

강화도 여차리 니질갯벌과 사질갯벌에 서식하는 중형저서동물의 군집구조

Meiobenthic Community Structure in Mud Flat and Sand Flat in Yeochari, Ganghwado

김 동 성* / 민 원 기** / 제 종 길***

Dong Sung Kim / Won Gi Min / Jong Geel Je

:: Abstract ::

Meiobenthic community structure was studied in intertidal mud flat and sand flat of Yeochari in Ganghwado in May and August, 1998. Sixteen groups of meiofauna were found at all study sites in the Yeochari tidal flats. Nematodes were the most dominant animal group among the meiofaunal groups as a whole. Sarcostomatopods, harpacticoid copepods, nauplius larvae of crustaceans and ciliophorans which were also important components of the meiofaunal community. All of these five faunal groups comprised more than 90% of total meiofauna. The maximum total density of meiobenthos was $5.8 \times 10^6 \text{ ind./m}^2$ at the station of sand flat in August and the minimum density was $4.0 \times 10^6 \text{ ind./m}^2$ at same station in May. Biomass of meiobenthos was 1.5 g/m^2 (May), 2.3 g/m^2 (August) at mud flat and 1.7 g/m^2 (May), 2.6 g/m^2 (August) at sand flat. At the station of mud flat in May, the highest density was observed within 1cm in depth of upper sediment and steeply decreased increasing depth of sediment. At the sand flat station in August, the highest density was also observed within 1cm in depth of upper sediment and decreased with depth, while the concentration of the animals at the surface was not conspicuous as the mud flat. The value of N/C(nematodes/benthic harpacticoids) ratio was the highest at the station of sand flat in May and the lowest at the sand flat in August.

Keywords : Meiobenthos, Nematodes, Harpacticoid copepods, Community structure, Ganghwado, Tidal flat

:: 요 지 ::

강화도 여차리 앞 니질 갯벌과 사질 갯벌에 서식하는 중형저서동물의 군집구조 특성을 알아보기 위하여, 1998년 5월과 8월 두 차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 두 시기의 각 조사지역에서 나타난 중형저서동물의 군집 조성을 보면 모두 총 16개의 분류군이 출현하였다. 중형저서동물 중 선충류가 각 시기와 지역에 있어 가장 우점 하였고, 그 외에 저서유공충류, 저서성 요각류, 갑각류의 유생, 섬모충류가 중요한 구성 분류군으로 출현하였다. 이상의 5개 분류군이 전체 중형저서동물 군집 서식밀도의 90% 이상을 나타냈다. 중형저서동물의 총 개체수는 8월의 사질갯벌 정점에서 가장 높은 $5.8 \times 10^6 \text{ ind./m}^2$ 의 서식밀도를 나타냈고, 가장 낮은 서식밀도는 5월의 사질 갯벌 정점에서 4.0

* 한국해양연구원 해양생물자원연구본부, E-mail : dskim@kordi.re.kr

** 한국해양연구원 해양생물자원연구본부, E-mail : wgmin@kordi.re.kr

*** 한국해양연구원 해양생물자원연구본부, E-mail : jgje@kordi.re.kr

$\times 10^6 \text{ind./m}^2$ 의 값을 보였다. 중형저서동물의 생물량은 5월에 니질 갯벌 정점에서 1.5g/m^2 , 8월에 2.3g/m^2 을, 사질갯벌에서 5월에 1.7g/m^2 , 8월에 2.6g/m^2 를 나타냈다. 5월의 니질갯벌 정점에서 가장 높은 서식밀도가 퇴적물 표층 0-1cm에서 나타났으며 퇴적물 깊이가 깊어짐에 따라 서식밀도는 급감하였다. 8월의 사질갯벌에서도 가장 높은 서식밀도는 표층 0-1cm에서 나타났지만 5월과 같은 표층부에서의 집중 서식과 같은 밀도 양상을 보이지는 않았다. 선충류/저서성요각류 값은 5월의 사질갯벌에서 가장 높게 나타나고, 8월의 사질갯벌에서 가장 낮게 나타났다.

핵심용어 : 중형저서동물, 선충류, 저서성 요각류, 군집구조, 강화도, 갯벌

1. 서론

국내 서·남해안에 잘 발달한 갯벌은 그 면적에 있어서, 북한의 갯벌과 압록강 하구까지의 갯벌을 하나의 연결된 서식처로 본다면($6,000 \text{km}^2$), 단일 국가가 보유하는 세계에서 가장 큰 규모를 가지는 갯벌로 평가된다(고철환, 2001). 또한, 잘 알려진 바와 같이 갯벌은 해안습지로서 수산물의 중요한 생산지일 뿐만 아니라, 정화작용, 홍수조절, 야생생물의 보존, 산란과 생육장소, 그리고 최근에는 관광지로도 주목을 받고 있다(제종길 등, 1998). 이런 광활한 면적을 차지하고 있고, 생태적, 환경적으로 중요하며, 우리 생활과 밀접한 관계를 가져왔음에도 불구하고, 그 중요성에 대한 인식부족으로 인해 농지와 산업용지를 확보하기 위한 간척의 대상이 되었고, 그 결과 국내 갯벌의 40%가 사라졌으며, 자연상태를 유지하는 갯벌은 극히 일부뿐이다(제종길 등, 1998). 이러한 상황속에서 1999년에 습지보전법이 제정 발표되면서 갯벌은 연안습지의 일부로 정의되었고, 이로 인해 갯벌에 대한 보전은 새로운 국면을 맞이하게 되었다(해양수산부, 2000). 그러나, 이렇게 강력한 습지보전 의지를 담고 있는 법이 존재하고 있음에도 불구하고 국내 여러 지역에서 여전히 갯벌 간척사업이 진행 중이며, 이중에서도 특히 경기만 일대의 갯벌은 수도권과 인접하기 때문에 지금까지 많은 갯벌이 육지화 되었고, 현재에도 대형개발사업이 진행 중에 있다(건설교통부, 1996). 인천광역시를 포함하는 경기도 갯벌은 전체 838.5km^2 로서 우리나라 전체 갯벌의 35%를 점유하며, 한강, 임진강, 예성강 등을 통해 유출되는 담수에 의해 서해의 해수가 희석되어지는 하구 환경이며, 갯벌의 발

달 형태도 복잡하다(고철환, 2001). 이 지역의 갯벌은 한강 하구역에서 유입되는 유기물과 퇴적물의 영향에 따라 계절적인 퇴적상의 변화가 매우 심하게 나타나고 있으며, 이로 인해 경기만 일대 갯벌에 서식하고 있는 생물들의 분포 역시 계절적으로 크게 변화한다(Yoo와 Hong, 1996). 특히, 본 연구의 대상지인 강화도 갯벌은 국내 현존하는 하구 갯벌 중에서 가장 자연성이 높은 갯벌이며, 대단위 저서동물 군집이 있어서 보호해야 할 철새 도래지이며, 다양한 소규모 생태계가 존재하고 있어 생물다양성이 매우 높기 때문에 매우 중요한 지역으로, 최근 들어 국가 단체와 연구자들의 주목을 받아오고 있으며, 이런 상황 속에서 이 지역에 대한 체계적인 연구가 시급한 실정이다(제종길 등, 1998). 지금까지 강화도 갯벌에서 수행된 저서 생태계 연구는 1980년대 들어 몇 편의 갑각류의 서식에 관한 연구(Kim 등, 1981; Kim과 Choe, 1982)와 1990년대에 실시된 연구보고서 몇 편(한국해양연구소, 1998a, 1998b, 2000), 철새의 먹이로서의 저서동물 연구(Lee 등, 1999) 등 뿐이어서, 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서 다루고 있는 중형저서동물은 생물크기로 볼 때, 1mm 망목의 체를 통과하여 $32 \mu\text{m}$ 의 체에 걸러지는 크기를 가지는 모든 무척추동물 그룹을 지칭하며, 갯벌 퇴적물 내에서 매우 높은 서식밀도와 다양성을 가지기 때문에 갯벌 생태계 전반의 에너지 흐름에 중요한 역할을 하고 있다(Higgins와 Thiel, 1988; Giere, 1993; Coull, 1999). 이들 중형저서동물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 안정된 환경을 강하게 요구하며, 생활사가 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에 군집변화

를 보이며, 작은 환경의 변화에도 민감하게 반응을 한다(김동성과 이재학, 2000; Coull, 1999). 이러한 생태적인 유용성과 중요성에도 불구하고 대형저서동물에 비하여 소형이고 취급이 어렵기 때문에, 아직까지 연구가 미흡한 실정으로, 국내에서는 최근 국내 연안에서의 환경과 관련된 몇 편의 군집 구조에 관한 연구 및 심해에서의 연구가 있었을 뿐이다(김동성, 1997; 김동성 등, 1998a; 김동성 등, 1998b; 김동성 등, 2000; 김동성과 이재학, 2000; 김동성 등, 2001; 민원기 등, 2003). 강화도 갯벌에 관한 중형저서동물에 관한 연구는 Kim 등(2000)에 의하여 수행된, 강화도 남단 갯벌에서의 군집 구조와 공간 분포에 관한 연구가 있다.

우리나라의 갯벌이 세계적인 규모로 잘 발달한 것이며, 갯벌이 가지는 여러 가지 유익한 기능과 주변 유역에 미치는 영향을 고려할 때, 강화도 갯벌은 한강하구의 자연성을 간직한 갯벌로서 지속적이고 체계적인 다양한 분야의 연구가 필요하다. 본 연구는 강화도 여차리 사질 갯벌과 니질갯벌에서의 중형저서동물 군집구조 특성을 고찰하여 향후 갯벌 연구에 기초 자료를 제공하는 데에 그 의미를 가진다.

2. 조사 방법

강화도는 경기만 북부, 동경 126° 21' ~ 32', 북위 37° 35' ~ 50' 에 위치하며, 섬의 동쪽에는 김포반도와와의 사이에 300~1,500m 폭의 좁은 염하수로가 있고, 서쪽은 약 1,200~3,800m 폭의 석모수도로 교동도와 석모도와 분리된다. 완만한 경사도에 의한 강의 완만한 흐름은 육상기원의 퇴적물을 하구역에 퇴적시키고, 최대 9.5m에 이르는 큰 조차는 광범위한 대조(macrotidal flat) 갯벌을 형성하게 하였으며, 그 주변부에는 갯벌의 지형적인 특성에 따라 갈대, 천일사초, 칠면초 그리고 잘피가 서식하는 현화식물 군락지가 있으며, 강화도 주변의 해수는 북쪽에서 남쪽으로 내려올수록 염분이 높아져 뚜렷한 구배를 나타내는 기수의 특성을 가져 더욱 다양한 환경을 조성한다(제종길 등, 1998).

이러한 특성을 가지는 강화도 조간대 갯벌에 서식하는 중형저서동물군집의 수평적 생물상, 밀도 및 수직적 변화 등을 조사하기 위하여 여차리 앞 갯벌에서 1999년 5월과 8월 두 차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사지선에 저서생물의 분포에 영향을 미치는 중요한 요소의 하나인

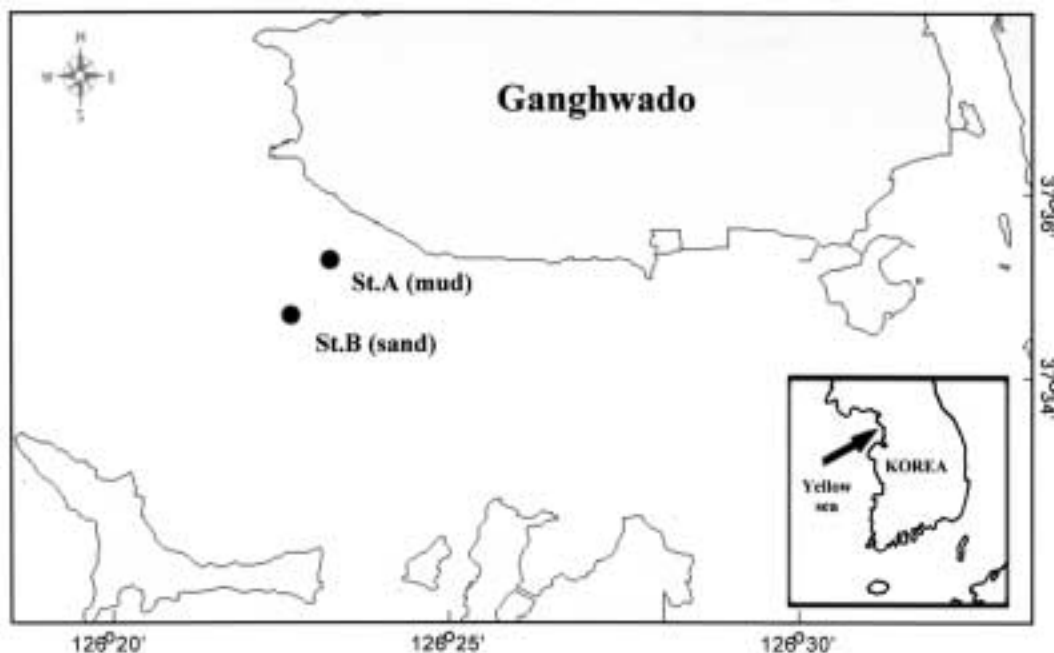


Fig. 1. A map showing the study area and sampling stations for meiobenthos in Yeochari, Ganghwado tidal flat

퇴적물 입도에 차이를 보이는 두 군데의 정점 A, 정점 B를 선정하였다. 정점 A는 조간대 최상부에서 남쪽으로 500m 지점으로 평균입도 5.39φ로 빨의 함량이 81%이상인 니질(mud) 갯벌 지역이며, 정점 B는 조간대 최상부에서 정점 A와 같은 지선 상에 1,100m 떨어진 지점으로 평균입도 3.17φ의 모래입자 함량이 99%이상인 사질(sand) 갯벌 지역이다(한국해양연구소, 1998b; Fig.1).

각 정점에서 직경 3.6cm 크기의 아크릴로 된 튜브를 코어링하여 퇴적물을 채취한 후, 표층으로부터 깊이 10cm까지를 각각 1cm씩(0~1, 1~2, 2~3, 3~4, 4~5, 5~6, 6~7, 7~8, 8~9, 9~10cm) 자른 다음 로즈벵갈(rose bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 현장에서 연구소로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1mm, 500μm, 250μm, 125μm, 63μm, 37μm)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수하였다. 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 밀도 및 수직분포는 10cm까지 처리한 시료의 분석에서 전 생물군이 표층 5cm안에 90%이상 차지하고 있기 때문에 본 논문에서는 5cm까지의 시료의 값으로 균일하게 표현하기로 하였다.

생체량 분석은 Shirayama(1983)의 중형저서동물의 주요 분류군별 개체 당의 ash free dry weight(μg) 환산 값을 사용하였다(Table 1).

3. 결과 및 고찰

3.1 군집구성 및 서식밀도

두 계절에 있어서 각 조사정점에서 나타난 중형저서

동물의 군집 구성을 보면 모두 총 16개의 중형저서동물 그룹이 출현하였다(Table 2). 각 정점별 각 군집의 비율을 보면, 5월에는 정점 A, B에 있어서 두 지역 모두 선충류(nematodes)가 가장 높은 비율을 차지하여 각각 70%, 71%를 보였다. 그 다음으로 높은 비율을 차지하는 분류군도 두 지역 모두 저서유공충류(sarcomastigophorans)로 각각 14%, 23%를 나타냈다. 즉 두 분류군이 정점에서 각각 84%, 94%를 차지하고 있는 값이 된다. 중형저서동물은 일반적으로 선충류와 유공충류가 우점하며, 지역에 따라서는 선충류와 저서성 요각류(benthic harpacticoid copepods)가 우점하는 곳도 있으며, 양자를 합하면 전체 개체수의 약 80~90%정도를 차지하는 것이 일반적인 통계이다(Shirayama와 Kim, 1998). 이러한 일반적인 관점에서 두 시기의 각 정점에서 이들 두 그룹의 높은 비율은 해양 저서환경에서의 일반적인 조성비율을 나타내었다. 두 지역 모두에서 선충류의 서식밀도는 비슷한 우점양상을 보였으나, 저서유공충류의 경우는 사질갯벌 지역인 정점 B에서는 더 높게 나타나는 경향을 나타냈으며, 그 다음으로 높게 나타나는 분류군인 저서성 요각류는 니질갯벌 정점 A에서 7%로 사질갯벌 정점 B에 비하여 상대적으로 높은 서식밀도를 보였다. 그 다음이 갑각류의 유생으로 각각 4%, 1%의 우점양상을 나타내서, 저서성 요각류의 분포패턴과 비슷한 경향을 보였다. 이외의 동물그룹들은 정점 A의 섬모충류를 제외하고는 1% 미만의 조성비를 나타냈다.

8월의 경우를 보면 높은 서식비율을 차지하는 상위 7개의 분류군에 있어서는 5월의 경우와 같은 양상을 보이고 있었으며, 선충류가 가장 높은 비율을 나타내

Table 1. Standard ash free dry weight(μg) per individual for four meiobenthic animal groups (Shirayama, 1983)

(unit: ash free dry weight(μg) per individual)

Size range(mm)	Rhizopods	Nematodes	Copepods	Others
1.000-0.500	5.500	4.000	83.000	43.000
0.500-0.250	1.500	1.100	8.200	7.200
0.250-0.125	0.410	0.320	0.810	1.200
0.125-0.063	0.110	0.090	0.080	0.200
0.063-0.037	0.043	0.035	0.014	0.052

질갯벌 정점 A에서는 66%, 사질갯벌 정점 B에서는 55%를 나타냈다. 그 다음으로 유공충류가 정점 A에서 17%, 정점 B에서는 26%를 차지했다. 5월의 결과와 마찬가지로 유공충류의 비율은 사질갯벌 정점 B에서 높게 나타나서, 이들의 서식에 유리한 조건임을 유추할 수 있다. 다음으로 우점한 저서성 요각류의 경우는 사질갯벌 정점 B에서 5월에 비하여 다소 증가한 양상이 보였으며, 그 이하의 동물 그룹에서는 다모류가 5월에 비하여 10~15개체 증가한 경향이 나타났으며, 이때패류는 거의 변화가 나타나지 않았다(Table 2).

서식밀도는 5월의 경우 니질갯벌 정점 A에서는 총 4,010개체/10cm², 니질갯벌 정점 B에서는 5,019개체/10cm²의 값을 보였다(Table 2). 각 정점에서 우점하고 있는 각 군집의 개체수를 보면 정점 A, 정점 B 모두 선충류가 우점하여 각각 2,818개체/10cm², 3,580개체/10cm²로 가장 많이 서식하고 있었으며, 그 다음으로는 저서유공충류가 우점하여 각각 569개체/10cm², 1,146개체/10cm²를 보였다(Table 2). 저서유공충류 다음으로는 저서성 요각류가 높은 개체수를 나타내, 두 정점

각각에서 271개체/10cm², 142개체/10cm²를 나타냈다. 니질갯벌 정점 A에서는 단각류(Amphipods)가, 사질갯벌 정점 B에서는 복족류(Gastropods)와 성구동물류(Sipunculids)가 출현하여 서식 분류군의 차이가 보였으나, 8월 자료와 비교하면, 일시적인 출현이었으며, 복족류의 경우에는 사질갯벌 정점 B에서만 출현하는 양상이 나타났다.

8월 역시 가장 우점하는 분류군은 정점 A, 정점 B 모두 선충류(nematodes)로 각각 3,312개체/10cm², 3,217개체/10cm²를 나타냈으며, 이는 인근 대부분 갯벌과 시화호에서 수행된 중형저서동물의 연구(김동성과 이재학, 2001, 김동성 등, 1998b, 2000)에서 보여진 선충류의 서식밀도에 비하여 상당히 높은 서식밀도 값이다. 그 다음으로 우점하는 분류군은 5월과 마찬가지로 저서유공충류로 정점 A에서 840개체/10cm², 조사지선 B에서 1,563개체/10cm²의 서식밀도를 나타냈다. 저서성 요각류는 정점 A에서 456개체/10cm², 정점 B에서 557개체/10cm², 갑각류의 유생은 정점 각각에서 266개체/10cm², 371개체/10cm²로 비교적 높은 서식

Table 2. Number and percentage of meiobenthos at each stations of Ganghwado tidal flat in May and August, 1998

(unit: Ind./10cm²)

	May				August			
	st.A	%	st.B	%	st.A	%	st.B	%
Nematodes	2818	70.27	3580	71.33	3312	66.43	3217	55.03
Sarcomastigophorans	569	14.19	1146	22.83	840	16.85	1563	26.74
Harpacticoids	271	6.76	142	2.83	456	9.15	557	9.53
Nauplius	171	4.26	43	0.86	266	5.33	371	6.35
Ciliophorans	94	2.34	35	0.70	40	0.80	51	0.87
Turbellarians	37	0.92	14	0.28	20	0.40	20	0.34
Polychaetes	10	0.25	11	0.22	15	0.30	16	0.27
Bivalves	8	0.20	9	0.18	9	0.18	11	0.19
Ostracods	4	0.10	1	0.02	2	0.04		
Gnathostomulids	3	0.07	4	0.08	3	0.06	18	0.31
Amphipods	2	0.05						
Cnidarians	2	0.05	4	0.08	2	0.04		
Nemertines	2	0.05	6	0.12	6	0.12	8	0.14
Gastropods			1	0.02			2	0.03
Sipunculids			1	0.02	1	0.02	1	0.02
Cumaceans					1	0.02		
Others	19	0.47	22	0.44	13	0.26	11	0.19
Total	4010	100.00	5019	100.00	4986	100.00	5846	100.00

밀도를 나타냈다. 두 정점의 비교에서는 8월도 5월과 마찬가지로 사질갯벌 정점 B에서의 총 개체수가 5,846 개체/10cm²로 니질갯벌 정점 A의 4,986개체/10cm²보다 다소 높은 서식밀도를 보였다.

두 계절의 두 정점에서 분류군 별로 서식밀도 값을 보면 가장 우점 그룹인 선충류는 5월의 사질갯벌 정점 B에서 가장 높은 3,580개체/10cm²의 서식밀도를 나타냈다(Table 2, Fig. 2). 그 다음 유공충류는 두 계절 모두 사질갯벌의 경우가 니질갯벌보다 서식밀도가 높게 나타났으며, 가장 높은 서식밀도는 8월에 1,563개체/10cm²의 서식밀도를 보였다(Table 2, Fig. 2). 저서성 요각류의 경우도 8월의 정점 B에서 가장 높은 값인 557개체/10cm²의 값을 보였는데, 이들 그룹이 퇴적물의 간극을 자유롭게 유평하는 특성을 갖고 있다는 점과 그들의 몸의 구조가 뿔 보다는 모래에 더욱 적응해 있기 때문에(Hicks와 Coull, 1984), 니질갯벌인 정점 A보다 사질갯벌 정점 B의 서식밀도가 높게 나타났다. 5월에는 정점 B에 비하여 조간대 상부쪽에 위치한 정점 A에서의 서식밀도가 다소 높게 나타났는데, 이는 일반적으로 저서성 요각류는 산소 조건과 온도 조건에 많은 영향을 받으며, 섭식 특성상 주로 저서구조류를 섭취하는 종들이 많은 것으로 알려져 있으므로(Hicks와

Coull, 1984; Giere, 1993), 이러한 특성을 고려할 때, 온도가 높고, 산소량이 풍부하며, 조간대 상부의 긴 노출 시간으로 인한 저서구조류의 높은 서식밀도를 가질 것으로 예상되는 정점 A에서 저서성 요각류의 서식이 다소 유리했을 것으로 사료된다.

3.2 수직분포

두 시기의 각 정점에서의 중형저서동물의 퇴적물 내에서의 수직적인 분포를 보면, 표층 0-1cm 에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈다(Fig. 3). 5월의 경우 니질갯벌 정점 A에서 표층 0-1cm에 비해 그 이하의 층인 1-2cm층에서는 개체수의 급격한 감소가 나타났으며, 그 이하로 내려갈수록 점진적으로 감소하는 현상이 나타났다. 8월에도 거의 비슷한 양상을 나타냈으며, 분류군 별로 살펴보면, 가장 우점한 그룹인 선충류의 경우에 5월에 비해 8월에 깊이의 증가에 따른 서식밀도 감소가 다소 완만해진 것을 알 수 있으며, 이는 5월에 표층에 선충류가 대량으로 밀집하여 서식하고 있음을 시사한다(Fig. 3). 다음으로 우점한 그룹인 저서유공충류는 깊이 에 따른 서식밀도 감소가 다소 완만한 경향을 두 계절에 걸쳐 나타냈으며, 8월에 표층부로 갈수록 서식밀도가

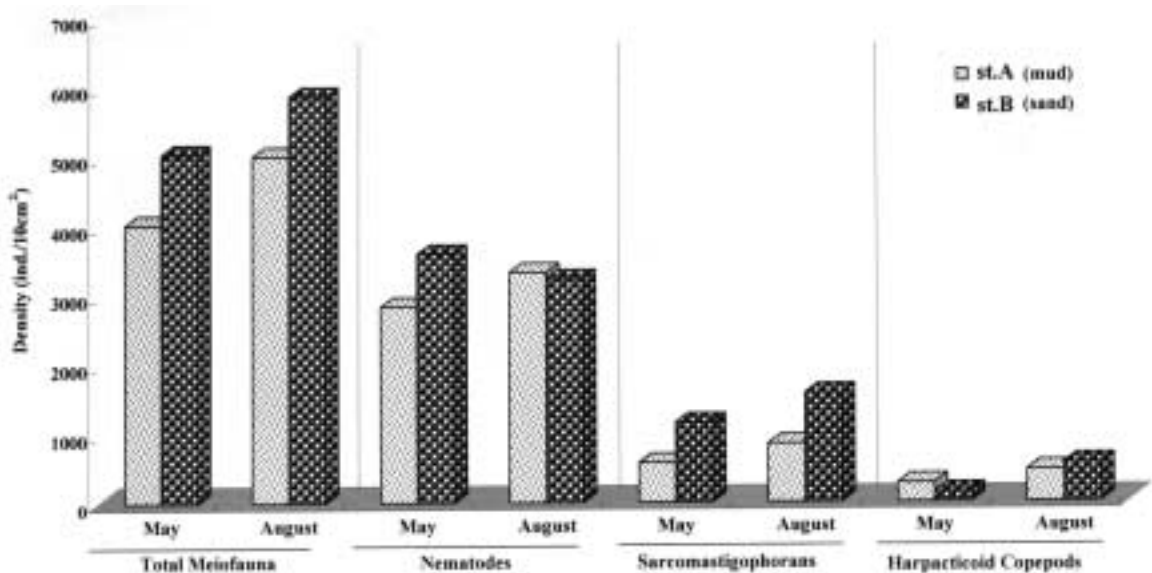


Fig. 2. Seasonal fluctuations of abundance of dominant meiofaunal groups in the study area of Yeochari tidal flat in Ganghwado

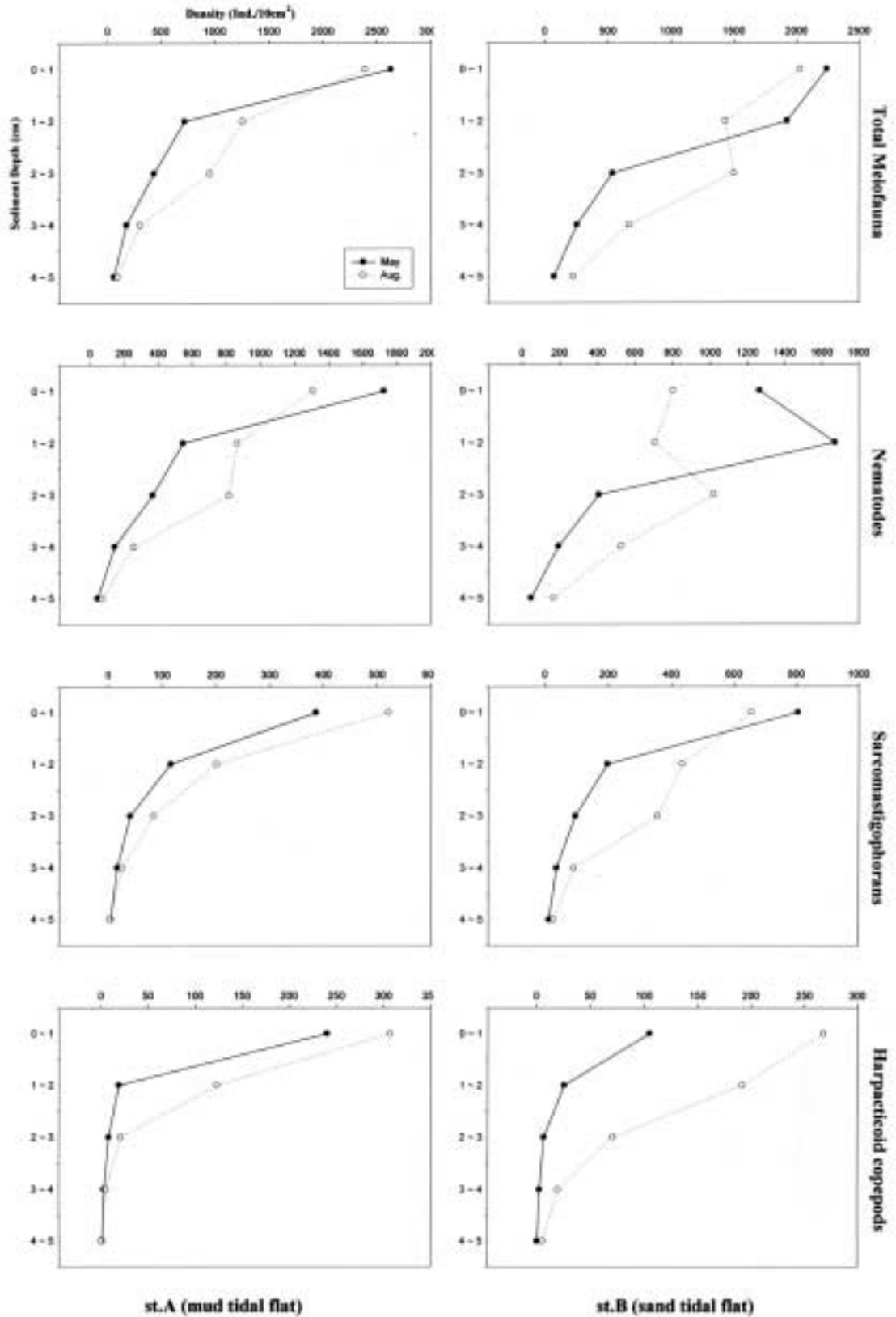


Fig. 3. Vertical distribution of dominant meiofaunal groups at study site in May and August, 1998

비례적으로 늘어난 것으로 볼 수 있었다(Fig. 3). 빈산소 환경에 가장 민감한 그룹인 저서성 요각류는 깊이 따른 가장 급격한 감소를 보였으며, 0-1cm 층에 거의 대부분의 출현 개체들이 밀집해 있었다. 다른 분류군과 마찬가지로 8월에 서식깊이가 다소 깊어진 것을 나타내서, 5월에 비하여 중형저서동물 서식에 더 알맞은 환경이 더 깊은 깊이로 확산됨을 볼 수 있었다(Fig. 3).

사질 퇴적물로 이루어진 정점 B의 중형저서동물 수직분포 역시 표층에 밀집되어 있었다(Fig. 3). 니질 갯벌에 비하여 서식깊이가 다소 깊게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 중형저서동물의 서식공간인 퇴적물 입자 사이의 공간 조건에 있어서, 니질 갯벌보다 사질 갯벌이 유리하기 때문이며, 이에 따라 산소의 확산과 영양물질의 공급이 원활한 데에서 기인하는 것으로 알려져 있다(Higgins와 Thiel, 1988; Giere, 1993). 정점 A와 마찬가지로 전 분류군의 서식밀도로 봤을 때, 8월의 서식깊이가 다소 깊은 곳 까지 확장된 것으로 보여지며, 분류군별로 살펴보면, 선충류의 경우는 깊이에 따른 서식밀도의 감소가 다른 우점그룹들이 거의 비례하게 나타난 것과는 다르게 1-3cm 깊이에서 많은 수의 선충류가 서식함이 나타났다. 특히, 5월의 경우에는 가장 많은 수의 선충류가 2-3cm 층에서 출현하는 현상이 나타났는데, 이러한 수직구조의 특성은 주로 대형저서동물 특히 갯지렁이에 의해서 만들어진 퇴적물 내의 터널에 의해서 나타날 수 있으며, 이러한 터널로 인해 산소의 원활한 공급과 터널 벽면에서 공급되는 먹이물질 때문에 많은 수의 중형저서동물들이 서식하기에 유리한 조건이 되는 것으로 알려져 있다(Reise, 1985). 또한, 시기에 따른 다른 종의 선충류 개체군들 간의 차이 양상이 다르게 나타나므로, 이러한 수직분포의 계절적 증감이 다르게 나타날 수 있기 때문에, 좀더 정확한 수직분포 패턴을 이해하기 위해서는 세분화된 동정결과를 가지고 분석하는 것이 요구된다. 저서유공충류는 니질 갯벌의 경향과 거의 비슷한 특징을 보였으며, 저서성 요각류의 수직분포는 니질 갯벌의 정점 A에 비하여 여름철의 서식 깊이가 매우 깊은 곳 까지 확장되어 있었다(Fig. 3).

3.3 생물량

두 시기의 니질 갯벌 정점 A에서의 생물량을 살펴보면 5월에 있어서는 중형저서동물의 총 생물량은 $1,544.0\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 나타냈고, 8월의 경우는 5월보다 다소 높은 $2,277.3\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 보였다(Table 3). 이를 g 과 m^2 당 생물량 값으로 환산하면 5월에는 $1.5\text{g}/\text{m}^2$, 8월에는 $2.3\text{g}/\text{m}^2$ 의 값이 된다. 분류군 별로 살펴보면 5월과 8월 모두에 있어서 저서성 요각류가 가장 높은 생물량을 나타내, 5월에는 $1.3\text{g}/\text{m}^2$, 8월에는 $0.6\text{g}/\text{m}^2$ 의 값을 보였다. 이는 각각의 시기에 있어서 중형저서동물의 총 생물량의 약 반에 가까운 값으로, 개체수에 있어서 가장 우점한 선충류는 5월에는 $0.5\text{g}/\text{m}^2$ 의 값을 보여 저서성 요각류와 거의 차이가 없는 값을 보였지만 8월에는 $0.6\text{g}/\text{m}^2$ 의 값을 나타내 같은 시기의 저서성 요각류에 비해서는 약 절반 정도의 값을 나타냈다. 결과적으로는 선충류는 계절에 상관없이 일정한 값을 보인 반면 저서성 요각류는 5월에 비해 8월이 약 2배 이상의 높은 값을 보였다. 저서유공충류는 이들보다는 낮은 값으로 두 계절 모두 $0.1\text{g}/\text{m}^2$ 의 값을 나타냈다. 깊이별로 살펴보면, 서식밀도의 수직분포와 비슷한 양상을 보이는데, 5월에는 표층 0-1cm에 전체 생물량의 72%가 분포되어 있는 것으로 나타나며, 8월에는 57%가 표층 1cm 이내에 분포하여, 서식깊이가 여름철에 다소 깊어지는 양상을 잘 보여준다(Table 3).

사질 갯벌 정점 B에서의 생물량을 살펴보면, 5월은 중형저서동물의 총 생물량은 $1730.8\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 나타냈고, 8월의 경우는 5월보다 다소 높은 $2647.6\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 보였다(Table 3). 이를 g 과 m^2 당 생물량 값으로 환산하면 5월에는 $1.7\text{g}/\text{m}^2$, 8월에는 $2.6\text{g}/\text{m}^2$ 의 값이 된다. 분류군 별로 살펴보면 정점 A와는 다르게 5월에는 선충류가 생물량에 있어서 우점하는 양상을 나타냈으며, 니질 갯벌의 정점과 비교했을 때, 다소 높은 생물량을 보였다. 서식밀도에 근거한 시기별 비교에서는 5월과 8월이 거의 같은 값을 보인데 반하여, 생물량에 있어서는 1.5배가 넘는 차이를 나타냈다. 이는 선충류보다 요각류의 개체당 평균 건중량이 많이

Table 3 Biomass of meiobenthos at each study site in Ganghwado tidal flat

(unit: ash free dry weight(μ g) per individual)

		Sediments depth(cm)					Total
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	
May-98	st.A						
	Nematodes	270.6	96.9	97.8	31.3	11.9	508.4
	Sarcomastigophorans	61.4	14.3	9.7	2.5	1.2	89.0
	Harpacticoids	603.3	34.6	13.1	1.7	0.1	652.9
	Others	181.8	21.2	22.2	14.1	54.5	293.6
	Total	1117.0	167.0	142.8	49.5	67.6	1544.0
	st.B						
	Nematodes	199.9	497.8	122.3	51.3	17.4	888.6
	Sarcomastigophorans	75.9	28.6	13.7	5.6	1.7	125.6
	Harpacticoids	414.2	29.2	10.9	9.1	0.8	464.2
Others	55.3	26.6	17.7	138.8	14.0	252.3	
Total	745.4	582.2	164.6	204.7	33.9	1730.8	
Aug-98	st.A						
	Nematodes	213.5	167.1	172.2	48.1	12.5	613.5
	Sarcomastigophorans	67.0	25.0	13.4	3.3	0.7	109.5
	Harpacticoids	853.1	383.7	21.5	2.5	0.0	1260.8
	Others	181.8	21.2	22.2	14.1	54.5	293.6
	Total	1315.3	596.9	229.3	68.1	67.7	2277.3
	st.B						
	Nematodes	163.0	189.2	214.9	136.1	32.6	735.7
	Sarcomastigophorans	71.6	46.9	41.6	8.4	4.4	172.9
	Harpacticoids	803.1	446.4	70.7	9.5	2.7	1332.4
Others	82.0	104.6	59.3	79.0	81.8	406.6	
Total	1119.7	786.9	386.5	232.9	121.5	2647.6	

나가기 때문이며, 중형저서동물의 군집변동을 해석하는 데에는 서식밀도와 함께 생물량을 함께 고려하는 것이 요구된다.

중형저서동물의 개체수 밀도는 1m^2 당 $10^6\sim 10^7$ 개체 정도로(McIntyre, 1969), 개체수 밀도는 주로 유기물의 양, 저질 간극 공간량 및 간극수 중의 산소량에 의존한다(Higgins와 Thiel, 1988; Giere, 1993). 적절한 양의 식물이 공급되어, 산화적 조건이 갖추어지고 또한 입도가 거칠어 간극공간이 많은 퇴적물에는 1m^2 당 1억 개체에 달하는 다수의 중형저서동물을 볼 수 있다(Higgins와 Thiel, 1988). 중형저서동물의 현존량은 1개체당 $10\mu\text{g}$ 정도이기 때문에, 정밀 저울을 이용해서 측정하는 것은 어렵기 때문에, 건조 중량을 측정하기 위해서는 천 개체 정도를 모을 필요가 있고, 또 건조되어져 버린 표본은 후에 다른 연구 목적으로 사용되는 것

은 불가능하기 때문에 다른 방법이 요구되어져 왔다. 이러한 이유로부터 중형저서동물의 현존량은 몸의 체적을 측정해서 비중을 곱하는 방법, 혹은 "체"를 사용하여 중형저서동물을 촘촘한 체적 분할로 나누어 각각의 분할된 분에 대해서 미리 구해져 있는 평균 체중을 사용해서 추정하는 방법 등을 들 수 있다(Shirayama, 1983). 이 방법으로 추정되어진 중형저서동물의 일반적인 생물량은, 1m^2 당 약 $1\sim 10\text{g}$ 로서, 본 연구에서 계산한 강화도 여차리에서의 두 시기의 중형저서동물의 생물량은 각각 5월에는 $1.5\text{g}/\text{m}^2$, $1.7\text{g}/\text{m}^2$, 8월에는 $2.3\text{g}/\text{m}^2$, $2.6\text{g}/\text{m}^2$ 로 이 범위 안의 값이지만 다소 낮은 값을 보였다.

저서생물군집 전체의 생산량에 대한 중형저서동물의 기여에 대해 Gerlach(1971)는 박테리아의 생산량과 중형저서동물의 생산량이 거의 같고, 대형저서생물의 생

산량은 중형저서동물의 약 1/5이라고 주장하고 있다. 이러한 계산대로라면 중형저서동물의 생산량이 저서생물군집 전체의 약 42%를 차지한다. 따라서 중형저서동물의 생산량을 추정하는 것이 가능하다면 저서 생물 군집 전체의 생산량도 어느 정도의 정밀도로 추정할 수 있다. 다른 생물과 비교하면 대형저서생물처럼 대량의 퇴적물 시료가 없어도 충분히 정량적인 자료를 얻을 수 있다는 것, 박테리아처럼 살아있는 상태의 시료가 아니더라도(살아있는 균수가 필수, 현존량이 추정 가능하다)는 것 등을 고려하면 중형저서동물은 생산량의 추정을 위한 연구 대상으로 많은 이점이 있다.

이처럼 중형저서동물은 환경의 지표생물로서의 유용성과 저서생물군집에 있어서 중요한 역할을 가지고 있는 것이 넓게 인식되어지게 되었다. 금후에도 이 크기의 동물에 관한 연구를 점차로 추진해 나아가지 않으면 아니 될 것이다.

3.4 N/C ratio

두 시기의 각 정점에서 출현하는 대표적인 우점 분류군이며 또한 생리, 생태적 특성에 있어 다소 차이를 보이는 선충류와 저서성 요각류의 비인 N/C값을 살펴보면 두 계절 사이에서는 5월의 경우가 8월보다 두 정점 모두 높은 값을 나타냈다(Table 4). 5월 정점 B의 N/C값은 가장 높아 25.2를 보였다. 이에 비해 8월의 경우는 낮은 값을 보여 정점 A에서는 7.3의 값을, 정점 B에서는 5.8의 값을 나타냈다(Table 4). 이는 5월에 비해 8월의 서식환경이 생물들이 서식하기에 보다 적합한 환경이라는 것을 시사하는 것을 의미한다.

저서성 요각류의 그룹들은 서식지마다의 간극환경에

특이적으로 적응하고 있으며, 보통의 요각류는 몸의 길이와 같은 정도로 긴 수염을 갖고 있는 것에 비해, 저서성의 것은 아주 짧다(Giere, 1993). 저서성 요각류는 빈 산소 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히, 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다(Raffaelli 와 Mason, 1981). 그러나 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 인성이 높을 뿐 아니라, 일부의 그룹이 빈 산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 가지기 때문에(Heip, 1980; Moore와 Bett, 1989), N/C 값은 환경오염이 진행된 해역에서 높게 나타나며, 오염이 더 심한 장소에서는 저서성 요각류의 서식 비율이 낮아지기 때문에, N/C 값은 더 높게 나타나는 반면, 오염의 영향이 적은 곳에서는 낮게 나타난다. 중형저서동물의 분류를 종 단위까지 낮추려고 하는 것은 아주 어려운 일이지만, 저서성 요각류, 선충류 등의 고위의 분류 계급은 쉽게 동정 가능하기 때문에, 이 선충류/저서성 요각류의 비는 편리한 환경 지표로써 점차 사용되어지고 있다. N/C 값은 환경오염의 하나의 지표로서 활용되어온 연구도 늘어나고 있다(Raffaelli, 1981, 1987; Raffaelli와 Mason, 1981; Coull 등., 1981; Warwick, 1981; Amjad와 Gray, 1983; Lambshad, 1984; Shiells와 Anderson, 1985; Itaoka와 Tamai, 1995). 또한, 동문동물류(Kinorhynchs)는 요각류보다 악화된 환경에 더 민감한 동물이라고 알려져 있으므로, 선충류/동문동물류 비를 선충류/저서성 요각류 비와 병용한다면 더욱 양질의 결과 값을 얻을 수 있리라 생각된다. 이에 대한 접근으로 최근 우리나라의 통영해역에서의 연구가 있다(김동성 등, 1998a). N/C 값이 사질해안 이외의 경우 고려해야 할 여러 변수가 있다는 것이 지적되어 왔고, 하수 처리장으로 인한 영향의 차원에서 이루어진 연구가 많은 수를 차지한다고 볼 때, 아

Table 4. N/C(Nematodes/harpacticoid Copepods) ratio at each station in Yeochari tidal flat of Ganghwado in May and August, 1998

(unit: Ind./10cm²)

	May		August	
	st. A	st. B	st. A	st. B
Nematodes	2818	3580	3312	3217
Harpacticoids	271	142	456	557
N/C ratio	10.4	25.2	7.3	5.8

직 이에 대한 보다 더 많은 환경에서의 조사와 자료의 축적이 있어야 이 값의 유효성에 대한 명확한 답을 기대할 수 있으리라 생각한다. 이러한 관점에서 볼 때 강화도 여차리 갯벌에서의 5월의 서식환경이 8월에 비해 상대적으로 불리하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 1998년 서해안의 경기만에 북부에 위치한 한강하구의 영향을 받는 강화도 남단 여차리 갯벌에서 중형저서동물 군집구조 특성을 파악하고자 5월과 8월에 퇴적물이 니질인 정점과 사질인 두 정점에서 수행되었다(Fig. 1). 분석결과, 전체 16개의 중형저서동물 그룹이 출현하였으며, 두 정점 모두 선충류가 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 저서유공충류 저서성 요각류가 우점하는 일반적인 연안퇴적물의 중형저서동물 우점 그룹 조성비를 나타냈다(Table 2). 두 정점의 비교에서는 사질 갯벌 정점 B에서 니질 갯벌 정점 A보다 다소 높은 서식밀도를 보였으며, 시기적으로는 5월보다 8월에 서식밀도가 높게 나타났다(Fig. 2). 퇴적물 내에서의 수직적인 분포를 보면, 표층 0-1cm 에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈으며, 그 이하로 내려갈수록 점진적으로 감소하는 현상이 나타났다(Fig. 3). 우점분류군인 선충류와 저서유공충류의 수직분포 역시 5월 8월 모두에서 표층 선호 양상이 잘 나타났으며, 특히 저서성 요각류의 경우는 가장 큰 기울기로 퇴적물의 깊이에 따라 감소하는 현상을 보였다(Fig. 3). 선충류의 경우는 8월의 사질 조사 정점 B에서 불규칙한 수직분포 패턴을 보여서, 다른 대형저서동물에 의해서 만들어진 퇴적물내 구조에 대한 영향을 시사하였고, 전반적으로 5월에 비해서 8월의 서식깊이가 깊어진 것을 볼 수 있었다. 생물량은 정점 A의 5월에 $1.5g/m^2$, 8월에 $2.3g/m^2$ 의 값을 보였으며, 사질 갯벌 정점 B에서는 5월에 $1.7g/m^2$, 8월에는 $2.6g/m^2$ 의 값을 나타내서, 사질 갯벌이 다소 높은 생물량을 보였다(Table 3). 서식밀도에 근거한 시기별 비교에서는 5월과 8월이 거의 같은 값을 보인데 반하여, 생물량에 있어서는 1.5배가 넘

는 차이를 나타냈다. 이는 선충류보다 요각류의 개체당 평균 건중량이 많이 나가는 데에서 기인된 결과이며, 중형저서동물의 군집변동을 해석하는 데에는 서식밀도와 함께 생물량을 함께 고려하는 것이 요구된다. 두 시기의 각 정점에서 출현하는 대표적인 우점 분류군이며 또한 생리, 생태적 특성에 있어 다소 차이를 보여서 오염환경을 지시하는 선충류와 저서성 요각류의 비인 N/C값을 살펴보면, 두 계절 사이에서는 5월의 경우가 8월보다 두 정점 모두 높은 값을 나타냈다(Table 4).

이상의 강화도 여차리 갯벌에서의 중형저서동물의 군집구조 특성에 대한 고찰에서 보이듯이, 중형저서동물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 안정된 환경을 강하게 요구하며, 생활사가 짧고 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에 군집변화를 보이며, 환경의 변화에도 민감하게 반응하기 때문에, 이를 분석하여 자료를 축적하고, 이를 바탕으로 환경연구 및 해양생태계 내에서의 기능과 위치에 대한 지속적이고 체계적인 연구가 필요하다고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원의 “갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구” 사업의 일환으로 수행되었으며, “연안역 통합관리를 위한 해양환경변화 특성 규명” 연구사업의 지원을 받았음을 밝힙니다. 본 연구를 위하여 생물시료채집 등에 함께하여 주신 한국해양연구원 해양생물자원연구본부 저서생물 분야 연구원 분들께 감사드리며, 또한 과제수행에 많은 도움을 주신 이재학 박사님 이하 많은 관련 연구자 분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 서해안 실태 조사와 국내외 제도 분석, 연안역 통합 관리체계 구축을 위한 조사 연구 최종보고서, 1996.
2. 고철환, 한국의 갯벌 - 환경, 생물 그리고 인간, 서울대학교출판부, 2001.

3. 김동성, 북동 태평양 심해저퇴적물에 서식하는 중형 저서동물의 군집 조성, 한국해양학회지「바다」, 제2권, pp.42-47, 1997.
4. 김동성, 이재학, 시화호 오염수 방류에 따른 중형저서동물의 군집 변동, 한국환경생물학회지, 제18권, 제2호, pp.205-216, 2000.
5. 김동성, 이재학, 시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여, 한국환경생물학회지, 제19권, 제2호, pp.159-171, 2001.
6. 김동성, 최진우, 제종길, 통영저도와 당수도 가두리 양식장 퇴적물에 있어서 오염 모니터링을 위한 중형저서생물의 군집구조, 한수지, 제31권, pp.217-225, 1998a.
7. 김동성, 최진우, 제종길, 이재학, 서해 대부도 갯벌에 서식하는 중형저서생물의 군집구조, 해양연구, 제20권, pp.81-87, 1998b.
8. 김동성, 제종길, 신상호, 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링, 한수지, 제33권, 제4호, pp.307-319, 2000.
9. 민원기, 김동성, 최정일, 해초지와 주변 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집 특성 비교, 한국해양학회지「바다」, 제8권, 제1호, pp.1-13, 2003.
10. 제종길, 이재학, 고철환, 갯벌 연구: 현재와 미래, 해양연구, 제20권, 제2호, pp.57-61, 1998.
11. 한국해양연구소, 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구(1차년도), 1998a.
12. 한국해양연구소, 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구(2차년도), 1998b.
13. 한국해양연구소, 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구(3차년도), 2000.
14. 해양수산부, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용 방안 연구, BSPM 00072-00-1308-3, pp.73-80, 2000.
15. Amjad, S. and Gray, J. S., Use of the nematode-copepod ratio as an index of organic pollution, Mar. Pollut. Bull., Vol. 14, pp.178-181, 1983.
16. Coull, B. C., Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats, Australian J. of Ecology, Vol. 24, pp.327-343, 1999.
17. Coull, B. C., Hicks G. R. F. and Wells, J. B. J., Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. Mar. Poll. Bull., Vol. 12, pp.378-381, 1981.
18. Gerlach, S. A., On the importance of marine meiofauna for benthos communities. Oecologia, Vol. 6, pp.176-190, 1971.
19. Giere, O., Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediments, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993.
20. Hicks, G. R. F. and Coull, B. C., The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods, Oceanography and Marine Biology of Annual Review, Vol. 21, pp.67-175, 1984.
21. Higgins, R.P. and Thiel H., Introduction to the study of meiofauna, Smithsonian Inst. Press, Washington DC., 1988.
22. Itaoka, M. and Tamai, K., Effect of Eutrophication on the Structure of Meiobenthic Communities in Hiroshima Bay. Benthos. Res., Vol. 45, pp.19-28, 1993.
23. Kim, D. S., Je, J. G., and Lee, J. H., The community structure and spatial distribution of meiobenthos in the Kanghwa tidal flat, west coast of Korea, Ocean Research, Vol. 22, No. 1, pp.15-23, 2000.
24. Kim, H. S., Lee, K. S., Kim, W. and Kwon, D. H., A faunal and ecological study on the crustaceans in the intertidal zones near Inchoeon and southern part of Gangwha Island, Bull. Korean Assoc. for Conservation of Nature, Ser. 3, pp.279-309, 1981.
25. Kim, H. S., and Choe, B. L., An annual change of species composition and abundance

- of crustacean decapod community in an eastern channel of Ganghwa Island, Bull. Korean Assoc. for Conservation of Nature, Ser. 4, pp.313-323, 1982.
26. Lambshead, P. J. D., The nematode/copepod ratio : Some anomalous results from the Firth of Clyde, Mar. Pollut. Bull., Vol. 15, pp.256-259, 1984.
27. Lee, S. W., Kwon, Y. S., Je, J. G., Benthic animals of Kanghwa island and gut analysis of some water-birds, Kor. J. Orni., Vol. 6, No. 2, pp.71-86, 1999.
28. McIntyre, A. D., Ecology of marine meiobenthos, Biol. Rev., Vol. 44, pp.245-290, 1969.
29. Raffaelli, D., Monitoring with meiofauna: A reply to Coull, Hicks and Wells(1981) and additional data. Mar. Pollut. Bull., Vol. 12, pp.381-382, 1981.
30. Raffaelli, D., The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. Mar. Environ. Res., Vol. 23, pp.135-152, 1987.
31. Raffaelli, D. and Mason, C. F., Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. Mar. Pollut. Bull., Vol. 12, pp.158-163, 1981.
32. Reise Karsten, Tidal flat ecology, Spinger-Verlag, Berlin, 191p, 1985.
33. Shiells, G. M. and Anderson, K. J., Pollution monitoring using the nematode/copepd ratio : A practical application, Mar. Pollut. Bull., Vol. 16, pp.62-68, 1985.
34. Shirayama, Y., Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. Int. Revue ges. Hydrobiologia, Vol. 68, pp.799-810, 1983.
35. Shirayama, Y. and Kim, D. S., Distribution and production of meiobenthos, in Marine coastal environment, Huji Tec., pp.254-263, 1998.
36. Warwick, R.M., The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. Mar. Pollut. Bull., Vol. 12, pp.329-333, 1981.
37. Yoo, J. W. and Hong J. S., Community structures if the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 32, No.1, pp.7-17, 1996.