

낙동강 하구 조하대 저서동물 군집분포에 따른 생태계 평가 적용

윤진탁^{1,*} · 박홍식² · 장 만¹

¹한국해양연구원 해양생물자원연구부
²한국해양연구원 해양과학 국제협력센터

Implication to Ecosystem Assessment from Distribution Pattern of Subtidal Macrobenthic Communities in Nakdong River Estuary

KON-TAK YOON^{1,*}, HEUNG-SIK PARK² AND MAN CHANG¹

¹Marine Living Resources Research & Conservation Center, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

²International Cooperations Center, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

낙동강 하구역에서 홍수기 전후에 저서동물군집 영향을 알아보기 위한 조사에서, 저서환경은 대부분 지역에서 사질 퇴적상이 우세하였으며, 일부 수로 지역에서 복잡한 퇴적상을 나타냈다. 홍수기 방류에 의한 공간에 따른 퇴적상 변화는 관찰되지 않았으며, 홍수기 이후 하구역 상부에서 유기물이 소량 증가하였다. 저서생물 종조성은 공간적으로 차이를 보였는데, 홍수기 이후에 배수갑문 근처 지역에서 종조성이 감소하였다. 군집분석 결과는 3개 군집구조가 나타났으며, 하구역 하부에 위치한 사주를 기준으로 공간적 구배를 나타냈다. 사주 상부에는 *Sinocorophium sinensis*, *Magelona japonica*, *Heteromastus filiformis* 등 유기오염 기회종들이 우점하였다. 기회종이 다수 출현한 것은 낙동강 하구둑 주변에 서식하는 저서동물이 방류로 인한 유기물 유입 영향에 따른 것으로 해석되며, 방류로 인한 영향은 방조제 부근에서 사주지역까지 나타났고, 사주 바깥지역은 대량방류로 인한 저서동물의 종조성 변화는 관찰되지 않았다.

In this study, we investigated the effect of freshwater discharge on benthic community in Nakdong estuaries. The sediment was dominated by sand except few channels where heterogenous sediment composition was observed. Sediment composition was rarely affected by freshwater discharge during the rainy season; however, organic content in the sediment slightly increased after the rainy season. Macrobenthic species composition differed spatially. For instance, species composition decreased after the rainy season near the barrage. Benthic community analysis revealed three groups, in which the first group was found between barrage and sand bars located at the mouth of estuary, the second group was observed outside the sand bars, and the last group was found in the channel. Opportunistic benthic species indicative of organic pollution, such as *Sinocorophium sinensis*, *Magelona japonica*, and *Heteromastus filiformis*, dominated areas close to the barrage. Organic pollution by freshwater discharge appears to be responsible for the emergence of opportunistic benthic species, and this influenced areas from the mouth of bay to sand bars. Outside the sand bars, freshwater discharge did not seem to have affected species composition.

Keywords: Estuary, Macrobenthos, Community, Nakdong river, Organic pollution

서론

하구역은 육지로부터 흘러들어오는 하천과 해양이 만나는 곳이며, 담수와 해수가 혼합되어 해양으로부터의 거리에 따라 염분도의 구배가 발생하는 지역이다. 또한 하천을 통해 유입되는 유기물로 인해 높은 생산력을 가지고 있으며, 담수 생태계와 해양 생태계의 전이 지역으로 생태학적으로도 중요한 역할을 담당하고 있다(Mcclusky, 1989).

하구역에 서식하는 해양생물 중에 저서동물은 저질을 기반으로

서식하며, 대부분 착저한 다음 일생동안 서식지역을 벗어나지 않기 때문에 환경의 변화에 영향을 많이 받는다(Lu *et al.*, 2008; Wildsmith *et al.*, 2009). 하구역 저서동물 분포는 대체적으로 저층 염분수 농도에 의한 영향을 받으며(Paula *et al.*, 2007; Galkin *et al.*, 2010; Christine *et al.*, 2005), 퇴적상(Peter and Wooldridge, 2001, 2003; David and Kirsty, 2006)이나 지역적인 환경 구배에 의해 생물상이 구별된다(Kanaya and Kikuchi, 2008; Eva *et al.*, 2009).

낙동강은 1987년 하구둑 건설 후 항로유지를 위한 준설사업과 항만 개발, 택지조성, 각종 산업시설 건설 등으로 하구역에 많은 지형적 변화가 일어났으며(김과 이, 2005), 저서동물은 이러한 환

*Corresponding author: urothoe@kordi.re.kr

경변화에 영향을 받기 때문에 낙동강 하구역 생태계를 이해하는데 중요한 대상이 된다. 낙동강 하구역에서 수행된 저서동물 연구는 주로 사주를 중심으로 조간대 지역에서 수행 되었으며, 하구둑 공사 이후 초기에 건설 전후 연체동물과 갑각류의 생물상을 비교한 연구(장과 김, 1992)와 건설 과정에서 저서생물 군집에 관한 연구(배와 윤, 1988; 1989a, 1989b, 윤 등, 1986) 등이 있다.

낙동강 하구역은 해양생태계 변동에 대한 정기적인 감시가 미흡한 상태에서 상류에 보를 건설하고 준설을 실시하는 등 하구역 저서생태계 변화가 예상되는 개발 사업이 진행 중이다. 대규모 준설공사는 특히 여름철 홍수기 연안 생태계에 상당한 변화 가능성을 제시한다. 하구둑은 강수량이나 태풍의 유입 등에 따라 대량으로 담수를 하구역으로 방출하게 되는데, 이러한 영향으로 낙동강 하구역에서 조간대 저서동물의 변화를 감시하는 것은 매우 중요하다. 이번 연구는 강수량이 많은 시기에 담수 배출이 낙동강 하구역 저서생태계에 미치는 변화를 공간적 기반으로 군집구조 차원에서 해석하여, 향후 예상되는 낙동강 하구역이나 주변 연안의 군집변화를 예측하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

지역개황

한반도는 크고 작은 여러 하천이 서해와 남해로 흘러가는데, 이중 낙동강은 유역면적 23,817 km²로 국내에서 두 번째로 긴 하천이다(건설교통부, 2006). 영남권 중앙 저지대를 따라 남쪽으로 흘러가는 낙동강 유역은 산지가 많으며 하천 폭이 넓고 평탄하다. 하류는 강바닥이 지대보다 높게 형성된 천천천 구조이다. 계절에 따라 침식이 심하여 주변에 식생이 불량하며, 유출이 불규칙하여 홍수 피해가 잦고, 퇴적상의 변동이 심하다(지 등, 2007). 1980년 이전에는 여름철에 발생하는 장마와 태풍으로 담수 유입이 증가하면서, 하구역 범람과 급격한 염분도 변화가 유발되기도 하였다.

4개의 조절수문과 6개의 주 수문으로 구성된 낙동강 하구둑은 갈수기에 해양으로부터 염분수의 유입을 방지하고, 상류에 안정된 용수의 확보와 장마로 인한 하구역 범람을 예방하기 위해 1987년에 건설되었다. 하구둑 건설 이전에는 해수가 저층을 통해 하구에서 40 km 지점인 삼랑진까지 도달할 정도로 폭넓은 기수역이 형성되었으나, 현재는 하구둑으로 인해 상부는 담수 생태계가 형성되었고, 기수지역이 배수갑문 주변에 국한되어 나타나다가, 방류가 진행되면 면적이 확장되는 양상을 보이고 있다. 하구둑 운영은 배수갑문 상부와 하부의 수위차가 0.2 m 보다 적을 때는 수문을 폐쇄하고, 그렇지 않은 경우에는 수문을 통해 담수가 하구역으로 배출된다(지 등, 2008). 평상시에는 을숙도 서쪽 수로에 연결된 우안배수갑문을 개방하여 대체적으로 1,000 m³/일 이하의 담수를 흘려보내며, 방류량이 증가할 때는 10개의 하구둑 수문 중에 좌, 우의 4개를 개방하여 방류를 실시한다. 또한 장마와 태풍이 오는 하계 홍수기에는 하구둑을 전면 개방하여, 수십만 m³/일 이상의 방류를 하기도 하며, 갈수기에 비해 수백배에 해당하는 담수를 배출한다(2010년 낙동강 하구둑 수문 방류자료, 수자원공사). 서낙동강 유역의 녹산수문 상부는 농업용수로 활용하고 있으며, 수문은 거의 개방하지 않는다.

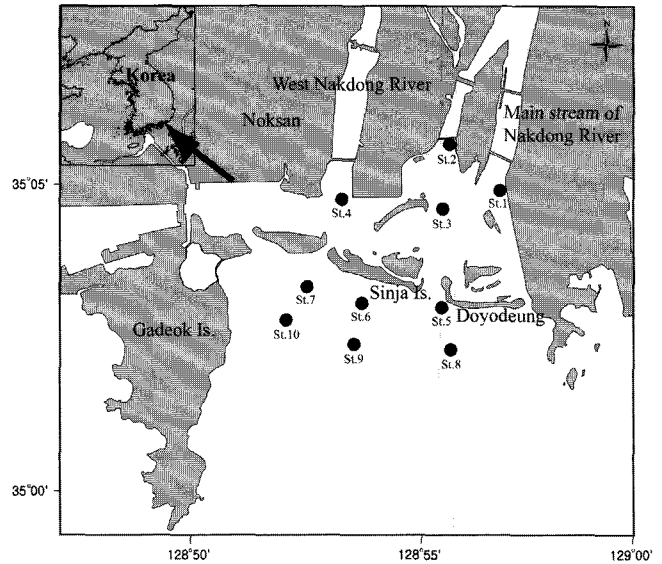


Fig. 1. A map showing the study area and the location of sampling station.

시료 채집 및 분석

현장조사는 낙동강 하구둑 남쪽지역을 대상으로 실시하였다. 사주 특성을 나타내는 도요등과 신자도를 기준으로 하구역 상부와 하부로 구별하여 10개 정점을 선정하였다. 하구 상부는 을숙도가 위치한 낙동강 주수로 유역에서 3개 정점, 서낙동강 유역에서 1개 정점을 선정하였으며, 하부 지역은 담수 확산 방향을 고려하여 사주 남쪽에 6개 정점을 선정하였다(Fig. 1). 조사는 홍수기 전후를 비교하기 위해 2010년 7월 1일과 8월 18일에 각각 실시하였다.

저서동물 채집에는 채집면적이 0.1 m²인 vanVeen grab을 이용하여 정점 당 3회씩 채집하였으며, 채집된 퇴적물은 1 mm 망목의 체를 이용하여 잔존물을 분리한 다음 약 10%의 포르말린으로 고정하였다. 고정된 잔존물은 실험실로 운반하여 분류군별로 대형저서동물을 선별하였고, 현미경하에서 동정하고 계수하였다. 저서동물 출현 개체수와 생체량은 단위면적(m²)으로 환산하여 분석하였다. 각 조사정점에서 퇴적물 시료를 채집하여 Folk and Ward(1957)의 분류법에 따라 퇴적물의 유형을 구분하고 계산하였다. 표층퇴적물의 총유기물량은 유기탄소측정장비(Elementar Analysensysteme, GmbH)를 통해 측정하였다.

군집분석을 위해 각 정점에서 중수, 개체수, 종다양도(Shannon and Wiener, 1949)를 구하였고, 저서동물 군집특성을 알아보기 위하여 집괴분석(Euclidean distance, Minimum variance)을 실시하였으며, 각 군집을 구별하는 상위 종을 알아보기 위한 Simper분석과, 낙동강 하구역 저서동물군집에서 상대적 교란 여부를 알아보기 위하여 ABC 방법(Warwick, 1986)을 사용하였다.

결 과

저서환경

낙동강 하구역 퇴적상은 사질이 우세하였으며, 사주를 기준으로 상부가 상대적으로 세립하였고, 대부분은 2~3Φ 정도의 사질 우세 퇴적상을 나타냈다(Fig. 2). 정점 2와 9에서 홍수기 전후에 차이가

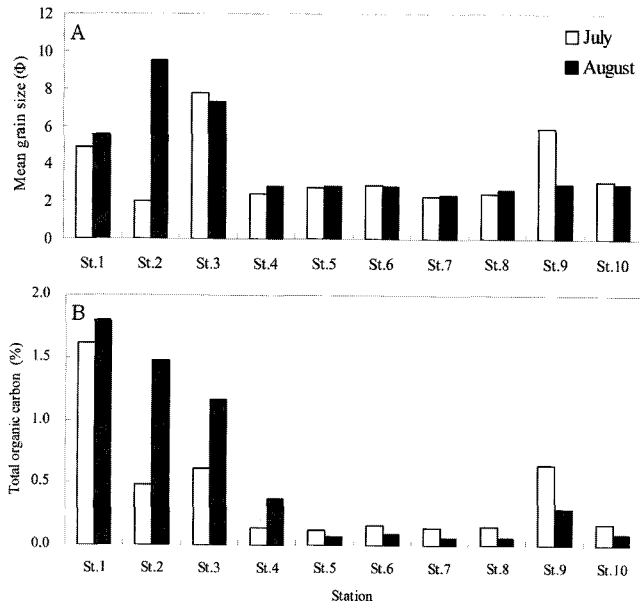


Fig. 2. Comparison to the sediment characteristics (A: Mean grain size, B: total organic carbon) according to the before (July) and after (August) flood season.

크게 나타났으며, 대부분 지역에서 퇴적상 변화는 크지 않았다. 공간적으로 낙동강 주수로 유역에 위치한 정점들에서 세립한 퇴적상을 나타냈으며, 유기물 함량은 모든 정점에서 2% 미만의 낮은 유기물 함량을 보였다. 정점 9를 제외하고 상부정점에서 상대적으로 높은 유기물함량을 나타냈고, 홍수기 이후에 다소 증가된 양상을 보였다. 반면에 하부지역은 홍수기 이후 미량 감소하였다(Fig. 2).

종조성

총 150종의 저서동물이 출현하였으며, 7월 정점 9에서 61종으로 가장 많은 저서동물이 출현하였다. 상부지역인 정점 1, 2, 3에서 홍수기 이후에는 종수가 다소 감소하였다. 하부지역에서는 비교적 외해역인 정점 9, 10을 제외하면 조사 시기에 따라 종수 변화가 거의 나타나지 않았다(Fig. 3).

정점별 서식밀도는 종수와 유사하게 나타났다. 상부 지역에서 홍수기 이후 감소하는 양상이 나타났으며, 하부지역에서는 낮은 서식밀도를 나타냈다. 서낙동강 하구에 위치한 정점 4에서는 홍수 이후, 정점 9에서는 홍수 이전에 높은 서식밀도를 나타냈다(Fig. 3).

다양도 지수는 공간에 따른 차이를 보이지 않았으며, 정점에 따라 조사시기에 따른 변동을 나타냈다. 종수가 가장 높게 나타난 정점 9에서 다양도지수가 높게 나타났으며, 정점 2와 9를 제외하고는 홍수기 이전이 다소 높은 경향을 나타냈다(Fig. 4).

생체량은 상부에 위치한 정점 1과 하부의 정점 5, 6에서 비교적 높게 나타났다. 특히, 홍수기 이후 정점 1에서 68 gWwt./m²으로 급격히 증가하였다(Fig. 4). 정점별 생체량은 종수, 서식밀도와 상이하게 하부지역에 위치한 정점 5~7 지역에서 상대적으로 높은 결과를 보였다.

군집구조

정점별 종수와 서식밀도 정보에 의한 집괴분석 결과에서 낙동

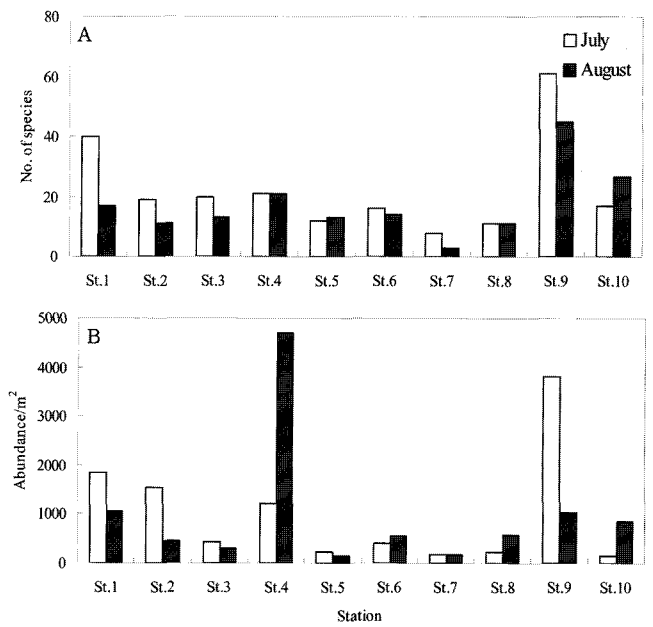


Fig. 3. Comparison to the species composition (A: number of species, B: density) between before and after the flood season at each station.

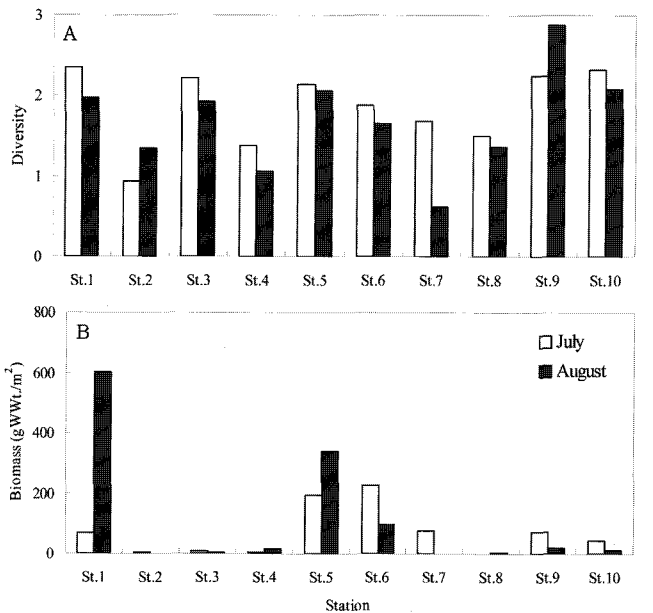


Fig. 4. Diversity (H') and Biomass at each station.

강 하구역 저서동물상은 크게 세 개의 그룹으로 구별되었다(Fig. 5). 군집 A(Group A)는 하부지역에서 9번 정점을 제외한 지역으로 구성되었고, 사질에서 우점하는 종들인 단각류 *Mandibulophoxus mai*, *Urothoe convexa*, *Mactra chinensis* 등이 주로 출현하였다. 군집 B(Group B)는 하구역 상부에 위치한 정점들로 구성되었으며, 다모류인 *Heteromastus filiformis*, *Magelona japonica*와 단각류인 *Sinocorophium sinensis*가 우점하였다. 군집 C(Group C)는 9번 정점과 홍수기 이전의 정점 1로 구성되어 있으며, 다모류인 *Praxillella affinis*, *Lumbrineris longifolia*, *Mediomastus californiensis*

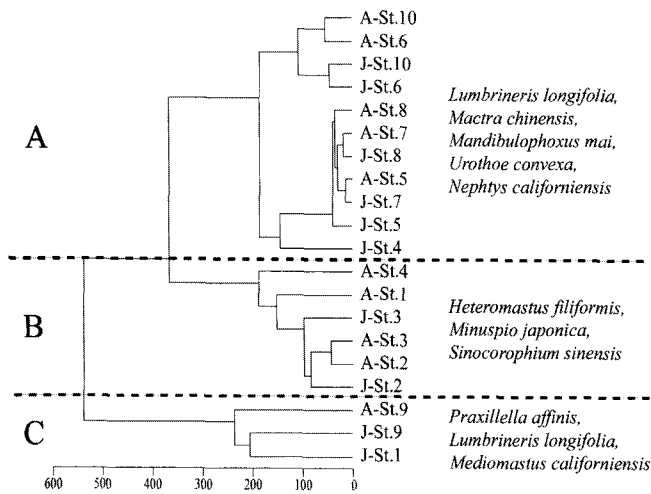


Fig. 5. Similarities of species composition between each station based on cluster analysis (<J: before the flood time sampled(July), A: After the flood time sampled(August)>).

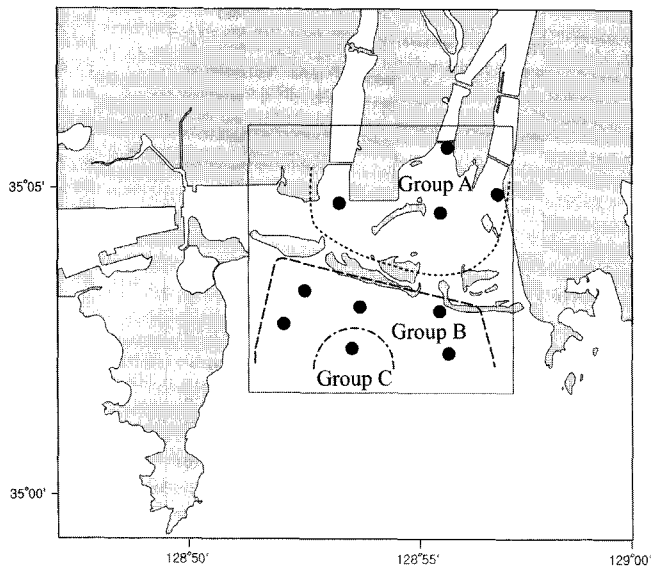


Fig. 6. Schematic plot of spatial distribution by benthic community.

Table 1. The list of higher contributing species between group by SIMPER analysis

	Group A	Group B
Group A	<i>Heteromastus filiformis</i> <i>Sinocorophium sinensis</i>	
Group B	<i>Minuspio japonica</i> <i>Urothoe convexa</i> <i>Lumbrineris longifolia</i>	
Group C	<i>Praxillella affinis</i> <i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Pseudopolydora paucibranchiata</i> <i>Mediomastus californiensis</i>	<i>Praxillella affinis</i> <i>Sinocorophium sinensis</i> <i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Heteromastus filiformis</i> <i>Notomastus latericeus</i>

등이 출현하였다. 각 군집은 우점하여 출현하는 종에서 차이를 보였으며, Simper 분석으로 각 군집에 기여하는 종이 비교적 뚜렷하게 나타났다(Table 1).

출현 개체수를 기반으로한 우점종 15종은 전체 출현량의 75.4%를 점유하였다. 우점종 중에는 다모류가 8종이 출현하였으며, 갑각류가 4종, 연체동물이 3종 우점종에 포함되었다(Table 2). 가장 우점한 종은 단각류에 속하는 *S. sinensis*로 19.0%를 점유하였다. 다모류인 *P. affinis*와 *H. filiformis*는 각각 10.8%와 9.3%를 점유하였다. 상위 우점종들은 대체적으로 각 군집에 편중되어 출현하여 이들 종이 군집을 나누는 중요한 역할을 한 것으로 나타났다.

각 정점별로 저서동물상을 이용한 상대적 오염 정도를 알아보기 위한 ABC분석에서 7월에는 정점 2, 4에서 오염 징후가 나타났으며, 정점 1, 9는 오염이 진행 중이었고 8월에는 정점 2에서만 오염이 진행 중인 결과가 나타났다(Fig. 7).

토 의

하구역 공간별 퇴적환경 변화

낙동강 하구역은 시주가 발달한 지형구조로 조하대에서도 전반적으로 사질이 우세하였다. 상부지역에서는 낙동강 주수로 유역이 상대적으로 세립하였다. 홍과 윤(1983)은 하구둑 내부에 존재하는 펄성분의 저도가 수문의 개방과 함께 방출되어 수류의 흐름이 수문 근처보다 약해진 하부 지역에서 퇴적되어 입도가 상대적으로 세립해진다고 하였는데, 낙동강 하구역은 입구에 형성된 시주가 수류의 흐름을 약하게 하여 을숙도 남단에서 퇴적상이 세립해지는 것으로 보인다. 퇴적상은 2010년에 홍수기 전, 후 퇴적상에서 유의한 변동은 없었다. 2번 정점과 9번 정점에서 차이가 있었는데, 정점 2는 평상시에도 담수가 배출되는 우안배수갑문의 개폐여부에 의한 것으로, 방류량에 따라 유입되는 다양한 크기의 퇴적물이 좁은 지역에서 차이를 보여 퇴적상이 다르게 나타난 것으로 보인다. 정점 9의 경우는 조사해역이 수로가 위치한 지역으로 퇴적상이 조밀한 범위에서 차이를 보여 홍수기의 영향보다는 복잡한 퇴적구조에 의한 결과로 해석된다. 우리나라에서는 활발한 조석의 영향으로 수로 주변에서는 이러한 결과가 자주 나타나는데, 윤 등(2010)은 복잡한 퇴적환경을 갖는 수로지역의 경우 좁은 면적에 다양한 퇴적상이 혼서하여 저서동물 군집의 시공간적 변화연구에 복잡한 결과를 가져온다고 하였으며, Sanders(1986)와 박 등(2000)도 수로주변을 따라 주변과 상이한 생물상이 좁은 지역에 나타나 이러한 지역에서 저서환경이 다양하게 나타날 가능성에 대하여 언급하였다.

유기물의 경우 2번 정점에서 증가하였으나 입도가 세립했던 시기에 유기물 함량이 높게 나온 것으로 보인다. 대부분 조사지역에서 표층퇴적물에 포함된 유기물 함량은 입도가 세립한 지역에서 상대적으로 높았다. 저서환경에서 퇴적상은 유기물과 밀접한 관계를 나타내며(임과 홍, 1994; 현 등, 2003), 입도조성이 조립할수록 유기물 함량이 적고, 세립 할수록 증가하는데, 이번 조사에서도 유사한 결과를 나타냈다. 동일 정점에서 조사 기간 동안 유기물 변화는 대부분 0.5% 내외로 방류에 의한 뚜렷한 영향을 찾기 어려웠다. 하지만 적은 변화에도 불구하고, 상부에서 유기물 양이 다소 증가 한 것으로 나타나 일부 지역에서 홍수기 방류에 의한 영향 가능성을 지적할 수 있다. 즉, 낙동강에서 여름철 방류 활동이 하구역 상부의 한정된 지역에서 작은 변화를 유발한 것으로 해석할 수 있다.

Table 2. Representative species by dominant ranking based on abundance

Rank	Taxon	Species name	Abundance	Proportion(%) Total	Proportion at each group(%)		
					Group A	Group B	Group C
1	CAM	<i>Sinocorophium sinensis</i>	3,785	19.0	0.3	99.5	0.2
2	Apol	<i>Praxillella affinis</i>	2,155	10.8	0.1	0.8	99.1
3	Apol	<i>Heteromastus filiformis</i>	1,847	9.3	0.2	97.7	2.1
4	Apol	<i>Lumbrineris longifolia</i>	1,307	6.6	0.5	20.9	78.6
5	Apol	<i>Minuspio japonica</i>	1,038	5.2	16.5	83.2	0.3
6	Apol	<i>Aedicira pacifica</i>	785	3.9	100.0	0.0	0.0
7	CAM	<i>Urothoe convexa</i>	585	2.9	98.3	0.0	1.7
8	MBi	<i>Cultrensis attenuatus</i>	558	2.8	99.5	0.0	0.5
9	Apol	<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>	502	2.5	22.3	15.1	62.5
10	Apol	<i>Goniada japonica</i>	495	2.5	65.3	10.7	24.0
11	MBi	<i>Mactra chinensis</i>	495	2.5	98.6	0.0	1.4
12	Apol	<i>Mediomastus californiensis</i>	413	2.1	3.1	30.5	66.3
13	CAM	<i>Mandibulophoxus mai</i>	384	1.9	100.0	0.0	0.0
14	CAM	<i>Grandidierella japonica</i>	362	1.8	4.4	95.6	0.0
15	MGs	<i>Umbonium costatum</i>	284	1.4	100.0	0.0	0.0
Total			14,995	75.4			

*Apol: Annelid polychaeta, MBi: Mollusca bivalvia, MGs: Mollusca gastropoda, CAM: Crustacea Amphipoda

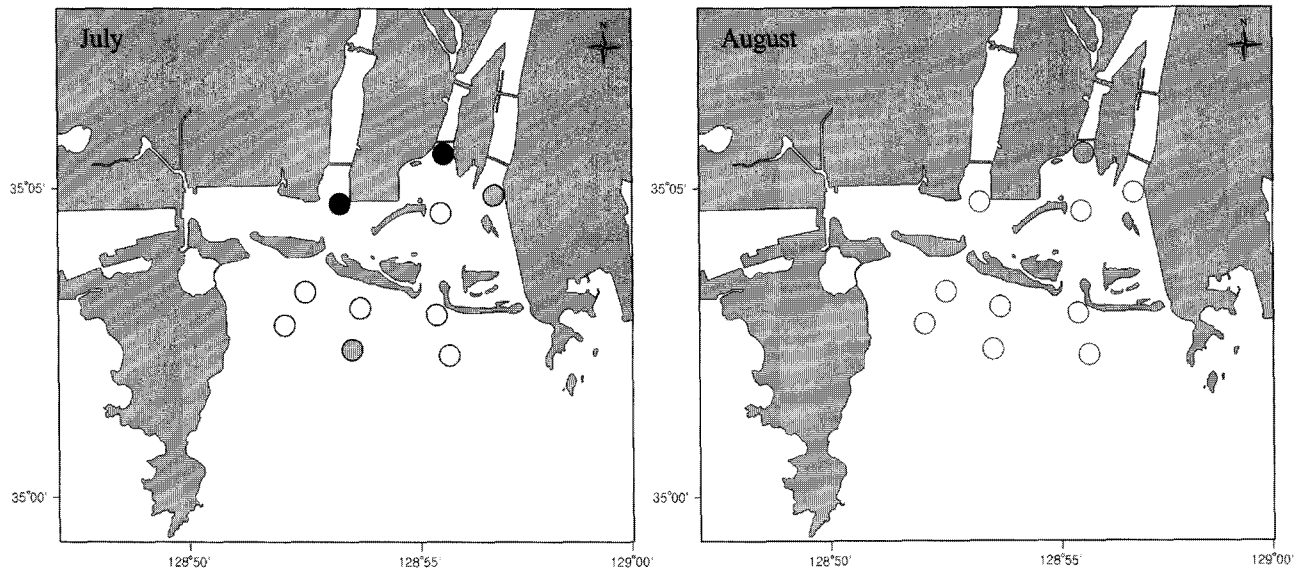


Fig. 7. Plot on the relative benthic pollution state by ABC-method at each station (●: polluted, ●: moderately polluted, ○: unpolluted).

홍수기 전후 종조성의 공간적 변화

정점별 종수와 서식밀도는 하구역 상부가 하부지역에 비하여 상대적으로 높게 나타났으며, 하부에서는 9번 정점에서 다양한 종조성 변화가 나타나면서 다양성이 높았다. 생체량의 경우는 내측의 1번 정점과 외해의 5, 6, 7번 정점에서 연체동물의 출현에 의해 그 값이 상대적으로 높게 나타났다.

하구역은 일반적으로 염분도의 구배에 의하여 저서동물의 종수와 개체수가 외해로 갈수록 증가하지만(Yoo and Hong, 1996a; Christine et al., 1997; Galkin et al. 2010; Eva et al., 2009), 낙동강 하구의 경우 오히려 상부에서 종조성이 높게 나타났다. 하구 독이 존재하지 않는 한강의 경우 평상시에도 담수의 유입이 지속되어 염분도가 저서동물의 분포를 결정짓는 주요 환경요인으로 작

용하지만, 낙동강의 경우 담수 유입이 인위적이므로 하구독을 개방하지 않게 되면 저염분수의 영향보다는 공급된 유기물에 의해 종조성이 영향을 받을 수 있다.

이번 조사에서 홍수 전후에 종조성 변화를 보인 곳은 하구독과 인접한 상부지역(정점 1-4)과 정점 9이다. 상부지역은 홍수기 이후 유기물이 다소 증가하였고, 4번 정점을 제외하면 종조성이 감소하였다. 종수와 개체수에 영향을 미치는 종들은 대부분이 다모류인 *Lumbrineris longifolia*, *Glycinde guryanovae*, *Amaeana occidentalis*, *Pseudopolydora paucibranchiata* 이다. 이들 종은 7월에는 출현하였으나 8월 조사에서는 출현 하지 않았거나 개체수의 감소를 보여 홍수기에 유입되는 저염분수의 영향을 받는 것으로 보인다. 4번 정점의 경우 단각류인 *S. sinensis*가 대량으로 출

현하였고, 9번 정점은 다모류인 *P. affinis*가 감소하였다. Yoo and Hong (1996b)은 한강 하구의 저서동물의 연구에서 홍수가 하구 저서동물의 종조성에 가장 중요한 역할을 한다고 하였는데 본 조사의 결과에서도 낙동강 주수로의 경우 홍수기 방류 영향으로 인하여 종과 개체수의 감소를 유발한 것으로 보이며, 홍수기 이전은 상부지역의 유기물 유입이 종조성에 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다. 하부 9번 정점은 좁은 지역에 혼합된 퇴적상을 보이는 지역으로 단기조사에서 환경 변화와 종조성을 연관시키기에는 어렵다.

하천수 유입은 유기물 유입이라는 긍정적인 측면도 존재하지만 하천을 통해 들어오는 중금속은 저서동물에 악영향을 미치기도 하며(Ana et al., 2003), 유입된 유기물이 과도해지거나 수류의 흐름이 부적절한 곳에는 유기물 오염(임과 박, 1999)이나 빈산소 수괴(Kenji et al., 2010)가 발생하여 저서동물의 서식에 영향을 미친다.

낙동강 하구역에서 저서동물 종조성의 변화는 사주지역 북쪽에 국한되어 발생하였으며, 홍수기 저염분수의 유입에 의한 영향으로 생각된다. 평상시의 종조성 변화는 유기물 공급이 영향을 미치는 것으로 보이나, 이러한 결과는 방류량에 따라 영향 범위가 다르게 나타날 수 있으며, 발달한 사주는 수류의 흐름을 방해하여 지형적으로 상부지역의 부분적인 고립을 유발하며, 사주 북쪽 대부분 지역에서 유기물의 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

우리나라 내만의 경우 유기물 오염 등과 관련하여 종수와 개체수의 차이가 교란의 영향이 있는 지역과 없는 지역에서 뚜렷하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다(마 등, 1995; 최와 서, 2007; 최 등, 2003; 강 등, 2002). 그러나 낙동강 하구역에서는 종조성의 차이가 교란이 심한 지역에 비해 크지 않아 유기물 오염의 정도가 상대적으로 낮은 것으로 보인다.

군집구조와 공간 특성

집괴분석에 의한 군집은 사주를 중심으로 크게 상부와 하부로 구별되었으며, 하부는 연안부와 중앙부로 구별되었다. 군집을 구성하는 주요생물을 비교하면, 하구역 상부는 유기물 영향이 있는 것으로 나타났다. 낙동강 주수로 유역에서 우세하게 나타나는 다모류는 Pearson and Rosenberg (1978)에서 유기물 오염 기회종으로 알려진 종들이며, 서낙동강 유역에서 우점한 *S. sinensis*는 시화호에서 오염이 가중되었을 때 대량으로 출현하였던 종으로(홍 등, 1997), 저서환경에서 유기물 오염에 의한 영향이 나타날 때 출현하는 종이다. 낙동강 주수로 유역은 상대적으로 니질 퇴적상으로 구성되어 있고, 서낙동강은 사질이 우세하였음에도 유기물 오염 기회종들이 출현한 것은 퇴적상과 무관하게 유기물 유입의 영향이 상부에 진행되고 있는 것으로 해석된다.

하부 중앙부에 위치한 군집인 정점 9에서 출현한 *P. affinis*, *L. longifolia*, *M. californiensis* 등은 우리나라 남해안 조하대에서 우점하는 종으로(이 등, 2005; 윤 등, 2009; 2010), 복잡한 퇴적상을 보이는 지역이지만 조사정점 중에 낙동강 하구의 영향이 가장 적은 남해의 일반적인 생물상을 갖는 것으로 보인다. 연안 지역은 사주와 인접하여 단각류와 개량조개가 특징적인 군집이었으며, 하부는 크게 낙동강 연안 특성 군집과 외해의 성향을 보이는 군집으로 구별되었다(Fig. 6).

하구 내측 생물상의 교란정도를 알아보기 위하여 실시된 ABC

분석에서 사주 하부 지역은 교란의 영향이 거의 없는 것으로 나타난 반면, 상부의 경우는 상대적으로 유기물 오염의 징후를 보이는 것으로 나타났다. 유기물의 유입이 있는 내만의 경우 수류가 정체되는 시기가 길어지면 유기물 오염의 효과가 가중되어 유기물 오염관련종이 증가하는 것이 일반적이다(홍 등, 2000; 임과 박, 1998; 1999). 조사시기인 2010년 하구둑 방류량은 1월부터 7월 중순까지 크게 증가하지 않고 통상적이었으나, 7월 12일부터 7월 19일, 8월 11일부터 8월 21일까지의 시기에는 평상시의 최고 수 백 배 이상의 일일 방류량이 있었다(2010년 낙동강 하구둑 수문 방류자료, 수자원공사). 7월의 경우 1월부터 년 중 방류량이 낮은 시기가 계속되어 사주 상부지역 흐름이 상대적으로 느려졌고, 유기물 오염의 효과가 가중된 것으로 나타났으며, 8월은 2회의 홍수기를 통하여 대체적으로 10m가 넘지 않은 사주 상부지역의 수류가 저층에 까지 영향을 미치게 되고, 상대적으로 증가된 유속은 유기물 오염의 효과를 낮게 하여 7월보다 양호한 저서동물상이 관찰되었다.

지금까지 낙동강 하구역 주변 연구는 염분도가 저서동물의 분포를 결정짓는 주요 요인이고, 이외 수온, pH, 탁도, 용존산소, 퇴적상 등이 해수종과 기수종, 담수종의 분포를 결정짓는다고 하였다(배와 윤, 1988, 1989a, 1989b; 윤 등, 1986; 장과 김, 1992). 하구둑이 건설된 직후에 갑각류와 연체동물의 변화를 살펴본 장과 김 (1992)은 하구둑으로 차단된 상부의 염분이 낮아지면서 해양성 갑각류가 소멸하였고, 재첩과 바지락을 비롯한 식용 이매패류가 하구둑 완공 이전에 비하여 현저하게 감소하였다고 하여, 하구둑의 건설자체가 저서생태의 큰 변화를 유발하였다고 하였다. 이후 조(1992)는 하구역내 오염부하가 증가되는 것으로 보고하였고, 2005년과 2006년에 조사된(부산발전연구원, 2006; 2007) 유기물 오염관련종들인 *H. filiformis*, *Minuspia japonica*, *L. longifolia*는 본 조사의 우점종들과 큰 차이를 보이지 않아 오염부하가 증가된 이후 현재까지 유사한 상태가 지속되고 있는 것으로 보인다.

이번 조사에서 저서생물 군집은 사주를 중심으로 상부와 하부가 상이하게 구분된 공간적 특성을 가지고 있었다. 상부에서는 방류활동이 군집과 종조성에 영향을 미치고 있었고, 유입된 유기물은 오염된 지역의 생물상을 보여주나 오염의 정도는 크지 않았다. 하부는 사주의 존재로 인해 방류수의 영향이 크게 미치지 않은 것으로 나타났다.

감사의 글

국토해양부의 “하구역 종합관리시스템 개발연구(PM56260)” 지원에 의해 수행되었으며 심사자분들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 강창근, 백명선, 김정배, 이필용, 2002. 진주만에서 저서 다모류의 시·공간 분포. 한국수산학회지, 35: 35-45.
 건설교통부, 2006. 낙동강수계 본류(구포 등 3개소) 유량측정조사.
 김경희, 이인철, 2005. 낙동강 하구역의 입지성 부유물질 수치예측. 한국해양과학기술협의회, 2005년도 공동학술대회 논문집 pp. 1995-2011.

- 마채우, 홍성윤, 임현식, 1995. 득량만의 저서동물 분포. 한국수산학회지, **28**: 503-516.
- 박홍식, 임현식, 홍재상, 2000. 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상. 한국수산학회지 **33**: 262-271.
- 배경석, 윤일병, 1988. 낙동강 하구에 있어서 저질과 저서성 대형 무척추동물 군집의 특성에 관한 연구. 육수학회지, **21**: 93-116.
- 배경석, 윤일병, 1989a. 낙동강 하구의 환경특성과 저서성 대형 무척추동물의 동태에 관한 연구. 육수학회지, **22**: 11-27.
- 배경석, 윤일병, 1989b. 낙동강 하구의 저서성 대형무척추동물에 관한 생태학적 연구. 육수학회지, **22**: 337-356.
- 부산발전연구원, 2006. 낙동강하구 생태계모니터링(2005~2006). 부산발전연구원, 310 pp.
- 부산발전연구원, 2007. 낙동강하구 생태계모니터링(2006~2007). 부산발전연구원, 220 pp.
- 윤건탁, 서인수, 김광봉, 최병미, 손민호, 2009. 한려해상국립공원 조하대 해역 대형저서동물의 군집구조. 한국환경생물학회지, **27**: 124-133.
- 윤건탁, 정운환, 강래선, 2010. 복잡한 해안선 구조를 가진 통영 해역에서 조하대 저서생물 군집의 공간특성 비교. Ocean and Polar Research, **32**: 123-135.
- 윤일병, 배경석, 배연재, 어성준, 김기홍, 1986. 낙동강 하구의 저서성대형무척추동물의 계절적 군집구조에 관한 연구. 육수학회지, **19**: 19-38.
- 이형근, 이재학, 유옥환, 김종관, 2005. 낙동강 하구역 주변 대형 저서동물 군집의 공간 특성. Ocean and Polar Research, **27**: 135-148.
- 임현식, 박경양, 1998. 영산강 하구역 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 2. 여름철 빈산소 수괴의 출현과 저서동물 분포. 한국수산학회지, **31**: 343-352.
- 임현식, 박경양, 1998. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 1. 저서환경. 한국수산학회지, **31**: 330-342.
- 임현식, 박경양, 1999. 반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집. 한국수산학회지, **32**: 320-332.
- 임현식, 홍재상, 1994. 진해만 저서동물의 군집생태 1. 저서환경. 한국수산학회지, **27**: 200-214.
- 장인권, 김창현, 1992. 낙동강 하구역 건설에 의한 연체동물상 및 갑각류상의 변화에 관한 연구. 한국수산학회지, **25**: 265-281.
- 조경제, 1992. 낙동강 하구의 자연환경 및 생태변화. 인제대학교 부설 환경연구소 제1회 환경심포지움 발표논문집, 환경연구노트 제1호, pp. 23-48.
- 지운, 박상길, P.Y. Julien, 이원민, 2007. 낙동강 하류의 하상 형태의 분석 및 총유사량 공식 산정에 관한 연구. 대한토목학회, 2007년도 정기학술대회 논문집 pp. 4165-4168.
- 지운, P.Y. Julien, 박상길, 김병달, 2008. 낙동강 하류의 유사특성과 낙동강 하구둑 준설효과에 관한 수치모의 연구. 대한토목학회, **28**: 405-411.
- 최진우, 서진영, 2007. 마산만 저서생태계를 중심으로 연안해역 건강성 평가를 위한 저서생물지수의 적용. Ocean and Polar Research, **29**: 339-348.
- 최진우, 현상민, 장 만, 2003. 저서동물에 의한 여름철 광양만의 저서환경 상태과악. 한국환경생물학회지, **21**: 101-113.
- 현상민, 최진우, 최진성, 이태희, 2003. 진해만 입구해역의 표층 퇴적물 특성과 저서환경. 한국수산학회지, **36**: 700-707.
- 홍재상, 서인수, 이창근, 윤상필, 정래홍, 2000. 양양 남대천 하구역의 여름철 대형저서동물 군집의 생태학적 특성. 한국수산학회지, **33**: 230-237.
- 홍재상, 윤성규, 1983. 해양생물학·저서생물·아카데미서적, 서울, pp. 281-292.
- 홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건탁, 최병미, 유재원, 1997. 사회방조제의 건설은 저서동물군집의 시·공간 분포에 어떠한 영향을 미쳤는가?. 한국수산학회지, **30**: 882-895.
- Ana, P.M., M.T.S.D. Vasconcelos and A.A. Bordalo, 2003. Macro-benthic community in the Douro estuary: relations with trace metals and natural sediment. Environmental pollution, **121**: 169-180.
- Christine, R., A.M. Paul and A. Sally, 2005. Short-term succession dynamics of macrobenthos in a salinity-stressed estuary. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, **323**: 57-59.
- David, R.C. and J.S. Kirsty, 2006. The influence of dryseason conditions on the bottom dwelling fauna of an east Australian subtropical estuary. Hydrobiologia, **560**: 345-361.
- Eva, C., M. Dominguez and J.S. Troncoso, 2009. Trophic structure of softbottom macrobenthos in an inlet in north-western Spain. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, **89**: 439-447.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. J. Sed. Petrol., **27**: 3-27.
- Galkin, S.V., N.V. Kucheruk, K.V. Minin, A.K. Rayskiy and E.I. Gorosalvskaya, 2010. Macrobenthos of the OB River Estuarine Zone and of the Adjacent Regions of the Kara Sea. Marine biology ISSN 0001-4370, **50**: 793-797.
- Kanaya, G. and E. Kikuchi, 2008. Spatial changes in a macrozoobenthic community along environmental gradients in a shallow brackish lagoon facing Sendai Bay, Japan. Estuarine coastal and shelf science, **78**: 674-684.
- Kenji, Y., H.T. Hamada, K. Yamamoto, Y. Hayami and S. Yamaguchi, 2010. Effects of hypoxia and organic enrichment on estuarine macrofauna in the inner part of Ariake Bay. Hydrobiologia, **652**: 23-58.
- Lu, L., J. Grant and J. Barrell, 2008. Macrofaunal Spatial Patterns in Relationship to Environmental Variables in the Richibucto Estuary, New Brunswick, Canada. Estuaries and Coasts, **31**: 994-1005.
- Mcluskay, D.S., 1989. The estuarine ecosystem, 2nd. edition. Blackie, USA, pp215.
- Paula, C., M.F. Lane, M.L. Chaves, J.L. Costa, M.J. Costa and D.M. Dauer, 2007. Taxonomic sufficiency as a useful tool for typology in a poikilohaline estuary. Hydrobiologia, **587**: 63-78.
- Pearson, T.H., R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **16**: 229-311.
- Peter, R.T. and T. Wooldridge, 2001. A comparison of the macrobenthic faunas of permanently open and temporarily open/closed South African estuaries. Hydrobiologia, **464**: 227-243.
- Peter, R.T. and T. Wooldridge, 2003. What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **57**: 225-238.

- Sanders, H.L., 1986. Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist* **102**: 243–282.
- Shannon, C.E. and W. Wiener, 1949 *The Mathematical Theory of communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Warwick, R.M., 1986 A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, **92**: 557–562.
- 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*, **58**: 1250–1262.
- Yoo, J.W. and J.S. Hong, 1996a. Community structures of the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, **31**: 7–17.
- Yoo, J.W., and J.S. Hong, 1996b. Salinity and Sediment Types as Sources of Variability in the Distribution of the Benthic Macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, **31**: 217–231.

2011년 6월 10일 원고접수

2011년 10월 20일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출