섬진강 하구역 저서다모류군집의 시·공간 분포

강성효¹ · 이정호² · 박성완³ · 신현출^{3,*}

¹한국수자원관리공단 수산자원연구소

²안양대학교 해양바이오시스템공학과

³전남대학교 해양기술학부

Temporal and Spatial Distribution of Benthic Polychaetous Communities in Seomjin River Estuary

SUNG HYO KANG¹, JUNG HO LEE², SUNG WAN PARK³ AND HYUN CHOO SHIN^{3,*}

¹Fisheries Resources Research Institute, Korea Fisheries Resources Agency, Yeosu, Korea

²Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon, Korea

³Faculty of Marine Technology, Chonnam Natinal University, Yeosu, Korea

본 연구는 섬진강 하구역에서 저서다모류군집의 시·공간적 분포 및 환경 요인과의 상관관계를 파악하기 위해 2012년 4월부터 2013년 2월까지 24개의 정점을 대상으로 소조시 만조 때 조사를 실시하였다. 수질환경요인으로 염도, 수온, 용존산소, pH 등을 측정된 결과를 바탕으로 조사지역은 세 해역으로 구분하였다. 각 정점별 환경 특성에 따라 Saline Water Zone(SWZ), Brackish Water Zone(BWZ), Fresh Water Zone(FWZ)으로 정의하였다. SWZ은 대개 30 psu를 상회하였으며, BWZ에서는 염도가 급격히 감소하였고, FWZ에서는 거의 0 psu를 보였다. SWZ에서는 수온의 계절 변동이 가장 적었으며, DO는 가장 낮은 값을, pH는 시공간적 변동이 거의 없이 일정한 값을 유지하였다. 반면 FWZ에서는 수온의 계절 변동이 심하였으며, DO는 가장 높은 값을, pH는 시공간적 변동이 가장 심하였다. 표층 퇴적상은 SWZ에서는 니질(Mud)함량이 높았으며 BWZ에서는 사질(Sand)함량이 높게 나타났고 FWZ에서는 사질(Sand)이나 자갈(Gravel)함량이 높게 나타났다. 그 외 유기물함량과 황화물량은 SWZ에서 높은 값을, Chl-a량은 FWZ에서 높은 값을 보였다. 조사해역은 염도가 낮으며 유기물 함량, 황화물량이 낮고 조립한 퇴적상을 보이는 Fresh Water Zone과 염도가 높으며, 유기물함량, 황화물량이 높고, 세립한 퇴적상을 보이는 Saline Water Zone으로 조사 지역의 환경이 뚜렷이 대비됨을 보여주고 있다. 섬진강 하구역에서 출현한 저서다모류의 출현종수와 서식밀도는 Salline Water Zone에서 가장 높았으며, Brackish Water Zone으로 갈수록 점점 감소하였고, Fresh Water Zone에서 매우 낮았다. Brackish Water Zone의 경우 서식밀도의 계절 변동이 매우 심하였는데, 이는 *Prionospio cirrifera*의 극우점 출현에 의한 것이다. 섬진강 하구역에서 출현한 저서다모류 중 매 계절 상위 5.0%의 점유율을 보이는 우점종은 총 6종이었다. 이 중 *Lumbrineris longifolia*, *Prionospio cirrifera*, *Tharyx* sp.는 매 계절 주요 우점종으로 출현하였다. 그 외에 *Hediste* sp., *Praxillella affinis*, *Tylorrhynchus* sp.가 조사 시기에 따라서 우점종으로 출현하기도 하였다. 우점 출현 다모류들은 특징적으로 분포하는 해역이 뚜렷이 구분되었다. Saline Water Zone의 대표적인 종은 *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp.이었다. Saline Water Zone에서부터 Brackish Water Zone까지의 해역에 폭 넓게 걸쳐 출현하는 종은 *Prionospio cirrifera*, *Aricidea* sp., *Heteromastus filiformis*이었다. 그리고 Brackish Water zone의 내륙쪽 정점 일부와 Fresh Water Zone에서는 특징적으로 *Tylorrhynchus* sp., *Hediste* sp.가 우점 출현하였다. 섬진강 하구역에서 채집된 저서다모류의 출현종 구성과 정점간 유사도지수에 근거하여 집괴분석(Cluster Analysis) 및 비계량적 다차원척도법(non-metric Multidimensional Scaling)을 실시한 결과, 모든 계절에서 Saline Water Zone과 Fresh Water Zone에 위치하는 정점들은 각각 대표적인 하나의 정점군으로 구분되었다. 반면 Brackish Water Zone의 경우는 계절에 따라 수개의 정점군으로 세분되었다. 저서환경 요인과 저서다모류군집의 생태학적 요인들 간의 Pearson 상관관계분석과 주성분분석(PCA) 결과, 염도, 퇴적상, 유기물함량, DO 등이 저서다모류군집의 제반 생태학적 지수(출현종수, 서식밀도, 주요 종의 출현량, 생태지수)의 공간 분포를 결정짓는데 매우 중요한 역할을 하는 환경요인이 확인되었다.

Received September 2, 2014; Revised October 15, 2014; Accepted November 25, 2014

*Corresponding author: shinhc@chonnam.ac.kr

This study was investigated to estimate the relations between benthic environments and benthic polychaetous community from April 2012 to February 2013. Twenty four stations were selected sequentially with Seomjin River Estuary from the northern part of Gwangyang Bay. The study area could be divided into three characteristic zones based on salinity, water temperature, dissolved oxygen and pH such as Saline Water Zone (SWZ), Brackish Water Zone (BWZ), and Fresh Water Zone (FWZ). Salinity was above 30.0 psu in SWZ, drastically decreased toward inland in BWZ, and nearly zero psu in FWZ. SWZ showed its specific environmental characters like that water temperature fluctuated with little seasonal change and DO showed the lowest values among three zones, and pH maintained as consistent value without seasonal fluctuation. In FWZ, on the other hand, water temperature showed high seasonal fluctuation, DO showed the highest values among three zones, and pH fluctuated greatly. In sedimentary environment, mud, sand and sand/gravel were found as dominant sedimentary deposits in SWZ, BWZ and FWZ, respectively. Organic matter content and AVS in surface sediment were high in SWZ, while Chl-a content high in FWZ. This study area showed a marked environmental difference between FWZ and SWZ as follows: FWZ has coarse sediment and low salinity, low organic matter content, low AVS in FWZ but SWZ has fine sediment and high salinity, high organic matter content and AVS. Species number and mean density of benthic polychaete community was highest in Saline Water Zone (SWZ), drastically decreased in Brackish Water Zone (BWZ), and lowest in Fresh Water Zone (FWZ). Dominant polychaetes above 5.0% of individual numbers were 6 taxa. *Lumbrineris longifolia*, *Prionospio cirrifera*, *Tharyx* sp. occurred as main dominant species of all study periods, and *Hediste* sp., *Praxillella affinis*, *Tyllorrhynchus* sp. dominantly occurred at some seasons. Inhabiting areas of dominant species were separated characteristically. Representative species in SWZ were *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp.. Wide-appearing species between SWZ and BWZ were *Prionospio cirrifera*, *Heteromastus filiformis*, *Aricidea* sp.. Characteristic species in FWZ were *Tyllorrhynchus* sp. and *Hediste* sp.. As the results of cluster analysis and nMDS based on the species composition of polychaetous community, unique station groups were established in SWZ and FWZ. Stations in BWZ were sub-divided into several groups with season. Pearson's correlation analysis and PCA between benthic environments and ecological characteristics of polychaetous community showed that salinity, sediment composition, organic content and dissolved oxygen played a role to determine the temporal and spatial distribution of the ecological characteristics as species number, mean density, abundance of main species, and ecological indices.

Key words: Benthic Environments, Benthic Polychaetous Community, Seomjin River Estuary

서 론

하구역은 염분 농도가 지리적으로 매우 광범위하게 변화할 뿐만 아니라 계절이나 강수량에 따라 시간적인 변화 역시 심하게 일어나는 해역이다. 또 육상으로부터 유입되는 유기물로 인해 인근의 담수산 해양환경에 비해 영양염이 풍부하기 때문에 하구역에 서식하는 동·식물 모두 생산력이 매우 높다. 하구역에 서식하는 생물 중 저서동물은 담수 기원 동물은 거의 없으며 해양성 동물이 거의 대부분을 차지하고 있다. 그러나 환경 조건의 극심한 변화로 인해 저서동물의 출현 종수는 인근 해양에 비해 10% 이하로 극히 적지만, 이 종들의 서식밀도는 매우 높을 때가 많다(Day, 1981).

저서동물의 시공간적 분포 및 종 조성은 다양한 환경 조건에 따라 크게 영향을 받는다. 하구역에서 저서동물군집에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 염분으로 염도 구배에 따라 저서동물의 시공간적 분포가 달라지고, 유사한 염도 조건하에서는 퇴적환경이 공간분포에 영향을 미친다(Copland and Bechtel, 1974).

우리나라에서 하구역을 중심으로 한 해역에서의 저서동물군집의 특성에 대하여 연구한 예는 많지 않다. Choi and Koh(1994)가 서해안의 만경강, 동진강 하구역에서의 저서동물군집에 대해 보고한 이후, 불과 수평의 연구만이 진행되었다. 이는 국내 가장 규모가 큰 4대강은 하구연 건설 등으로 인해 더 이상 하구(estuary)로서의 기능이 상실되었기 때문이기도 하다.

국내 하구역을 대상으로 한 연구 결과를 살펴보면, 저서동물군집의 분포는 퇴적상과 염도에 의해 주로 좌우됨을 시사하고 있으며, 그 외 용존산소, 유기탄소, 수심 등도 저서동물군집에 영향을 미치는 중요한 요인임을 보고하고 있다. Choi and Koh(1994)는 서해안의 만경강과 동진강 하구역의 하계 저서동물군집상을 조사하였는데, 강 하구역과 인근 외해역의 군집은 종조성의 차이를 보이고 있는데 이는 주로 퇴적상이 영향을 미치고 있다고 하였다. Hong and Yoo(1996)는 한강 하구역과 인근 경기만 해역을 대상으로 저서동물군집의 분포를 집중적으로 조사하여 저서동물군집의 특성을 심도있게 파악하였으며, 역시 퇴적상의 차이 및 담수 유입이 가장 중요한 요인임을 지적하였다. Lim and Hong(2002)은 서해안으로 유입되는 소규모 하천인 영광 법성포의 와탄천에서는 염도 구배와 퇴적상이 저서동물군집의 분포에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 보고하였다.

Lim et al.(2012)은 본 조사지역과 근접한 섬진강 지류인 수어천 하구역에서 여름철 대형저서동물군집상에 대해 조사한 결과, 수어천을 따라 올라가면서 퇴적상과 염도의 변화로 인하여 군집 종조성이 차이가 남을 보고하였다. Yoon et al.(1986, 1987), Lee et al.(2005)은 낙동강 하구역 주변 해역에서의 저서동물군집과 환경과의 관계에 대해 조사한 결과, 저서동물군집의 분포는 주로 퇴적상에 가장 큰 영향을 받으며, 양식장으로부터 유입되는 유기탄소량, 수심에 따라서도 영향을 받는 것으로 나타났다. Shin et al.(2001)은 울산 태화강 하구역과 인근 해역의 저서동물상을 조사한 결과, 태

화강을 따라 저서동물군집상이 순차적으로 배열되고 있으며, 인근 해양의 저서동물군집상과는 종조성 등에 있어서 차이가 남을 밝혔다. 그리고 Yoon *et al.*(2009)은 태화강과 인근 해양 저서동물군집의 종조성과 밀도 분포는 수심, 퇴적물 입도, 유기물함량 등과 상관성이 높다고 하였다. Hong *et al.*(2000)은 동해안으로 유입되는 양양 남대천 하구역에서의 저서동물군집상을 파악하면서, 수중 독이 건설된 지역과 같이 수류 소통이 원활하지 않은 수역에서는 여름철 성층 형성으로 유도되는 저층수의 환경악화로 인한 무생물 구역의 출현을 경고하기도 하였다.

본 연구의 조사 지역인 섬진강은 한국의 5대강 중에서 하구언, 보 건설이나 강변 개발이 이루어지지 않은 유일한 강이다. 금강, 영산강, 낙동강은 하구언 건설로 해수와 담수의 교환이 차단되어 하구역으로서의 기능을 상실하였으며, 한강은 하구언은 없으나 주변 개발 사업으로 인해 수서 환경 및 수서생태계에의 영향이 심각한 상황이다. 반면 섬진강은 우리나라 남해안 중앙에 위치하는 5번째로 큰 강으로 전라남도·북도의 동쪽 지리산 기슭을 지나 남해의 광양만으로 흘러드는 강이다. 섬진강 하구역은 상류의 댐 건설과 광양만의 매립과 같은 변화에도 불구하고 하구둑이 없어 해수의 출입이 자유로운 자연형 하구역이다. 그러나 최근 섬진강 역시 강 하구 지역의 매립(공단 건설)과 상부의 댐 건설로 인하여 자연적인 하구로서의 모습이 점점 사라져가고 있다. 이로 인한 바닷물의 역류로 인하여 상당한 내륙 지역까지 해수가 침투되어 하구 환경과 하구 생태계가 변화하는 이른바 '섬진강의 바다화'라는 이름으로 지역에서는 큰 환경 문제가 되고 있다.

본 연구 지역인 섬진강 하구역을 대상으로 하여 수질 환경 및 부유생물군집상에 대해서는 집중적인 연구가 이루어졌으나(Park *et al.*, 2001; Kwon *et al.*, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b, 2004; Yang *et al.*, 2005), 저서환경 및 대형저서동물군집에 대한 연구는 Lim *et al.*(2012)에 의한 섬진강 지류인 수어천을 대상으로 한 연구 외에는 전무하다. 반면 섬진강 하구역을 끼고 있는 광양만 해역의 저서동물군집에 관한 연구는 상당히 많이 수행되었다(Choi and Koh, 1984; Shin and Koh, 1990; Jung, 1998; Choi *et al.*, 2003; Kim and Shin, 2010).

이상의 국내 하구역 저서동물군집 연구 결과를 보면 한국의 4대강은 모두 하구언에 의해 해수와 담수의 교환, 소통이 차단되어 있기 때문에 소규모 하천을 대상으로 한 연구 결과 밖에 없다고 보아도 무방하다. 본 연구는 한국에서 5번째로 규모가 크고 하구언에 의해 막혀있지 않은 상태로 하구의 특성이 잘 보존되고 있는 섬진강을 대상으로 대형저서동물군집의 시·공간적 분포 현황을 파악하고, 염도, 퇴적상 등의 대표적인 수·저질 환경 요인과 저서동물군집과의 관계에 대해 집중적으로 파악하고자 한다.

재료 및 방법

섬진강 하구역 저서다모류군집의 시·공간분포 특성을 파악하기 위한 현장조사는 2012년 4월, 7월, 10월과 2013년 2월의 계절별로 4회 실시하였으며, 섬진강과 맞닿은 광양만 북부 해역에서부터 섬진강을 따라 올라가면서 총 24개의 정점을 대상으로 소조 시 만조 때 실시하였다(Fig. 1).

수질 환경요인으로는 저층수의 수온, 염도, 용존산소, pH, 수심을

Fig. 1. Map showing the sampling stations and bathymetry in the Seomjin River Estuary.

측정하였으며, 관측장비는 YSI(600 XL)를 사용하였다. 그리고 퇴적물의 환경 요인으로는 표층퇴적물 입도분석과 유기물 함량, 산 휘발성 황화물량, 저서미세조류의 생물량을 측정하였다.

표층퇴적물 입도분석(Ingram, 1971)을 하기 위해 조립질 시료는 110 °C에서 24시간동안 건조시킨 후 10 간격으로 입도별 중량을 구하였다. 세립질 시료는 X-선 자동 입도 분석기(Sedigaph 5100)로 분석하여 입도의 백분율을 산출하였다. 이후 퇴적물의 평균입도, 분급 등의 통계적 입도상수를 Folk and Word(1957)의 공식을 사용하여 계산하였다. 표층퇴적물내의 유기물함량은 강열감량법(Loss on Ignition; %)을 이용하여 분석하였다. 산 휘발성 황화물량 측정(Acid Volatile Sulfide)은 황화수소를 추출시켜 검지관법으로 측정하였다. 저서미세조류의 생물량 측정은 Lorenzen(1967)의 식에 따라 퇴적물 단위 체적당 엽록소-a(Chl-a)량 및 phaeopigment량을 계산하였다.

저서다모류를 채집하기 위해서 수심에 따른 사용 선박의 규모 및 운항 가능 여부에 따라 채집기구를 달리하였으며, 총 채집면적은 표

층퇴적물의 표면적이 0.2 m^2 이 되도록 통일하였다. 정점 1~정점 11은 개량형 van Veen Grab(면적 0.1 m^2)을 사용하여 정점당 2회씩 채집하였고, 정점 12~정점 16은 소형 van Veen Grab(면적 0.05 m^2)을 사용하여 정점당 4회씩 채집하였다. 선박의 운항이 가능하지 않은 정점 17~정점 24는 도보채집으로 Surber net(면적 0.1 m^2)을 사용하여 정점당 2회씩 채집하였다. 채집된 퇴적물은 1 mm 체(sieve)로 체질한 후 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서 다시 한 번 세척한 시료는 저서동물만을 선별한 후 실체현미경(Carlzeiss Stemi SV6)과 광학현미경(Nikon Eclipse 50i)을 사용하여 저서다모류를 가능한 중 수준까지 동정하고 계수하였고, 단위면적당 출현개체수로 환산하였다.

생태지수는 종다양도지수(H') (Shannon and Weaver, 1963), 종 풍부도지수(R) (Margalef, 1958), 종균등도지수(J) (Pielou, 1966), 우점도지수(D) (McNaughton, 1968)를 정점별로 계산하였다.

종조성의 유사도를 기초로 하여 조사지역을 정점군별로 구분하기 위하여 집괴분석(Cluster analysis)과 다차원척도법(non-metric Multidimensional Scaling; nMDS)을 사용하였다. 분석을 위하여 사용한 자료는 저서다모류 전 출현 종을 대상으로 하였으며, 유사도 지수는 Bray-Curtis Similarity(Bray and Curtis, 1957)를 사용하였다. 결합법은 Group-average mode를 사용하여 정점군을 구분하였다.

저서다모류와 환경요인(수온, 염도, 용존산소, pH, 퇴적상, 유기물량, 황화물량, 저서미세조류의 생물량)간의 상관관계를 파악하기 위해 Pearson's correlation coefficient를 구하였으며, 주성분 분석(Principal Component Analysis; PCA)을 실시하였다. 자료 분석은 Primer ver.5.0을 사용하여 수행하였다.

결과 및 토의

저서 환경

수질 환경 요인: 섬진강 하구역의 수질환경요인(염도, 수온, DO, pH)의 변화는 Fig. 2와 같다. 염도의 경우 전반적으로 겨울과 봄에 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 여름과 가을의 염도가 낮은 것은 강수의 영향으로 보인다. 수온과는 달리 계절변동보다는 지역적 공간변동이 월등히 크게 나타나고 있다. 계절에 관계없이 정점 1~정점 6 사이 구역의 염도가 가장 높게 나타나고, 정점 7~정점 15까지의 구역에서는 점진적으로 염도가 낮아지다가, 정점 15~정점 17까지의 구역에서 급격하게 염도가 낮아졌으며, 정점 17부터는 거의 0 psu 에 가까운 값을 보였다.

조사해역은 염도의 관점에서 크게 3개의 구역으로 구분이 가능하였다. 즉 계절에 관계없이 대체적으로 항상 30.0 psu 이상의 염도를 보이는 구역을 Saline Water Zone(정점 1~정점 6 중심), 점진적 염도의 변화가 나타나는 구역을 Brackish Water Zone(정점 7~정점 16), 염도가 거의 0 psu 에 가까운 구역을 Fresh Water Zone(정점 17~정점 24)으로 구분, 명명하였다.

수온은 겨울에 가장 낮았고, 여름에 가장 높았다. 대체적으로 봄과 여름에는 바다에서 강을 거슬러 올라 갈수록 수온이 높아지는 경향을 보였고, 가을과 겨울에는 반대로 수온이 낮아졌다. 수온 역시 염도와 마찬가지로 Saline Water Zone, Brackish Water Zone, Fresh Water Zone 별로 뚜렷한 특징적인 변화를 보이고 있다. 특히 Saline Water Zone에서 계절 변동 폭이 가장 적었으며, Fresh Water Zone에서 변동 폭이 가장 컸다.

Fig. 2. Temporal and Spatial variations of salinity, water temperature, dissolved oxygen and pH in Seomjin River Estuary.

Fig. 3. Temporal and spatial variations of sand/mud content (%), mean gain size (ϕ) and sedimentary facies of surface sediment in Seomjin River Estuary.

겨울에 용존산소 함량이 가장 높고, 여름에 가장 낮았다. 지역 별로는 Saline Water Zone에서 용존산소 함량이 상대적으로 낮았으며 계절변동이 적은 반면, Fresh Water zone에서 가장 높은 용존산소 함량을 기록하였으며, 계절 변동 역시 가장 심하였다.

pH의 경우 정점 1~정점 11까지는 정점 간 편차 및 계절 변동이 거의 나타나지 않은 반면, 그 이상의 정점으로 섬진강을 거슬러 올라가면서 변동이 심하게 나타나고 있다. 즉 Saline Water Zone에서는 시공간적으로 거의 일정한 pH 값을 보인 반면, Fresh Water Zone에서는 정점간, 계절간 변동이 심하였다.

퇴적 환경

조사 해역의 퇴적환경 변동은 Fig. 3과 같다. 각 Zone 별로 퇴적환경의 차이가 확연하게 나타났다. 즉 Saline Water Zone에서는 니질 함량이 높고 사질 함량이 낮은 반면, Brackish Water Zone과 Fresh Water Zone에서는 사질 함량이 매우 높았다. 특히 Fresh Water Zone의 니질 함량은 거의 0%에 가까운 값을 보였으며, 역질 함량이 꽤 높은 값을 보였다(강, 2014).

평균입도는 Saline Water Zone에서는 5.1~10.0 ϕ 범위로 세립하였고, Brackish Water Zone은 계절별 변동이 심하나 0~7.8 ϕ 범위로 대부분 모래의 함량이 많은 조립질이었다. 반면 Fresh Water

Zone은 -0.9~2.6 ϕ 범위로 대부분 자갈이나 모래로 구성된 조립질이었다.

이를 삼각 다이어그램상의 퇴적상으로 구분하면, Saline Water Zone은 Mud Facies(sandy Mud~gravelly Mud), Brackish Water Zone은 sandy Mud~muddy Sand Facies의 혼합퇴적상 및 Sand Facies, Fresh Water Zone은 Sand~sandy Gravel Facies를 보이고 있다.

이러한 퇴적물 입도 조성의 공간적 변화는 섬진강 지류인 수어천에서의 조사 결과(임 등, 2012)에서도 잘 나타나고 있다. 수어천 하구의 바다 쪽에 위치한 정점들에서는 니질 함량이 80% 이상을 차지하였으나, 강을 거슬러 올라가면서 사질과 역질 함량이 급격히 증가하였다.

퇴적물 환경 요인

퇴적물 내 유기물 함량, AVS, 저서미세조류의 생물량 변화는 Fig. 4와 같다. 유기물함량의 변화를 살펴보면 Saline Water Zone에서 가장 높은 함량을 보이고, Brackish Water Zone에서는 계절 변동이 비교적 심하나 2012년 7월을 제외하고는 함량이 비교적 낮았으며, Fresh Water Zone에서 가장 낮은 함량을 보였다.

황화물량 역시 Saline Water Zone에서 가장 높은 값을 보이고

Fig. 4. Temporal and spatial variations of organic matter content, AVS, chl-a and phaeo-pigments of surface sediment in Seomjin River Estuary.

있으나, 시공간 변동이 가장 심하게 나타났으며, Fresh Water Zone에서는 거의 0에 가까운 값을 보였다(Fig. 5). Brackish Water zone에서는 많은 경우에서 0에 가까운 값을 보이기는 하나 정점간, 계절 변동이 상대적으로 심하게 나타났다. 여름철에 AVS가 가장 높은 값을 보였으며, 정점간 변동 역시 가장 심하게 나타났다.

저서미세조류의 생물량(Chl-a 량) 변동은 다른 저서환경요인들과는 반대의 경향을 보였다. 즉 단위면적당 엽록소-a량은 Saline Water zone에서 섬진강을 거슬러 Fresh Water zone으로 가면서 증가하였으며, 정점간, 계절변동 역시 증가하였다. 반면 Phaeopigments 함량은 지역간, 계절간 특징적인 경향이 없이 무작위적 변동을 보이고 있다. 단지 2012년 4월과 7월에 다른 계절에 비해 높은 값을 보였다.

저서다모류 군집

저서다모류 출현종수 및 서식밀도: 섬진강 하구역에서 출현한 저서다모류의 출현종수 및 서식밀도의 시·공간 변동은 Fig. 5와 같다. 사계절 모두 Saline Water Zone에서 정점당 30~40종 정도로 가장 높은 출현종수를 보였으며, Brackish Water Zone으로 갈수록 점점 감소하여 정점당 10종 내외만이 출현하였다. 그리고 Fresh Water Zone으로 갈수록 출현종수는 더욱 감소하여 정점당 1~2종에 불과하였다. 기수역을 중심으로 염분농도가 낮아질수록 해양성 종(marine species)들의 출현종수가 감소함은 잘 알려져 있는 사실이다(McLusky, 1971, 1981).

서식밀도의 경우 역시 Saline Water Zone에서는 높은 서식밀도를 보였으며 Brackish Water Zone으로 갈수록 감소하였고 Fresh

Fig. 5. Temporal and spatial variations in species number and density of benthic polychaetes in Seomjin River Estuary.

Table 1. Mean density(ind./m²) of dominant polychaetes above 5.0 percentage among total individual number collected in the study area.

Species name	Apr., 2012	Jul., 2012	Oct., 2012	Feb., 2013
<i>Lumbrineris longifolia</i>	167(20.0%)	92(18.4%)	113(17.8%)	177(11.3%)
<i>Hediste</i> sp.	124(14.8%)	38(7.6%)	-	-
<i>Prionospio cirrifera</i>	119(14.2%)	67(13.3%)	221(35.0%)	882(56.3%)
<i>Praxillella affinis</i>	55(6.6%)	-	-	-
<i>Tharyx</i> sp.	46(5.5%)	56(11.1%)	46(7.3%)	89(5.7%)
<i>Tylorrhynchus</i> sp.	-	-	45(7.2%)	-

Fig. 6. Seasonal and spatial distribution of dominant polychaetous species mainly occurred in Saline Water Zone.

Water Zone에서는 매우 낮은 서식밀도를 보였다. 그런데 Brackish Water Zone의 경우 계절 변동이 매우 심하여 2013년 2월에는 매우 높은 서식밀도를 보였다. 이는 *Prionospio cirrifera*의 극우점 출현에 의한 것이다.

저서다모류 우점종

섬진강 하구역에서 출현한 저서다모류 중 매 계절 상위 5.0%의 점유율을 보이는 우점종은 총 6종이었다(Table 1). 이 중 *Lumbrineris longifolia*, *Prionospio cirrifera*, *Tharyx* sp.는 매 계절 주요 우점종으로 출현하였다. 그 외에 *Hediste* sp., *Praxillella affinis*, *Tylorrhynchus* sp.가 조사 시기에 따라서 우점종으로 출현하기도 하였다.

상위 2.0% 이상 출현한 우점종의 지역적 분포 양상을 살펴보면 Fig. 6-Fig. 8과 같다. 각 우점종들은 특징적으로 분포하는 해역이 뚜렷이 구분되었다. Saline Water Zone의 대표적인 종은 *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp.이었다(Fig. 6). 그 외에 *Paraprionospio* sp., *Ampharete arctica*, *Melinna* sp. 등이 서식밀도가 높았으며, *Praxillella affinis*, *Sternaspis scutata*, *Clymenella koreana*도 계절에 따라 Saline Water Zone에서 우점하였다(Kang, 2014). Saline Water Zone에서부터 Brackish Water Zone까지의 해역에 폭넓게 걸쳐 출현하는 종은 *Prionospio cirrifera*, *Heteromastus filiformis*, *Aricidea* sp.의 3종이었으며(Fig. 7), 이 중 *Prionospio cirrifera*가 조사기간

동안 가장 높은 서식밀도를 보이고, 가장 많은 정점에서 출현하는 다모류이었으며, 특히 Brackish Water Zone에서의 서식밀도가 매우 높았다. 그리고 Brackish Water zone의 내륙쪽 정점 일부와 Fresh Water Zone에서는 특징적으로 *Tylorrhynchus* sp., 가 우점 출현하였다(Fig. 8).

본 연구의 대상 동물군인 저서다모류는 해양성 동물이기 때문에 본 조사지역에서도 Saline Water Zone과 Brackish Water Zone에서 주로 서식하고 있다. 섬진강 내부로 강을 따라 올라가면서 4계절 평균적으로 정점 19 정도의 지역까지 저서다모류가 주로 서식하고 있다. 저서다모류 중 *Hediste* sp.는 담수의 영향을 많이 받는 기수역에 주로 서식하는 종으로 잘 알려져 있으며, 국내에서도 기수역에서 출현이 많이 보고되고 있다(Yoon *et al.*, 1986; Hong *et al.*, 2000; Shin *et al.*, 2001; Kwon *et al.*, 2002; Lim and Hong, 2002; Lim *et al.*, 2012). 섬진강을 대상으로 한 본 연구에서는 정점 24까지 서식이 확인되었다. 즉 섬진강 내 하동읍을 지나 금천 인근 지역까지 해수의 영향이 미치고 있음을 의미한다. 실참갯지렁이류인 *Tylorrhynchus* sp. 역시 낙동강 하구의 기수역에서 우점종으로 출현하고 있음이 보고된 종으로(Yoon *et al.*, 1986, 1987) 섬진강을 끼고 있는 광양만 일대에서는 그 서식이 확인되지 않았던 종이나, 인근의 순천만 갯벌에서 서식이 확인되기도 하였다(미발표자료).

버들갯지렁이과(Family Capitellidae)에 속하는 두 종 *Mediomastus*

Fig. 7. Spatial distribution of dominant polychaetous species mainly occurred between Saline Water Zone and Brackish Water Zone.

Fig. 8. Spatial distribution of dominant polychaetous species mainly occurred between Brackish Water zone and Fresh Water Zone.

sp.와 *Heteromastus filiformis*가 본 연구 지역에서 주요 우점종으로 출현하였다. *Mediomastus* sp.는 염도가 높은 해양 쪽의 Saline Water

Zone에서만 집중적으로 출현하고 있는데 비해서, *H. filiformis*는 Saline Water Zone과 Brackish Water Zone에 걸쳐서 폭넓게 출현

Fig. 9. Dendrogram of cluster analysis and ordination of nMDS showing the station-similarity based on the species composition of benthic polychaetous communities in Seomjin River Estuary during study period.

하고 있다. 이는 동일한 버들갯지렁이과에 속하지만 *H. filiformis*가 *Mediomastus* sp.보다 염도 및 퇴적환경에 대한 내성 범위가 넓은 광염성 종(euryhaline species)임을 의미한다고 볼 수 있다. 특히 *H. filiformis*는 국내 연안역의 세립질 퇴적환경이 형성된 갯벌조간대 및 천해 조하대 지역에 폭넓게 서식하고 있음이 보고된 것으로 본 연구에서는 염도에 대한 내성 범위도 매우 넓은 것을 확인하였다. 서해 외탄천(Lim and Hong, 2002), 섬진강 지류인 수어천(Lim et al., 2012)에서의 조사에서도 *H. filiformis*가 넓은 염

도 범위에서 폭 넓게 출현함을 보고하고 있다.

저서다모류는 아니지만 담수에 서식하는 수서곤충(유충 포함)은 정점 24에서 정점 19까지의 Fresh Water Zone에 주로 분포하고 있으며, 낮은 밀도이지만 정점 14까지 출현하기도 하였다(Kang, 2014). 즉 하동을 약간 북쪽의 정점 19가 위치하는 지역이 해양성 저서동물과 담수성 저서동물의 서식 분포 교차역이라고 할 수 있다. 그리고 섬진강 특산종인 기수재첩 *Corbicula japonica*의 경우, 주로 Brackish Water zone에서 Fresh Water Zone에 걸쳐 출현하였다

(Kang, 2014). 즉 정점 12에서 정점 22까지의 해역에서 주로 서식하고 있으며, 계절에 따라 하류로는 진월 아래 해역에 위치하는 정점 10까지, 상류로는 금천 인근의 정점 24까지의 수역에서 출현하기도 하였다.

군집분석

섬진강 하구역에서 채집된 저서다모류의 출현종 구성과 정점간 유사도지수에 근거하여 집괴분석(Cluster Analysis) 및 비계량적 다차원척도법(non-metric Multidimensional Scaling)을 실시한 결과는 Fig. 9와 같다. 4계절 모두 집괴분석 및 다차원척도법에 의한 정점군 구분이 유사하게 나타났다. 모든 계절에서 Saline Water Zone과 Fresh Water Zone에 위치하는 정점들은 각각 대표적인 하나의 정점군으로 구분되었다. 반면 Brackish Water Zone의 경우는 계절에 따라 2~3개의 정점군으로 세분되었다. 즉 Saline Water Zone과 Fresh Water Zone은 각각의 특징적인 해양과 담수의 환경이 안정적임을 의미하며, Brackish Water Zone은 공간적인 환경 및 생물군집 조성의 변이가 상당히 심함을 단적으로 보여주는 현상이다.

2012년 4월과 7월, 10월은 각각 5개의 정점군으로 구분이 가능하였다. Saline Water Zone과 Fresh Water Zone은 각각 한 정점군으로 분리되었지만, Brackish Water Zone은 3개의 정점군으로 세분되었다.

2013년 2월은 4개의 정점군으로 구분되었는데, *Tylorrhynchus* sp.가 극우점 출현한 정점 17이 독립된 하나의 정점군으로 분리되었으며, Saline Water Zone, Brackish Water Zone, Fresh Water Zone이 각각 하나의 정점군으로 분리되었다.

매 계절 Saline Water Zone에 위치하는 정점군은 출현종수가 많고, *L. longifolia*, *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp., *P. affinis* 등이 우점하는

군집이 형성되어 있다. 반면 Fresh Water Zone에 위치하는 정점군은 출현종수가 매우 적고, *Hediste* sp. *Tylorrhynchus* sp.가 극우점 출현하기 때문에 우점도지수가 매우 높은 값을 보이고, 종다양도지수 및 종균등도지수는 매우 낮은 값을 보이는 특징적인 군집이 형성되어 있다. Brackish Water Zone의 경우, 계절에 따라 주요 우점종들이 계속 바뀌고 있으며, 서식밀도의 변화도 매우 심하게 나타나는 등 각기 다른 특성을 보이는 군집들이 시·공간적으로 뒤섞여 나타나고 있다. 즉 시공간적 환경의 변화가 매우 심하기 때문에 저서다모류군집상도 큰 변화를 보이는 것으로 여겨진다.

환경요인 및 저서다모류군집의 상관관계

저서환경요인과 저서다모류군집 지수간 Pearson의 상관계수:

섬진강 하구역의 환경요인(수온, 염분, 용존산소, pH, 유기물, 황화물량, 입도조성, 저서미세조류의 생물량)과 저서다모류군집(출현종수, 우점종, 서식밀도, 다양도지수, 풍부도지수, 균등도지수, 우점도지수)간 Pearson 상관 관계를 살펴보면 Table 2와 같다. 연구지역을 3개의 지역(Saline Water Zone, Brackish Water Zone, Fresh Water Zone)으로 명확하게 나누는데 기여한 대표적 환경요인인 염분이 다른 요인들과 높은 상관관계를 보였다. 염분은 출현종수 및 서식밀도와 양의 상관관계를 보여주고 있는데 이는 Saline Water Zone에서 Fresh Water Zone으로 갈수록 출현종수와 서식밀도가 감소하는 현상을 의미한다. Fresh Water Zone으로 가면서 수치가 높아지는 대표적인 요인인 용존산소, 사질함량, 역질함량의 경우 대부분의 생물군집 특성 지수들과 역 관계를 보이고 있다. 이를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

Mud 함량, 평균입도, 유기물함량은 출현종수와 양의 상관관계를, 반면 Sand 함량은 출현종수와 음의 관계를 보이고 있는데, 이는

Table 2. Pearson's correlation coefficients between environmental factors and ecological characteristics of benthic polychaetous community in Seomjin River Estuary

	Temp.	Sal.	DO%	O.C	AVS	Chl-a	pH	Gravel	Sand	Mud	Mø
No. of Species	-.081	.726**	-.356**	.681**	.183	-.217*	.218*	-.246*	-.598**	.654**	.703**
Mean Density	-.274**	.496**	-.251*	.218*	-.097	-.156	.197	-.202*	-.105	.164	.228*
Diversity (H')	.206	-.102	.352**	-.008	-.007	-.035	.136	.012	-.070	.063	.034
Richness (R)	.138	-.127	.345**	-.021	-.037	.054	.112	.017	-.068	.059	.025
Evenness (J)	.238*	.043	.223*	.104	.120	-.154	.282*	-.115	-.099	.130	.135
Dominance (D)	.206	-.602**	.122	-.700**	-.329**	.029	-.038	.111	.679**	-.688**	-.737**
<i>A. arctica</i>	-.066	.326**	-.160	.381**	.127	-.103	.088	-.094	-.324**	.342**	.359**
<i>Aricidea</i> spp.	-.079	.398**	-.179	.328**	.109	-.098	.145	-.126	-.296**	.325**	.367**
<i>C. koreana</i>	.037	.149	-.037	.006	-.018	-.063	.055	-.073	.022	.001	.020
<i>H. filiformis</i>	-.109	.350**	-.148	.281**	.105	-.056	-.011	-.174	-.240*	.286**	.312**
<i>L. longifolia</i>	-.071	.412**	-.211*	.481**	.035	-.138	.136	-.071	-.411**	.419**	.434**
<i>Mediomastus</i> sp.	-.025	.332**	-.185	.402**	-.022	-.110	.111	-.074	-.329**	.340**	.348**
<i>Melinna</i> sp.	-.170	.328**	-.175	.272**	-.025	-.097	.122	-.012	-.250*	.245*	.274**
<i>Hediste</i> sp.	.010	-.276**	-.085	-.155	-.104	.068	.132	-.084	.197	-.164	-.152
<i>P. affinis</i>	-.007	.219*	-.065	.084	.020	-.088	.071	-.101	-.051	.081	.105
<i>Paraprionospio</i> sp.	-.195	.362**	-.151	.417**	.050	-.087	.112	-.097	-.329**	.347**	.380**
<i>P. cirrifer</i>	-.285**	.232*	-.072	-.182	-.130	-.075	.026	-.130	.246*	-.197	-.143
<i>S. scutata</i>	.105	.240*	-.171	.324**	.307**	-.070	.117	-.122	-.290**	.317**	.315**
<i>Tylorrhynchus</i> sp.	-.047	-.252*	.120	-.068	-.087	-.014	.240*	-.009	.077	-.071	-.051
<i>Tharyx</i> sp.	-.063	.317**	-.173	.405**	.071	-.099	.113	-.045	-.375**	.376**	.373**

*Significant correlations are denoted at the: *0.05% level, ** 0.01% level.

Fig. 10. Distribution of environmental and polychaetous community factor loading by PCA in the study area.

Fresh Water Zone에서 Saline Water Zone으로 가면서 Sand 함량은 감소하고, Mud 함량, 평균입도, 유기물함량은 증가하면서 출현종수는 증가하기 때문이다.

우점종 중 *L. longifolia*, *Mediomastus* sp., *Tharyx* sp. 등은 염도를 비롯하여 니질함량, 평균입도 및 유기물함량 등과 상대적으로 높은 정 상관관계를 보이고 있다. 이는 이 종들이 Saline Water Zone을 중심으로 우점 출현함을 의미하는 것이다. *Hediste* sp.와 *Tylorrhynchus* sp.만 염분과 음의 상관관계를 보이고 있는데, 이는 이 두 종이 염도가 낮은 Fresh Water Zone에서 집중적으로 출현함을 의미한다. 생태지수에서 우점도는 염분과는 높은 음의 상관관계를 보였는데, 이는 염분이 낮아지는 Fresh Water Zone으로 갈수록 *Hediste* sp.와 *Tylorrhynchus* sp 같은 종의 서식밀도만이 특징적으로 높아지기 때문이다.

저서환경요인과 저서다모류군집 지수간 주성분 분석(PCA): 섬진강 하구역에서 11개의 환경요인(수온, 염분, 용존산소, pH, 유기물, 황화물량, 입도조성, 저서미세조류의 생물량, pH, 자갈(Gravel) 함량, 사질(Sand)함량, 니질(Mud)함량, 평균입도)과 저서다모류군집간 상관관계를 파악하기 위하여 주성분분석(PCA)을 실시하였

다(Fig. 10). 주성분 도출은 누적 기여율 70% 이상을 기준으로 제 8성분까지 도출되었으며(제1주성분은 전체 분산에 대해 32.08%, 제2주성분은 10.10%의 기여율), 제5주성분까지의 고유값(eigenvalue)은 $PC=9.302PC1+2.930PC2+2.372PC3+2.081PC4+1.665PC5$ (Cumulative %=61.92)와 같다.

이상의 결과들로부터 각 항목별 인자부하량(factor loading)의 분포는 Fig. 10과 같고, 제1주성분은 전체 분산에 대해 32.08%의 기여율을 보이며, Saline Water Zone에 출현하는 *Melinna* sp., *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp., *Aricidea* spp., *Ampharete artica*, *Clymenella koreana*, *Paraprionospio* sp., *Praxillella affinis*, *H. filiformis*, *S. scutata*는 염분, 평균입도, Mud 함량, 유기물함량 등과 높은 정 상관관계를 보였다. 반면 Brackish Water Zone, Fresh Water Zone에 출현하는 *Tylorrhynchus* sp., *Hediste* sp., *Prionospio cirrifer*는 이들 요인과는 역상관관계를 보였으며, Sand 함량, Gravel 함량, DO와 정 상관관계를 보이고 있다. 즉 Saline Water Zone, Brackish Water Zone, Fresh Water Zone은 각각 독립적인 저서다모류군집이 형성되어 있으며, 역시 독특한 환경이 형성되어 있음을 단적으로 보여주고 있다. 특히 염도와 생태지수 중 종다양

도지수(H'), 중균등도지수(J), 중풍부도지수(R)과는 밀접한 관계를 보이고 있다. 즉 Saline Water Zone의 다모류군집이 다양한 종조성을 보이고, Fresh Water Zone으로 가면서 단순해짐을 의미한다.

국내에서 하구역 저서동물군집상에 관한 연구 결과는 많지 않으나, 이 중 저서동물군집의 공간적 분포에 영향을 미치는 환경요인으로 주로 퇴적상(Yoon *et al.*, 1986, 1987, 2009; Choi and Koh, 1994; Hong and Yoo, 1996; Lee *et al.*, 2005; Lim and Hong, 2002; Lim *et al.*, 2012), 염도 및 담수 유입(Hong and Yoo, 1996; Lim and Hong, 2002; Lim *et al.*, 2012), 용존산소(Hong *et al.*, 2000), 유기물함량(Lee *et al.*, 2005) 등이 주로 보고되었다. 하구역을 대상으로 한 연구들임에도 불구하고 조사 해역이 주로 해양 쪽에 치우친 연구가 주로 진행되었으며, 따라서 그 결과 염도 구배에 따른 영향보다는 퇴적상의 영향을 거론한 연구 결과들이 많았다. 그러나 본 조사는 30 psu 이상의 해양 쪽 조사 해역에서부터 0 psu에 가까운 담수역까지 현장조사를 하였기 때문에 퇴적상 뿐만이 아니라 염도가 매우 중요한 환경 요인임을 확인할 수 있었다.

참고문헌(References)

- Bilyard, G.R., 1987. The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Pollut. Bull.*, **18**: 581–585.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 325–349.
- Choi, J.W. and C.H. Koh, 1984. A study of the polychaetous community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **19**(2): 153–162.
- Choi, J.W. and C.H. Koh, 1994. Macrobenthos community in Keum-Mankyung-Dongjin estuaries and its adjacent coastal region, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **29**(3): 304–318.
- Choi, J.W., O.H. Yu and W.J. Lee, 2003. The summer spatial distributional pattern of macrobenthic fauna in Gwangyang Bay, southern coast of Korea. *「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **8**(1): 14–28.
- Day, J.H., 1981. The estuarine macrofauna. In: *Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa*, edited by Day, J.H., Beukema, Reterdam, pp.147–178.
- Hong, J.S., I.S. Seo, C.G. Lee, S.P. Yoon and R.J. Jung, 2000. An ecological feature of benthic macrofauna during summer 1997 in Namdaechon Estuary, Yangyang, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, **33**(3): 230–237.
- Hong, J.S. and J.W. Yoo, 1996. Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han Estuarine Bay and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **31**(4): 217–231.
- Jung, R.H., 1996. Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyan Bay, Korea. PhD Thesis. Inha University.
- Kang, S.H., 2014. Temporal and spatial distribution of benthic polychaetous community in the Seomjin River Estuary. MS Thesis. Chonnamnam National University, 61pp.
- Kim, Y.H. and H.C. Shin, 2010. A benthic polychaete assemblage off the Korean South Coast (Gwangyang Bay and Yeosu Sound). *Fish. Aqua Sci.*, **13**(2): 157–166.
- Kwon, K.Y., C.H. Kim, C.K. Kang, C.H. Moon, M.O. Park and S.R. Yang, 2002a. Limiting nutrients for phytoplankton growth in the Seomjin River Estuary as determined by algal bioassay experiment. *J. Kor. Fish. Soc.*, **35**(5): 455–462.
- Kwon, K.Y., D.H. Moon, C.K. Kang and Y.N. Kim, 2002b. Distribution of particulate organic matters along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary. *J. Kor. Fish. Soc.*, **35**(1): 86–96.
- Kwon, K.Y., C.H. Moon and H.S. Yang, 2001a. Behavior of nutrients along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary. *J. Kor. Fish. Soc.*, **34**(3): 199–206.
- Kwon, K.Y., C.H. Moon, J.S. Lee, S.R. Yang, M.O. Park and P.Y. Lee, 2004. Estuarine behavior and flux of nutrients in the Seomjin River Estuary. *「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **9**(4): 153–163.
- Kwon, K.Y., P.G. Lee, C. Park, C.H. Moon and M.O. Park, 2001b. Biomass and species composition of phytoplankton and zooplankton along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary. *「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **6**(2): 93–102.
- 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*, **27**(2): 135–148.
- Lim, H.S. and J.S. Hong, 2002. Spatial distribution of macrozoobenthos along the salinity gradient and sedimentary environment in the Watancheon Estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea. *「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **7**(1): 8–19.
- 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」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **17**(2): 76–86.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**: 343–346.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 157–175.
- McLusky, D.S., 1971. *Ecology of estuaries*. Heinemann Publ., London, 144pp.
- McLusky, D.S., 1981. *The estuarine ecosystem*. Blackis and Son Limited. 215pp.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grassland. *Ecology*, **49**: 962–972.
- Park, M.O., C.H. Moon, S.Y. Kim, S.R. Yang, K.Y. Kwon and Y.W. Lee, 2001. The species composition of phytoplankton along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary in Autumn, 2000: Comparison of HPLC analysis and microscopic observations. *Algae*, **16**(2): 179–188.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *T. Theoret. Biol.*, **13**: 131–144.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois, Press, Urbana. 177pp.
- Shin, H.C. and C.H. Koh, 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **25**(4): 205–216.
- 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」 J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **6**(3):

- 180–189.
- Yang, S.R., H.S. Song, K.C. Kim, C. Park and C.H. Moon, 2005. Changes in environmental factors and primary productivity in the Seomjin River Estuary. 「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr., **10**(3): 164–170.
- Yoon, I.B., K.S. Bae and D.S. Kong, 1987. A Study on the physicochemical factors and macrozoobenthos community structure in Nakdong Estuary. J. Kor. Soc. Limnol., **20**(2): 73–99.
- Yoon, I.B., K.S. Bae, Y.J. Bae, S.J. Aw and K.H. Kim, 1986. A Study on the benthic macroinvertebrate community structure according to the four seasons in the Nakdong Estuary. J. Kor. Soc. Limnol., **19**(3): 19–38.
- 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. Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. 「The Sea」 J. Kor. Soc. Oceanogr., **14**(2): 102–117.

2014년 9월 2일 원고접수

2014년 10월 15일 수정본 접수

2014년 11월 25일 수정본 채택

담당편집위원: 박 철