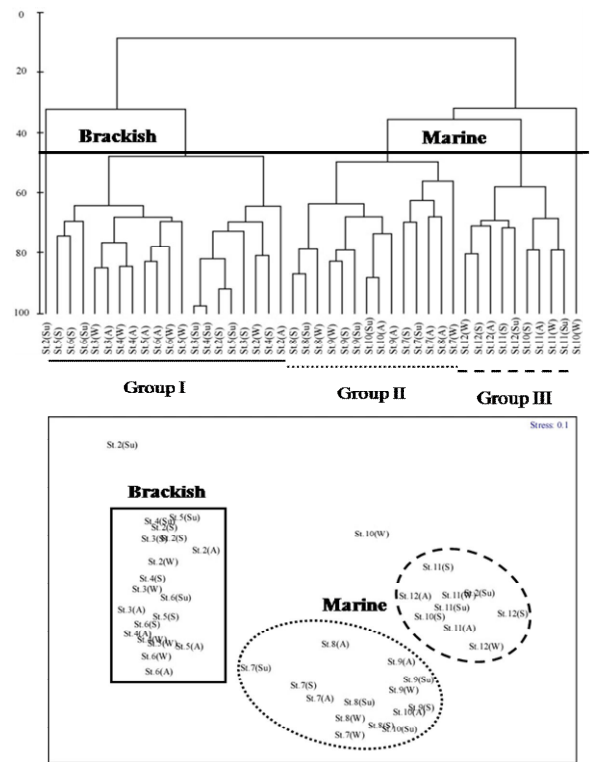


Fig. 8. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and nMDS configuration (lower), using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the 4<sup>th</sup> square-root transformed abundance data in Taehwa River Estuary, Ulsan, Korea (W, winter; S, spring; Su, summer; A, autumn).

## 5. 결론

본 연구는 울산광역시 태화강 하구역의 연성기질 조하대에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조를 파악하였다.

1. 태화강 하구역에서는 총 176종/9.6m<sup>2</sup>에 단위면적당 1,992개체/m<sup>2</sup>의 대형저서동물이 출현하였고, 분류군에 있어서는 다모류가 91종과 1,463개체/m<sup>2</sup>의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다.

2. 태화강 하구역에서의 주요 우점종인 *Minuspio japonica*, 참갯지렁이, 아기반투명조개 및 *Tharyx* sp.1은 전체 출현 밀도의 34.6%, 9.9%, 6.5%와 6.0%를 점유하였다. 이 중 *M. japonica*와 참갯지렁이는 담수역 집중 분포종으로, 아기반투명조개와 *Tharyx* sp.1은 해수역 집중 분포종으로 고려할 수 있었다.

3. 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집은 크게 3개로 구분되었다. 그룹 I (조립질 퇴적물)과 III (세립질

## 울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

퇴적물)은 각각 담수 및 해수우세 환경의 군집으로, 그룹 II (혼합질 퇴적물)는 2개 환경이 혼합되는 추이대(ecotone)로 고려할 수 있었다. 따라서 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물 군집은 염분농도의 구배와 퇴적상에 따라 그 구조를 달리함을 알 수 있었다.

## 사 사

본 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2016055)의 지원으로 수행된 연구입니다.

## References

- [1] Bae, K. S. and I. B. Yoon(1988), A study on the characteristics of substratum and benthic macroinvertebrates community in Nakdong Estuary, Korean Journal of Limnology, Vol. 21, No. 2, pp. 93-116.
- [2] Bae, K. S. and I. B. Yoon(1989a), Ecological studies of benthic Macroinvertebrates in Nakdong Estuary, Korea, Korean Journal of Limnology, Vol. 22, pp. 337-356.
- [3] Bae, K. S. and I. B. Yoon(1989b), Study on the environmental characteristics and dynamics of benthic macroinvertebrates in Nakdong Estuary. Korean Journal of Limnology, Vol. 22, No. 1, pp. 11-27.
- [4] Bray, J. R. and J. T. Curtis(1957), An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin, Ecological Monograph, Vol. 27, pp. 325-349.
- [5] Choi, J. W. and C. H. Koh(1994), Macrobenthos community in Keum-Mankyung-Dongjin estuaries and its adjacent coastal region, Korea, The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 29, No. 3, pp. 304-318.
- [6] Choi, Y. M., S. C. Yoon, S. I. Lee, J. B. Kim, J. H. Yang, B. S. Yoon and J. H. Park(2011), The study of stock assessment and management implications of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan, The Korean Journal of Malacology, Vol. 27, No. 2, pp. 107-114.
- [7] Clarke, K. R. and R. M. Warwick(2001), Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation (2nd edition), PRIMER-E Ltd., p. 144.
- [8] Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Niell, J. Paruelo, R. G. Gaskin, P. Sutton and M. van den Velt(1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, Vol. 387, pp. 253-260.
- [9] Coughlan, B. M., G. A. Moroney, F. N. A. Mv. Pelt, N. M. O'Brien, J. Davenport and J. O'Halloran(2009), The effects of salinity on the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) using the neutral red retention assay with adapted physiological saline solutions, Marine Pollution Bulletin, Vol. 58, No. 11, pp. 1680-1684.
- [10] Dauer, D. M., J. A. Ranasinghe and S. B. Weisberg(2000), Relationships between benthic community condition, water quality, sediment quality, nutrient loads and land use patterns in Chesapeake Bay, Estuaries, Vol. 23, pp. 80-96.
- [11] Flint, R. W. and R. D. Kalke(1985), Benthos structure and function in south Texas estuary, Continental Marine Science, Vol. 38, pp. 33-53.
- [12] Gambi, M. C. and A. Giangrande(1986), Distribution of soft-bottom polychaetes in two coastal areas of the Tyrrhenian Sea (Italy): structural analysis. Estuarine Coastal Shelf Science, Vol. 23, pp. 847-862.
- [13] Gaston, G. R. and J. C. Nasci(1988), Trophic structure of macrobenthic communities in the Calcasieu Estuary, Louisiana, Estuaries, Vol. 11, pp. 201-211.
- [14] Hong, J. S. and J. W. Yoo(1996), Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of benthic macrofauna in Han estuary and Kyonggi bay, Korea, The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 31, No. 4, pp. 217-231.
- [15] Hong, J. S., I. S. Seo, C. G. Lee, S. P. Yoon and R. H. Jung(2000), An ecological feature of benthic macrofauna during summer 1997 in Namdaechon estuary, Yangyang, Korea. Journal of the Korean Fisheries Society, Vol. 33, No. 3, pp. 230-237.
- [16] Hong, J. S., I. S. Seo, K. T. Yoon, I. S. Hwang and C. S. Kim(2004), Notes on the benthic macrofauna during september 1997 Namdaechon estuary, Gangneung, Korea. Korean Journal of the Environmental Biology, Vol. 22, No. 2, pp. 341-350.
- [17] Hwang, D. W., I. S. Lee, M. K. Choi, C. S. Kim and H. C. Kim(2015), Evaluation of pollution for organic matter and trace metals in sediments around Taehwa River Estuary, Ulsan. The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 48, No. 4, pp. 542-554.
- [18] Imabayashi, H. and S. Tsukuda(1984), A population ecology of the small bivalve *Theora lubrica* in northern Bingo-Nada. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol.

- 50, No. 11, pp. 1855-1862.
- [19] Jung, R. H.(1998), Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea, Ph. D. Thesis Inha University, Incheon Korea, p. 306.
- [20] Jung, R. H., H. S. Lim, S. S. Kim, J. S. Park, K. A. Jeon, Y. S. Lee, J. S. Lee, K. Y. Kim and W. J. Go(2002), A study of the macrozoobenthos at the intensive fish farming grounds in the southern coast of Korea, 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 7, No. 4, pp. 235-246.
- [21] Jung, R. H., S. P. Yoon, J. N. Kwon, J. S. Lee, W. C. Lee, J. H. Koo, Y. J. Kim, H. T. Oh, S. J. Hong and S. E. Park(2007), Impact of fish farming on macrobenthic polychaete communities, 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 12, No. 3, pp. 159-169.
- [22] Kang, H. E.(2011), Occurrence pattern of *Ruditapes philippinarum* (Bivalve: Veneridae) larvae in the estuary of Taehwa river, Ulsan, Ms. D. Thesis Pukyung National University, Pusan, Korea, p. 61.
- [23] Kikuchi, T. and M. Tanaka(1976), Some aspects on the ecology of a short-lived semelid bivalve, *Theora lata* (Hinds) with special reference to its opportunistic life history, Physiology and Ecology Japan, Vol. 17, pp. 261-271.
- [24] Kim, C. S.(1991), Study on the zoobenthos and inhabited environment in estuary of Man Kyong river. Korean Journal of Limnology, Vol. 24, No. 1, pp. 17-26.
- [25] Konstantin, A. L., J. G. Je and S. H. Shin(2002), Report on bivalve mollusks from beach death assemblages in Gangwon and Gyeongsangbuk province, Korea (East Sea), The Korean Journal of Malacology, Vol. 18, No. 1, pp. 27-40.
- [26] Lee, H. G., J. H. Lee, O. H. Yu and C. K. Kim(2005), Spatial characteristics of the macrobenthos community near the Nakdong river estuary, on the southeast coast of Korea, Ocean and Polar Research, Vol. 27, No. 2, pp. 135-148.
- [27] Lim, H. S. and K. Y. Park(1998a), Community structure of the macrobenthos in the soft bottom of youngsan river estuary, Korea 1. Benthic environment, Journal of the Korean Fisheries Society, Vol. 31, No. 3, pp. 330-342.
- [28] Lim, H. S. and K. Y. Park(1998b), Community structure of the macrobenthos in the soft bottom of youngsan river estuary, Korea 2. The occurrence of summer hypoxia and benthic community, Journal of the Korean Fisheries Society, Vol. 31, No. 3, pp. 343-352.
- [29] Lim, H. S., J. S. Hong and J. G. Je(1995), Abundance and distribution pattern of the Smelid Bivalve, *Theora fragilis* A. Adams in Chinhae Bay, Korea. The Korean Journal of Malacology, Vol. 11, No. 1, pp. 21-34.
- [30] Lim, H. S. and J. S. Hong(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, Vol. 7, No. 1, pp. 8-19.
- [31] Lim, H. S. and C. H. Seo(2011), Structure change of macrozoobenthic community after 10 years in Youngsan river estuarine bay, southwest coast of Korea, 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 16, No. 4, pp. 254-267.
- [32] Lim, H. S., J. W. Choi and S. D. Choi(2012), Spatial distribution of macrobenthos in Sueocheon stream estuary at the northern part of Gwangyang bay, Korea, 「The Sea」 The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 17, No. 2, pp. 76-86.
- [33] Mannino, A. and P. A. Montagna(1996), Fine-scale spatial variation of sediment composition and salinity in Nueces bay of south Texas, Texas Journal of Science, Vol. 48, No. 1, pp. 35-47.
- [34] Margalef, R.(1958), Information Theory in Ecology. General Syatematics, Vol. 3, pp. 36-71.
- [35] McLusky, D. S.(1981), The Estuarine Ecosystem, 2nd Ed., Blackie and Son Limited, Glowgow, p. 215.
- [36] NFRDI(2010), National Fisheries and Development Institute, Report on stock assessment and utilization implications of the manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the Taehwa river of Ulsan, East Sea Fisheries Research Institute of NFRDI, p. 172.
- [37] NFRDI(2012), National Fisheries and Development Institute, A White paper of estuarine fishery, PR-2012-ME-006, p. 290.
- [38] Paik, S. G., R. S. Kang, J. O. Jeon, J. H. Lee and S. G. Yun(2007), Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area, in the east sea of Korea. Ocean and Polar Research, Vol. 29, No. 2, pp. 123-134.
- [39] Pielou, E. C.(1977), Mathematical Ecology, Wiley Company, New York, p. 164.

- [40] Probert, P. K.(1984), Disturbance, sediment stability, and trophic structure of soft-bottom communities, *Journal of Marine Research*, Vol. 42, pp. 893-921.
- [41] Rabalais, S. C., W. M. Pulich, N. N. Jr. Rabalais, D. L. Felder, R. K. Tinnin and R. D. Kalke(1989), A biological and physiological characterization of the Rio Carrizal Estuary, Tamaulipas, Mexico, *Contributions in Marine Science*, Vol. 31, pp. 25-37.
- [42] Remane, A. and C. Schlieper(1971), *Biology of Brackish Water*, New York, Wiley-Interscience, p. 372.
- [43] Rhoads, D. C. and D. K. Young(1970), The influence of deposit feeding organisms on sediment stability and community trophic structure, *Journal of Marine Research*, Vol. 28, pp. 150-178.
- [44] Rosenberg, R. and H. C. Nilsson(2005), Deterioration of soft-bottom benthos along the Swedish Skagerrak coast, *Journal of Sea Research*, Vol. 54, pp. 231-242.
- [45] Schaffner, L. C., R. J. Diaz, C. R. Olsen and I. L. Larsen(1987), Faunal characteristics and sediment accumulation processes in the James River estuary, Virginia, *Estuarine Coastal Shelf Science*, Vol. 25, pp. 211-226.
- [46] Shannon, C. E. and W. Weaver(1949), *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, p. 125.
- [47] Shin, H. C., S. M. Yoon and C. H. Koh(2001), Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan Bay and Onsan Bay, eastern coast of Korea, 「The Sea」 *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 6, No. 3, pp. 180-189.
- [48] Snelgrove, P. V. R. and C. A. Butman(1994), Animal-sediment relationships revisited: cause vs effect, *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, Vol. 32, pp. 111-127.
- [49] Tamai, K.(1993), Tolerance of *Theora fragilis* (Bivalvia: Semelidae) to low concentrations of dissolved oxygen, *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 59, pp. 615-620.
- [50] UDI(2013), Ulsan Development Institute, Issue Report, Vol. 74, pp. 1-14.
- [51] Wildsmith, M. D., T. H. Rose, I. C. Potter, R. M. Warwick, K. R. Clarke and F. J. Valesini(2009), Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large microtidal estuary following extreme modifications aimed at reducing eutrophication, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 58, pp. 1250-1262.
- [52] Wolff, W. J.(1983), *Estuarine Benthos*, In: *Estuaries and enclosed seas*. ed. by B. H. Ketchum, Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 151-182.
- [53] Yi, S. G., J. S. Hong and J. H. Lee(1982), A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea, *Bulletin of KORDI*, Vol. 4, pp. 17-26.
- [54] Yoo, J. W. and J. S. Hong(1996), Community structure of the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi bay and Han estuary, Korea, *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 31, No. 1, pp. 7-17.
- [55] Yoon, S. P., R. H. Jung, Y. G. Kim, S. S. Kim, J. S. Lee, J. S. Park, W. C. Lee and W. J. Choi(2007), Characteristics of benthic environment and polychaete communities of Gamak Bay, Korea, 「The Sea」 *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 12, No. 4, pp. 287-304.
- [56] Yoon, S. P., R. H. Jung, Y. J. Kim, S. G. Kim, M. K. Choi, W. C. Lee, H. T. Oh and S. J. Hong(2009), Macro-benthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea, 「The Sea」 *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 14, No. 2, pp. 102-117.
- [57] Yoon, K. T., H. S. Park and M. Chang(2011), Implication to ecosystem assessment from distribution pattern of subtidal macrobenthic communities in Nakdong River Estuary, 「The Sea」 *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 16, No. 4, pp. 246-253.

---

Received : 2016. 09. 06.

Revised : 2016. 10. 10. (1st)

: 2016. 10. 20. (2nd)

Accepted : 2016. 10. 27.