광양만 북부 수어천 하구역의 여름철 대형저서동물 공간분포

임현식^{1,*} · 최진우² · 최상덕³

¹목포대학교 해양수산자원학과

²한국해양연구원 남해특성연구부

³전남대학교 양식생물학과

Spatial Distribution of Macrobenthos in Sueocheon Stream Estuary at the Northern Part of Gwangyang Bay, Korea

HYUN-SIG LIM^{1,*}, JIN-WOO CHOI² AND SANG-DUK CHOI³

¹Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan, Jeonnam 534-729, Korea

²South Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI),
391, Jangmok, Goeje 656-830, Korea

³Department of Aquaculture, Chonnam National University, Yeosu, Jeonnam 550-749, Korea

광양만 북측으로 유입되는 수어천 하구역에 서식하는 대형저서동물의 여름철 공간분포 양상을 파악하고자, 2009년 8월에 24개 조사정점을 선정하여 현장조사를 수행하였다. 조사는 저서생태계의 생태학적 과정(ecological process)이 극대화되는 여름철에 이루어졌다. 소형 van Veen grab(0.05 m²)을 사용하여 매 정점당 2회씩 퇴적물을 정량 채집하여 분석한 결과 출현한 대형저서동물은 총 44종이었고, 평균 밀도는 789 ind./m²였다. 연체동물이 밀도(43.1%)와 생체량(86.8%)에서 가장 우점한 동물 분류군이었으며, 연체동물의 *Corbicula japonica*(40.7%), 다모류의 *Neanthes japonica*(19.3%), *Heteromastus filiformis*(8.1%), 갑각류의 *Paranthura japonica*(6.9%), *Jaeropsis* sp.(6.9%) 등이 주요 우점종이었다. 수어천 하구역 정점에서 출현한 대형 저서동물 군집의 종다양도는 평균 1.12±0.47로 낮았으나, 하구역 입구에서는 상대적으로 높은 다양도를 보였다. 하구역 상부역에 위치한 정점들에서는 기수성 이매패류인 *Corbicula japonica*가 높은 밀도로 출현하였다. 수어천의 전반적인 저서생물상은 강 입구역에서는 세립질 퇴적물과 해수의 영향으로 다양한 생물상을 가진 반면 상부로 올라가면서 조립질 퇴적물과 담수의 영향을 크게 받아 소수의 기수종만이 출현하는 다소 단순한 조성을 가진 군집을 나타낸다.

Macrozoobenthos were collected from 24 sites using small grab (0.05 m²) in order to see the spatial distribution of them at Sueocheon stream at the northern part of Gwangyang Bay during summer season when the maximum ecological processes are occurring. A total of 44 species of macrozoobenthos occurred, and their mean density was 789 individuals/m². Mollusks was the dominant faunal group accounted for 43.1% and 86.8% of the whole community density and biomass, respectively. Top five dominant species were a molluscan, *Corbicula japonica* (40.7%), two polychaete worms, *Neanthes japonica* (19.3%) and *Heteromastus filiformis*(8.1%), and two crustaceans, *Paranthura japonica* (6.9%) and *Jaeropsis* sp. (6.9%). Species diversity index was very low with mean value of 1.12 and maximum value was recorded at the river mouth. At the upper stream, a brackish water species such as *Corbicula japonica* showed their maximum population density. The overall distribution of stream macrobenthos showed a rather simple pattern along with salinity and grain size gradients with few brackish water species occurring at coarse sediments in the stream but more diverse faunas inhabiting fine sediments in the river mouth.

Key words: macrobenthos, brackish water, Sueochon, estuary, salinity, sediment

서론

하구역은 해수와 담수가 자유롭게 혼합되는 해역으로 생산성이 높으며, 계절적으로 수온 및 염분농도의 변화가 심한 해역이다. 담수와 해수가 혼합되는 하구역은 육상으로부터 운반되는 유기물로

인해 담수나 해양환경에 비해 영양염이 풍부하기 때문에 동식물 모두 높은 생산력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 여기에 서식하는 저서동물들은 담수 생물들은 거의 없고 해양생물들이 대부분을 차지하고 있지만, 주변 해양에 서식하는 저서동물들에 비해 종 수는 극히 적어 약 10% 이하인 경우도 있다. 그러나 하구역에서는 저서동물의 출현종수는 매우 빈약하지만 밀도는 높을 때도 많다(Day, 1981).

*Corresponding author: hslim@mokpo.ac.kr

연안역에서 저서동물의 공간 분포에 영향을 미치는 환경 요소에는 퇴적상을 비롯하여 퇴적물 내의 유기물 함량, 저층용존산소량 등이 있다. 그러나 담수가 정기적으로 유입되는 하구역에서는 1차적으로 염분구배에 따라 저서동물의 공간분포가 달라지며, 유사한 염분 조건하에서는 퇴적상이 공간분포에 영향을 미치게 된다(Copland and Bechtel, 1974)

우리나라 주변에는 다양한 크기의 강과 하천으로부터 담수가 해양으로 유입되고 있다. 그러나 대부분 하구역은 농업 및 산업용수 확보, 홍수조절을 목적으로 해양과 인접하는 장소에 하구둑과 수문이 건설되어 있어 해양으로 유입되는 담수 유입량이 적거나 비정기적으로 유입된다. 담수 유입으로 인한 염분 저하는 하구역에서 서식하는 저서동물 분포에 영향을 미치게 되고, 특히 풍수기인 여름철과 갈수기인 겨울철에는 염분 농도 구배가 더욱 뚜렷해져 여기에 서식하는 생물들이 더 큰 영향을 받을 가능성이 있다.

우리나라의 하구역 주변에서 하구역의 환경 특성인 염분 및 퇴적상과 관련하여 저서동물 군집을 체계적으로 연구한 예는 많지 않다. Hong and Yoo(1996)는 한강 하구역인 영종도 주변의 광범위한 해역에 걸쳐 저서군집과 환경 요인들을 동시에 조사하고, 염분과 퇴적상의 공간적 차이가 저서동물 군집의 공간분포를 결정하는 중요한 환경 요소임을 지적하였다. 그러나 이 연구에서는 염분 구배에 따른 구체적인 저서동물상의 변동을 제시하지는 못하였고 공간 분포 차이만을 통계적으로 제시하였다. 한편 홍 등(2000)은 동해안에 위치한 소규모 하천인 양양 남대천 하구역에서 저서동물 분포와 반폐쇄적인 하구 환경과의 관계를 논하면서, 염분 농도의 차이와 수심이 깊은 장소의 경우 고염의 해수 정체로 인해 발생하는 여름철 빈산소 등에 의해 저서동물 분포가 조절된다고 보고하였다. 낙동강 하구역의 경우 하구역 인근의 정점들에서는 퇴적상에 의해 저서동물 군집이 영향을 받고 있음이 파악되었다(이 등, 2005). 또한 임과 홍(2002)은 소규모 하천인 영광군 와탄천 하구역에서 저서동물의 분포 특성을 연구하면서 염분과 퇴적상과의 관계를 상세히 논하였다.

우리나라의 경우 대형 및 중형 하천들은 대부분 하구둑으로 막혀 있어 하구역 고유의 특성은 거의 찾아보기 어렵다. 그러나 소형 하천의 경우 하구둑이 없어 염분 구배가 뚜렷하고 저서동물의 공간분포 특성도 뚜렷하여 하구역을 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 본 논문은 광양만 북부에서 만대로 유입되는 소형 하천인 수어천 하구역에서 수층과 퇴적환경 요소의 변화에 따른 대형저서동물의 군집구조와 공간분포특성을 파악하여 하구역의 저서동물 군집의 분포 특성을 이해하고자 하였다.

조사지역의 개황

수어천은 전라남도 광양시 다압면 백운산 어치 계곡에서 발원하여 광양시 진상면 삼거리에 건설된 수어댐을 거쳐 지원교, 금천교, 수어천교를 지나 옥곡천과 합류하여 광양만에 이르는 지방 2급 하천이다. 유역 면적은 119.9 km²이며, 하천길이는 25.8 km로서 총 유로연장 36.3 km에 달한다. 수어천 하구역은 상류의 댐 건설과 광양만의 매립 등 인위적인 변화에도 불구하고 하구둑이 없어 해수의 자유로운 출입이 가능해 하구역 본래의 모습을 갖추고 있다. 수어천 하구역의 연평균 기온은 12.5~14.1 °C이며, 1월 평균

기온은 -0.5~2.2 °C, 8월 평균 기온은 27.8 °C이다. 연평균 강수량은 1407.5~1489.9 mm로서 우리나라 다우지 가운데 하나이다. 연강수량의 50% 이상이 6~8월에 집중되며 겨울에는 강수가 적고 건조하다(국립환경과학원 국토생태탐방포털, <http://ecosystem.nier.go.kr>).

수어천 하구역은 수어천 상류에 댐과 보가 있으나, 하구둑이 없어 하류에는 해수 출입이 자유로우며 갯벌이 넓게 드러난다. 지원교(광양시 진상면) 아래의 보가 밀물시 바닷물이 미치는 상한선으로 알려져 있다. 이처럼 수어천 하구역은 넓은 갯벌과 수변 염습지가 잘 발달해 있고 기수역의 특징을 고스란히 간직하고 있어, 멸종위기종인 붉은발말뚝개와 기수갈고둥을 비롯해 일본재첩, 기수우렁이, 기수성 열새우류 등 기수역 고유의 저서무척추동물상이 잘 보존되어 있는 것으로 알려져 있다. 본래 수어천은 해수와 담수를 왕래하는 2차 담수어인 송어와 은어가 떼지어 살던 곳으로 인근 주민들은 송어가 많이 사는 천이라 하여 ‘송애천’이라 불렀고 물이 깊은 곳을 ‘송애쑈’라 불렀다. 수어천의 ‘수어’(水漁)란 이름도 고서에서 송어를 ‘秀漁’ 또는 ‘水漁’라고 표기한데서 연유한 것으로 추정된다(국립환경과학원 국토생태탐방포털, <http://ecosystem.nier.go.kr>).

재료 및 방법

광양만 북측으로 유입되는 수어천 하구역 대형저서동물의 분포 특성을 파악하고자 저서생태계의 생태학적 과정(ecological process)이 극대화되는 여름철인 2009년 8월에 현장조사가 수행되었다. 하구역 입구에 해당되는 금호도 및 태인도 주변에서부터 강 상류를 향해 갯벌을 포함하여 정점을 정하였고, 조사 정점수는 총 24개이다(Fig. 1).

저서동물의 채집은 갯벌과 수어천 상류로 소형선박의 운항이 가능한 대조시 만조 때 실시되었으며, 소형 van Veen grab(표면적 0.05 m²)을 사용하여 매 정점당 2회씩 퇴적물을 정량 채집하였다. 채집된 퇴적물은 1 mm 체로 체질한 다음 잔존물을 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 실험실에서 담수로 포르말린을 세척한 다음 저서동물만을 선별하였다. 문(Phylum) 혹은 강(Class) 수준으로 선별된 저서동물은 분류군별로 0.01 g까지 측정할 수 있는 저울을 사용하여 습중량을 측정하였다. 시료는 가능한 중 수준까지 동정하였으며, 중 수준까지 분류가 어려운 종들은 상위분류군까지 동정하였다. 동정된 분류군은 개체수를 세었으며, 단위면적당(m²) 개체수와 생체량으로 환산하여 분석에 사용하였다. 군집 분석을 위해 중 다양도(Shannon and Weaver, 1963)를 구하였으며, 집괴분석을 통해 정점군을 구분한 다음 특성을 해석하였다.

저서동물의 공간분포 특성을 파악하기 위하여 저질환경 요소인 표층퇴적물의 입도분석과 유기물 함량을 측정하였으며 수질 환경 요소로서 저층수의 수온 및 염분, 용존산소, pH를 측정하였다. 이러한 환경 요소들의 변동과 저서동물의 출현현상과의 상호관계를 파악하기 위해 비모수 통계기법(non-parametric test)인 spearman rank correlation coefficient를 구하였다. 이때 사용된 소프트웨어는 Primer(v. 5.2) 및 SPSS(ver.18)였다.

Fig. 1. A map showing the bathymetry and sampling stations for macrobenthos in the Sueocheon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

결과 및 고찰

환경 특성

수어천 상부에서 하부에 이르는 정점들을 하나의 조사선(transsect)으로 간주하고 나타낸 표층과 저층의 수온, 염분, 용존산소, pH, 퇴적환경요인들의 변화는 Fig. 2에서와 같다. 수온의 경우 만조시에도 수심이 2 m 내외인 수어천 상부에서는 표저층 수온 차이는 거의 없었으며 만 입구에 위치한 정점들에서는 표저층 수온차

Fig. 2. Spatial variations in environmental parameters of bottom water column and surface sediments in Sueocheon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

이가 약간 나타났다. 만 입구역에 위치한 정점 60에서 저층수온이 약간 높은 것을 제외하고는 모든 정점에서 표층수온이 높은 양상이었다. 하구역 상부와 입구역간의 수온 차이도 1 °C 내외로서 거의 차이가 없었다. 그러나 염분의 경우 수어천 입구역에서 상부로 올라가면서 급격히 감소하는 전형적인 하구역의 모습을 보여준다. 입구역에서는 저층염분이 표층염분에 비해 약간 높지만 하구역 상부에서는 염분이 10 psu 이하로 낮아지면서 표저층간의 차이도 없었다. 용존산소는 하구 입구역과 상부역 사이에는 차이가 거의 없

고 표저층수간에도 차이가 거의 없었다. 모든 정점에서 4 mg/L 이상의 값을 보여 내만에서 주로 발생하는 빈산소수괴(hypoxia)는 형성되지 않았다. pH는 하구역 입구역에서는 표저층수간의 차이가 다소 있었으나 상부역에서는 거의 차이가 없었다. 결국 수어천의 수질환경 요소 가운데 염분농도의 경사가 가장 뚜렷하였으며 다른 요소들은 변화가 거의 없었다(Fig. 2).

표층퇴적물의 유기물 함량은 수어천 입구역에서는 8.0% 이상의 높은 값을 보였으나 수어천 상부로 올라가면서 모래함량의 증가와 함께 급격히 감소하여 대부분의 정점들에서 3% 미만의 상대적으로 낮은 값을 보였다. 병목처럼 가늘어지는 정점 36주변을 경계로 수층 및 퇴적환경 변화가 급격히 나타난다. 퇴적물 입도조성은 입구역에서는 실트와 점토 함량이 높으나 정점 36 주변부터 상류로 갈수록 모래 함량이 급격히 증가하면서 최상부역에서는 자갈 함량이 40% 이상을 차지하였다. 전체적으로 보아 수어천의 경우 퇴적환경은 입구역은 세립하고 유기물 함량이 높은 반면 상부로 가면서 조립한 양상을 보이며 유기물 함량도 감소한다. 아울러 염분도 급격히 감소함으로써 전형적인 하구역의 환경을 나타낸다.

수어천 하구역의 환경 특징은 지속적인 담수유입과 하천 상류로부터의 토사의 유입을 들 수 있다. 이러한 결과 상류부에는 자갈의 함량이 높으며 그 아래로는 자갈보다 상대적으로 입경이 작은 모래가 분포하고, 점차 입구역으로 나오면서 펄 함량이 증가한다. 또한 염분은 상부에서는 낮고 입구역으로 오면서 점차 증가하는 양상으로서 염분구배가 매우 뚜렷함을 알 수 있다.

대형저서동물의 출현종 조성

수어천 하구역에서 2009년 8월에 출현한 대형저서동물은 총 44종이었다. 환형동물이 21종으로서 전체 출현종의 48%를 차지하여 가장 우점하였으며, 절지동물이 12종, 연체동물은 10종이 출현하였다(Table 1). 평균 밀도는 759 ind./m²로서 연체동물이 328 ind./m²가 출현하여 가장 우점하였으며(43%), 환형동물은 272 ind./m²(36%)가 출현하였다. 생체량은 개체수 우점분류군인 연체동물이 133 g/m²로서 평균 생체량의 87%를 차지하였다.

공간분포 특성

대형저서동물의 공간분포 특성을 보면 출현종수는 정점 58에서 가장 많은 12종/0.1 m²이 출현하였으나 그 밖의 정점에서는 3종/0.1 m²~9종/0.1 m²의 출현을 보였다(Fig. 3). 다모류는 정점 58에서 9종/0.1 m²이 출현하여 상대적으로 가장 많았으나 여타 정점에서는 1종/0.1 m²~6종/0.1 m²의 분포를 보였다. 수어천 최상부에서는 상대적으로 적은 종수가 출현하였으며, 수어천 입구역에서는 상대적으로 많은 종수의 환형동물이 출현하였다. 연체동물은 출현하지 않은 정점들도 많았는데 정점 33에서 3종/0.1 m²이 출현한

Fig. 3. Spatial distribution of the species number of macrobenthic faunal groups in Sueochon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

Table 1. Number of species, abundance and biomass of macrobenthos in Sueocheon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009

Taxon	No. of species	Abundance(ind./m ²)	Biomass(g/m ²)
Annelida	21(47.7%)	272±453(35.8%)	5.0±5.6(3.3%)
Mollusca	10(22.7%)	328±572(43.2%)	133.5±261.0(86.8%)
Arthropoda	12(27.3%)	160±271(21.0%)	12.9±23.9(8.4%)
Echinodermata	1(2.3%)	1±2(0.0%)	2.4±11.6(1.5%)
Total	44(100.0%)	759±1,027(100.0%)	153.8±257.0(100.0%)

Fig. 4. Spatial distribution of the abundance of macrobenthic faunal groups in Sueochon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

것을 제외하고는 1종/0.1 m²~3종/0.1 m² 범위의 출현종수를 보였다. 그러나 전체 연체동물은 10종이 출현함으로써 각 정점별 연체동물은 공통종이 아닌 서로 상이한 종들이 출현하는 것을 나타낸

Fig. 5. Spatial distribution of the biomass of macrobenthic faunal groups in Sueochon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

다. 절지동물은 정점 16에서 가장 많은 5종/0.1 m²이 출현한 것을 제외하고는 1종/0.1 m²~3종/0.1 m² 범위의 출현을 나타내었다. 저염분에 민감한 것으로 알려진 극피동물은 정점 58에서만 1종/0.1 m²

이 채집되었다.

밀도는 하구역의 상부(head)에 해당되는 정점 1에서 4,690 ind./m²가 출현하였는데 다모류가 2,260 ind./m²로서 40%를 차지하였다(Fig. 4). 이는 기수성 다모류인 *Neanthes japonica*가 2,260 ind./m²의 높은 밀도로 출현하였기 때문이었다. 이 정점에서는 채집도 1,080 ind./m²의 높은 밀도를 보임으로서 기수지역의 특성을 잘 나타내고 있다. 정점 3에서도 2,200 ind./m²가 출현하였는데, 채집이 1,840 ind./m²가 출현하여 대부분을 차지하였다. 정점 7과 9에서도 1,000 ind./m² 이상의 높은 밀도를 보였는데 채집의 밀도 점유율이 90% 이상을 나타내었다. 그 밖의 정점들에서는 100 ind./m² 미만의 밀도를 나타내었다. 수어천 하구역 입구에 해당되는 정점들에서는 60 ind./m² 이하의 밀도로 출현하였다.

생체량의 정점별 분포를 보면 정점 7에서 881.1g/m²이 출현하여 가장 높은 생체량을 보였으며, 연체동물이 99%이상을 점유하였다(Fig. 5). 또한 정점 3에서도 721.1 g/m²의 생체량을 보여 상대적으로 높은 생체량을 보였는데 연체동물의 생체량 점유율이

99%를 상회하였다. 정점 16에서는 104.4 g/m²이 출현하였는데 갑각류의 생체량 점유율이 99%를 차지하였으며, 정점 46에서는 2.5 g/m²으로서 상대적으로 낮은 생체량을 보였다. 생체량은 연체동물인 채집의 밀도가 높은 정점들에서 500 g/m² 이상의 높은 값을 보였으며 채집의 생체량이 90% 이상을 차지하였다. 그 밖의 정점들에서는 100 g/m²의 낮은 생체량을 나타내었다.

군집의 종 다양도는 평균 1.12±0.47로서 낮았으며 상부역(head)에서 낮고 입구역(mouth)에서 상대적으로 높은 양상을 보여준다. 특히, 수어천 하구역 입구에 위치한 정점 58과 60에서는 상대적으로 높은 값이었으며(H'=2.22 및 2.03) 여타 정점들에서는 2.0 미만의 값을 나타내었다.

수어천 하구역의 대형저서동물 분포 특징은 담수의 영향으로 염분이 상대적으로 낮고 자갈의 함량이 높은 상부역에서 기수성 다모류 및 갑각류의 출현과 생체량이 큰 채집의 출현으로 인해 높은 출현밀도와 생체량을 보인 반면, 출현종수는 상대적으로 적고 종 다양도도 낮았다. 이러한 저서동물 분포 특징은 하구역의 환경

Table 2. Spearman rank correlation coefficients between environmental and biological variables from Sueocheon stream estuary at northern Gwangyang Bay in August, 2009

	Water column					Surface sediment				
	Temp.	Sal.	DO (mg/L)	pH	IL(%)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt(%)	Clay (%)	Mean phi Sorting (phi)
Temp.(°C)		-.602*								
Salinity(psu)	-.602*				.742**	-.878**		.844**	.805**	.940**
DO(mg/L)										
pH							-.648*	.635*	.626*	.557*
Species number										
Annelida									.624*	.589*
Mollusca		-.678*				.760**		-.622*		-.629*
Arthropoda										
total										
Abundance(ind./m ²)										
Annelida			-.777**							
Mollusca		-.796**				.889**		-.642*		-.754**
Arthropoda		-.680*			-.644*	.609*		-.630*	-.613*	-.563*
total		-.841**	-.591*		-.681*	.860**		-.685**	-.702**	-.797**
Biomass(ind./m ²)										
Annelida										
Mollusca		-.841**				.830**		-.715**	-.609*	-.733**
Arthropoda										
total		-.593*				.705**				
H'(loge)										
Dominant species										
<i>Corbicula japonica</i>		-.858**				.899**		-.632*	-.632*	-.821**
<i>Neanthes japonica</i>	.554*	-.642*			-.745**	.616*				-.595*
<i>Heteromastus filiformis</i>										
<i>Paranthura japonica</i>							.736**			
<i>Jaeropsis</i> sp.										
<i>Ilyoplax deschampsii</i>										
<i>Prionospio japonicus</i>										
<i>Lumbrineris heteropoda</i>		.581*				-.690**				
<i>Grandidierella japonica</i>										
<i>Assimineia</i> sp.										

*p<0.05, **p<0.01.

Table 3. Dominant species of macrobenthos in Sueocheon estuary at northern Gwangyang Bay in August, 2009

Species name	taxa	individuals sampled	mean abundance (ind./m ²)	%	cum.%
<i>Corbicula japonica</i>	Bivalvia	742	309±561	40.72	40.72
<i>Neanthes japonica</i>	Polychaeta	351	146±467	19.26	59.98
<i>Heteromastus filiformis</i>	Polychaeta	147	61±79	8.07	68.05
<i>Paranthurus japonica</i>	Isopoda	125	52±126	6.86	74.91
<i>Jaeropsis</i> sp.	Isopoda	110	46±222	6.04	80.95
<i>Ilyoplax deschampsii</i>	Decapoda	73	30±70	4.01	84.96
<i>Prionospio japonicus</i>	Polychaeta	67	28±122	3.68	88.63
<i>Lumbrineris heteropoda</i>	Polychaeta	38	16±34	2.09	90.72
<i>Grandidierella japonica</i>	Amphipoda	24	10±30	1.32	92.04
<i>Assimineia</i> sp.	Gastropoda	22	9±39	1.21	93.24

요소들 가운데 수층의 염분과 퇴적환경 요소와 뚜렷한 상관관계를 나타내었다(Table 2).

주요 우점종의 출현

2009년 8월에 출현한 대형저서동물 가운데 상위 1%의 밀도 점유율을 보이는 종들은 Table 3과 같다. 10종의 밀도 점유율이 전체 평균 밀도의 93%였으며, 상위 3개종의 밀도 합이 전체 평균 밀도의 68%를 차지하였다.

기수성 이매패류인 *Corbicula japonica*(재첩)이 가장 우점하였는데 평균 309 ind./m²가 출현하여 약 41%를 차지하였다. 이 종은 수어천 하구역 상부에 위치한 정점 1과 3에서 각각 1,080 ind./m² 및 1,840 ind./m², 정점 7과 9에서 각각 1,520 ind./m² 및 1,350 ind./m²의 높은 밀도로 출현한 것이 특징적이었다. 하구역 중부에 위치한 정점 18까지만 출현하고 하구 입구역 주변에 위치한 정점에서는 출현하지 않았다(Fig. 6). 따라서 이 종은 염분과 음의 상관관계를 보였으며, 퇴적물의 자갈함량과 양의 상관관계, 평균입도와 음의 상관관계를 보임으로서 염분이 낮고 입도가 조립한 상부역에서 주로 출현하는 것을 반영한다(Table 2). 담수의 영향을 받는 하구역이라도 입도가 세립한 장소에서는 재첩이 출현하지 않았다. 임과 홍(2002)이 보고한 와탄천의 경우 전형적인 기수역이지만 여과섭식자인 재첩이 출현하지 않았는데 이것은 와탄천의 경우 유기오염 지표종들이 출현하고 계절적으로 사질과 니질의 퇴적상이 교대로 나타나는 불안정한 퇴적환경을 보이기 때문이다. 따라서 재첩의 출현 및 분포범위는 수어천의 기수역 환경 상태를 파악하는 중요한 지표가 될 것으로 보인다.

염분이 낮은 곳에서 주로 출현하는 기수성 다모류인 *Neanthes japonica*는 평균 146 ind./m²로서 19%를 점유하였다(Table 3). 이 종은 정점 1에서는 높은 밀도로 출현하였으나 입구역에 위치하여 염분이 상대적으로 높은 장소에서는 출현하지 않았다. 임과 홍(2002)에 의하면 본 종은 퇴적환경과는 상관관계가 낮은 반면 염분과는 음의 상관관계를 보임으로서 염분농도에 따라 공간분포양상이 영향을 받는 것으로 보고되었다. *N. japonica*는 현재 *Hediste japonica*로 알려져 있는데 담수의 영향을 받는 기수역에서 주로 출현하는 종으로서 법성포 와탄천 하구역(임과 홍, 2002), 섬진강 하구역(권 등, 2002), 울산만 해역(신 등, 2001), 양양 남대천 하구역(홍 등, 2000) 등에서 보고되어 있다. 특히 재첩 및 *N. japonica*가 수어천 상부역에서 특히 높은 밀도로 출현하고 이 종의 밀도

가 염분, 평균 입도와 음의 상관관계를 나타냄으로서 담수영향을 받는 군집 구조임을 잘 나타내고 있다.

다모류인 *Heteromastus filiformis*는 수어천 하구역의 중부역에서 주로 출현하는 특징을 보였다. 이 종은 퇴적물의 입도가 상대적으로 세립하고 유기물 함량이 높은 우리나라 조하대 및 조간대 모든 서식처에서 발견되는 종이다. 수어천에서도 주변에 갯벌이 발달하고 입도가 상대적으로 세립해지는 장소에서 출현하였으나 상부역에서도 출현함으로써 생태지위가 넓은 종으로 볼 수 있다.

그 밖에 *Paranthurus japonica*, *Jaeropsis* sp., *Ilyoplax deschampsii* 등이 출현하였는데, 소형 등각류인 *P. japonica* 및 *Jaeropsis* sp.의 경우 생태적인 특성에 대해 보고된 바가 없지만 수어천 하구역에서는 우점종으로 출현하였기 때문에 향후 본 조사지역의 생태계 변동과 연관시켜 면밀한 관찰이 요구된다. 또한 *I. deschampsii*의 경우 갯벌에서 주로 출현하는 종으로 알려져 있는데 수어천 수로 양 옆으로 발달한 갯벌 환경에 대한 환경 지시자로서 중요한 의미가 있을 것으로 보인다.

기수성 단각류인 *Grandidierella japonica* 및 기수성 고등류인 *Assimineia* sp. 등이 출현하였으나 환경요소들과의 상관관계는 나타나지 않았다. *G. japonica*는 울산만 주변(신 등, 2001)에서 담수의 영향을 받는 장소에서 출현하며, 법성포 와탄천 하구역(임과 홍, 2002)에서 출현하는 것으로 알려져 있다. 이 종은 겨울철에 비해 여름철에 밀도가 높으며, 퇴적환경과 높은 상관성을 가지는 것으로 알려져 있는데 모래함량이 높고 분급이 불량할수록 밀도가 높은 것으로 보고되어 있어 본 조사 결과와는 다소 차이가 있었다(임과 홍, 2002).

수어천 하구역과 같이 소규모이면서 매우 유사한 염분 구배를 보이는 장소에서 조사된 대형저서동물은 법성포 와탄천 하구역을 들 수 있다. 그러나 수어천 하구역에서는 법성포 와탄천 하구역에서와 같이 유기오염지표종인 *Capitella capitata*(등가시버들갯지렁이)와 소형옆새우류인 *Corophium sinense* 등의 특징적인 출현이 없었다. 이것은 와탄천 유역에는 비점오염원이라고 볼 수 있는 논이 많이 분포해 있는 반면 수어천 유역은 상대적으로 유기물 유입원이 적은 것도 그 이유로 볼 수 있다. 따라서 수어천 하구역은 염분 구배와 퇴적상에 의해 대형저서동물이 분포하는 전형적인 하구역 저서생태계를 보인다고 할 수 있다.

임과 홍(2002)는 법성포 와탄천 하구역에서 염분농도와 높은 상관관계를 보이는 요소는 밀도, 생체량 및 종 다양도였으며, 우점

Fig. 6. Distribution of abundance of macrobenthic dominant species in Sueochon stream at northern Gwangyang Bay in August 2009.

중 가운데에서도 *N. japonica*는 및 *Minuspio japonica*가 상관관계가 높음을 지적하고 군집조절은 염분이 크게 관여하고 있다고 하였다. 본 조사에서도 염분과 퇴적상에 따라 영향을 받는 저서동물 군집요소가 많으며, 특히 연체동물의 출현종수와 밀도, 생체량, 갑각류의 밀도가 이들 환경요소와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 우점종 가운데 *Corbicula japonica*, *N. japonica*의 밀도가 염

분 및 퇴적환경요소와 상관관계가 큰 것으로 나타남으로서 수어천 하구역은 법성포 외탄천 하구역과 같이 염분과 퇴적상이 저서동물 군집에 영향을 미치는 것을 알 수 있다(Table 2).

집괴분석

정점별 출현종별 개체수 자료를 합하여 집괴 분석한 결과 4개

Fig. 7. Dendrogram showing the faunal similarity between stations based on the macrobenthos in Sueochon stream estuary, at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

Fig. 8. MDS ordination showing the faunal similarity between stations based on macrobenthic communities in Sueochon stream estuary, at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

정점군으로 구분되었다(Fig. 7). 수어천 하구역 상부에서 중부에 위치한 정점들이 하나의 정점군으로 구분되었으며(정점군 A), 중부에서 입구역에 위치한 정점들이 별도의 정점군으로 구분되었다(정점군 B)(Fig. 8). 또한 입구역에 위치한 정점들이 별도의 정점군으로 구분되었으며, 그 외측에 위치한 정점들이 별도의 정점군으로 구분되었다(Fig. 9). 따라서 정점군은 수어천 하구 입구역에서부터 하구 상부까지 순차적으로 배치되는 양상을 보였다.

각 정점군별 생태학적 요소들을 Table 3에 정리하였다. 정점군 A에서 유기물 함량은 다른 정점군에 비해 상대적으로 적은 $2.15 \pm 1.25\%$ 범위를 보이고 있으며 출현종수는 16종이었다. 이것을 각 분류군별로 보면 다모류가 7종으로 가장 많고, 갑각류가 6종, 연체동물이 3종, 극피동물과 기타 동물군은 출현하지 않았다. 저서동물의 서식밀도는 평균 $1,599 \pm 154$ ind./m²으로 4개 그룹 가운데 가장 밀도가 높았다. 생체량은 평균 395.9 ± 338.7 g/m²로 높았고, 종 다양도는 0.80 ± 0.3 였다. 정점군 A에서는 우점종으로 기수성 이매패류인 *Corbicula japonica*가 928 ind./m² 출현하여 가장 높은 밀도를 보였고 기수성 다모류인 *Neanthes japonica* (338 ind./m²),

Fig. 9. Spatial distribution of station group of macrobenthos based on the results of the cluster analysis and MDS ordination from Sueochon stream at northern Gwangyang Bay in August, 2009.

소형 등각류인 *Jaeropsis* sp. (138 ind./m²) 등이 출현하여 담수영향을 크게 받고 있는 기수생태계를 나타낸다. 특히 이 정점군에서 우점종으로 출현한 *C. japonica*과 *Jaeropsis* sp.는 염분이 상대적으로 높고 퇴적상이 세립한 다른 정점군에서는 출현하지 않아 본 정점군의 특징을 잘 나타내고 있다.

정점군 B는 수어천 상류와 입구역의 사이에 위치한 8개의 정점으로 구성되었다. 총 출현종수는 19종이며, 다모류가 8종으로 가장 많이 출현했으며, 갑각류 3종, 연체동물 3종, 기타, 극피동물 순으로 나타났다. 평균밀도는 465 ± 258 ind./m²이고, 평균 생체량은 38.6 ± 33.8 g/m²으로 정점군 A를 제외한 다른 정점군들에 비해 높았다. 유기물 함량은 $4.19 \pm 2.19\%$ 였다. 우점종은 기수성 다모류인 *Neanthes japonica*가 101 ind./m²로 가장 밀도가 높았고, 갑각류인 *Ilyoplax deschampsii*는 91 ind./m², *Macrophthalmus japonicus*는

Table 4. Ecological parameters of macrobenthic communities from Sueocheon stream estuary at the northern part of Gwangyang Bay, August 2009

Parameters	Station Group	A	B	C	D
Salinity(psu)		5.4±3.3	19.9±1.8	26.9±1.7	25.2±3.3
Ignition Loss (%)		2.15±1.25	4.19±2.19	5.62±5.50	4.4±3.94
Gravel(%)		24.6±23.6	0.5±0.8	0	0
Sand (%)		73.6±23.4	94.0±0.5	24.5±18.2	61.1±42.6
Silt(%)		1.3±3.0	3.5±1.0	55.2±17.4	30.4±34.3
Clay(%)		0.5±1.2	2.0±0.3	20.2±5.5	8.4±8.4
Mean phi		0.13±0.93	2.30±1.32	5.9±0.7	3.8±2.0
Sorting value		1.0±2.3	1.0±1.0	2.6±0.5	1.8±1.0
Sediment type		sG, gmS, g(S)	S, (g)S	sZ, Z	sZ, S
No. of species		16	19	20	10
Polychaeta		7 (43.8%)	8 (42.1%)	14 (70.0%)	5 (50.0%)
Mollusca		3 (18.8%)	3 (15.8%)	2 (10.0%)	3 (30.0%)
Crustacea		6 (37.5%)	3 (42.1%)	3 (15.0%)	2 (20.0%)
Echinodermata		0 (0%)	0 (0%)	1 (5.0%)	0 (0%)
others		0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Abundance (ind./m ²)		1,599±1,54	465±258	158±80	307±307
Biomass (g/m ²)		395.9±338.7	38.6±33.8	32.2±20.9	18.3±25.6
Species diversity		0.80±0.3	1.20±0.3	1.59±0.5	0.98±0.6
Dominant species (ind./m ²)					
<i>Corbicula japonica</i> (m)		928	-	-	-
<i>Neanthes japonica</i> (p)		338	101	-	-
<i>Jaeropsis</i> sp.(c)		138	-	-	-
<i>Ilyoplax deschampsii</i> (c)		-	91	-	-
<i>Macrophthalmus japonicus</i> (c)		-	9	8	-
<i>Helice tridens wuana</i> (c)		-	5	-	-
<i>Lumbrineris longifolia</i> (p)		-	-	22	-
<i>Cleistostoma dilatatum</i> (c)		-	-	12	-
<i>Sigambra tentaculata</i> (p)		-	-	8	3
<i>Stenothyra glabra</i> (m)		-	-	-	37
<i>Nitidotellina minuta</i> (m)		-	-	-	7
<i>Corophium sinense</i> (c)		-	-	-	7

p: polychaetes, m: molluscs, c: crustaceans

9 ind./m², *Helice tridens wuana*는 5 ind./m²였다. 이들 갑각류 종들은 펄 함량이 높은 갯벌에 서식하는 종이다.

정점군 C는 수어천 입구역에서 담수의 영향이 상대적으로 적고 외해수의 영향을 상대적으로 크게 받으면서 펄 퇴적상을 보이는 정점들로 구성되어 있다. 출현종수는 20종이었으며 각 분류군별로 보면 다모류가 14종, 갑각류 3종, 연체동물 2종, 극피동물 1종이었다. 평균 밀도는 158±80 ind./m²로 다른 정점군 비해 상대적으로 낮았으며, 생체량은 32.2±20.9 g/m²로 높았다. 유기물 함량은 5.62±5.50% 범위로서 다른 3개 정점군에 비해 가장 높은 값을 나타낸다. 우점종으로서 퇴적물내에 유기물 함량이 높은 곳에서 주로 출현하는 것으로 알려진 다모류인 *Lumbrineris longifolia*가 22 ind./m² 출현하였으며 *Cleistostoma dilatatum*은 12 ind./m², *Sigambra tentaculata*는 8 ind./m², *Macrophthalmus japonicus*는 8 ind./m²가 출현하였다. *M. japonicus*를 제외한 다른 우점종은 다른 정점군에서는 출현하지 않아 이 정점군이 상대적으로 유기물 함량이 높은 것을 나타낸다.

정점군 D의 경우 수어천 입구에 바로 인접하여 기수역의 특성을

나타내지만 해수의 영향을 더 많이 받는 장소로 볼 수 있다. 출현종수를 각 분류군별로 보면 다모류 5종, 연체동물 3종, 갑각류 2종이 출현하였다. 유기물 함량은 4.4±3.9%로서 상대적으로 높지 않았다. 종 다양도는 0.98±0.6으로서 낮은 편이었고, 평균 생체량도 다른 정점군에 비해 상대적으로 낮았다. 정점군 D의 우점종은 다모류인 *Sigambra tentaculata*가 3 ind./m², *Stenothyra glabra*는 37 ind./m², 이매패류인 *Nitidotellina minuta*는 7 ind./m², 갑각류인 *Corophium sinense*는 7 ind./m²가 출현하였다. 다모류인 *S. tentaculata*를 제외한 다른 우점종은 다른 정점군에서 출현하지 않았다.

우리나라에서 하구역의 특징을 갖는 장소에서 환경요소들의 변화와 함께 대형저서동물 군집의 변동을 해석한 와탄천 하구역에서도 입구에서 상부역까지 뚜렷한 염분 구조가 존재하는 것으로 나타났으며 저서동물 군집은 염분 구배 및 퇴적상에 따라 순차적으로 배치되는 양상을 보임으로서 본 연구 장소와 매우 유사한 양상을 보였다(임과 홍, 2002). 하구역의 가장 중요한 환경요소는 담수유입에 따른 염분구배 및 유속에 따른 퇴적상의 차이이다. 본

연구결과 담수가 유입되어 염분변화가 뚜렷하고 퇴적상의 차이가 분명한 수어천 하구역에서의 대형저서동물 군집 배치에 영향을 미치는 주된 요소는 염분과 퇴적상으로 볼 수 있다(Table 2).

따라서 정점군 A와 C는 각각 담수우세 환경 및 해수우세 환경으로 볼 수 있으며, 정점군 B와 D는 각각 두 환경이 혼합하는 추이대로 볼 수 있다. 이들 군집의 공간 배치 범위는 겨울철 갈수기에 해수 영향이 강할 경우 달라질 것으로 보인다. 결국, 수어천 하구역은 유입되는 담수의 양이 적지만 상부에서부터 하부에 걸쳐 뚜렷한 염분 구배가 존재함으로써 특징적인 우점종의 출현 및 군집 배치에 영향을 미치는 전형적인 하구역의 특징을 보이는 것으로 나타났다.

결론

광양만 북측으로 유입되는 수어천 하구역 대형저서동물의 여름철 공간분포 양상을 파악하고자, 2009년 8월에 24개 조사정점을 선정하여 현장조사를 수행하였다. 조사는 저서생태계의 생태학적 과정(ecological process)이 극대화되는 여름철에 이루어졌다. 소형 van Veen grab(0.05m²)을 사용하여 매 정점당 2회씩 퇴적물을 정량 채집하여 분석한 결과 출현한 대형저서동물은 총 44종이었고, 평균 밀도는 789 ind./m²였다. 연체동물이 밀도(43.1%), 생체량(86.8%)에서 가장 우점한 분류군이었으며, 연체동물의 *Corbicula japonica*(40.7%), 다모류의 *Neanthes japonica*(19.3%), *Heteromastus filiformis*(8.1%), 갑각류의 *Paranthura japonica*(6.9%), *Jaeropsis* sp.(6.9%) 등이 주요 우점종이었다. 수어천 하구역 정점에서 출현한 대형 저서동물 군집의 종다양도는 평균 1.12±0.47로서 낮은 값을 나타내었으며, 하구역 입구에서 상대적으로 높은 다양도를 보였다. 하구역 상부역에 위치한 정점들에서는 기수성 이매패류인 *Corbicula japonica*(재첩)가 높은 밀도로 출현하였다. 수어천의 전반적인 저서생물상은 하구역 입구에서 상부로 올라가면서 다소 단순한 조성을 가진 군집으로 변화한 모습을 보였다. 본 조사지역에서는 수어천으로부터 유입되는 담수의 영향이 강한 상부역에서는 낮은 염분을 보였으며 해양과 접해 있는 입구역에서는 상대적으로 높은 염분을 보임으로서 전형적인 하구역의 염분 구조를 보인다. 또한 퇴적상도 상부에서는 모래함량이 높은 조립질 퇴적상을 보인 반면 하구역으로 오면서 펄 함량이 높은 세립질 퇴적상을 나타내며 동시에 유기물 함량도 증가하였다. 이러한 수어천 하구역의 전형적인 하구환경 특징으로 인해 저서동물 분포는 수층의 염분과 퇴적환경 요소와 뚜렷한 상관관계를 나타내고 있다.

사사

본 연구는 국토해양부 해양환경기술개발사업의 일환인 “하구역 종합관리시스템개발연구(No. 20100051)”의 일부 연구비를 지원받아 작성된 것으로서 연구비 지원에 감사드립니다. 아울러 현장 조사에 많은 도움을 준 목포대학교 저서생태 연구실 학생들과 귀중한 퇴적물 분석자료를 사용하도록 제공해 주신 류상욱 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립환경과학원 국토생태탐방포털, <http://ecosystem.nier.go.kr>.
권기영, 문창호, 강창근, 김영남. 2002. 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 입자성 유기물질의 분포. *한수지*, **35**(1): 86-96.
신현출, 윤성명, 고철환. 2001. 울산만과 온산만 저서동물군집의 공간분포. *한국해양학회지*-바다 **6**(3): 180-189.
이형곤, 이재학, 유옥환, 김종관. 2005. 낙동강 하구역 주변 대형저서동물 군집의 공간 특성. *Ocean and Polar Res.* **27**(2): 135-148.
임현식, 홍재상. 2002. 범성포 외탄천 하구역의 염분과 퇴적환경에 따른 대형저서동물의 공간분포. *한국해양학회지*-바다, **7**(1): 8-19.
홍재상, 서인수, 이창근, 윤상필, 정래홍. 2000. 양양 남대천 하구역의 여름철 대형저서동물 군집의 생태학적 특성. *한수지*, **33**(3): 230-237.
Boyden, C.R. and C. Little, 1973. Faunal distributions in soft sediments of the Severn estuary. *Estuarine and Coastal Mar. Sci.*, **1**: 203-223.
Copeland, B.J. and T.J. Bechtel, 1974. Some environmental limits of six Gulf coast estuarine organisms. *Contrib. Mar. Sci.*, **18**: 169-204.
Day, J. H., 1981. The estuarine macrofauna. In: *Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa*, edited by Day, J.H., Beukema, Rotterdam, pp. 147-178.
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 River Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **31**: 217-231.
Shannon, C. E. and W. Weaver, 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana, 125pp.

2011년 9월 19일 원고접수

2012년 3월 23일 수정본 접수

2012년 3월 23일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출