

퇴적층진 구조물 설치에 따른 중형저서동물 군집구조 및 변동

민원기* · 김동성 · 이재학
한국해양연구원 해양생물자원연구본부

Community Structure and Spatial Variation of Meiobenthos Associated with an Artificial Structure

Won-Gi MIN*, Dong-Sung KIM and Jae-Hac LEE
*Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research &
Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

We investigated the spring and summer community structure of meiobenthos in a tidal-flat near Iwon, Korea, in 2002 and 2003. In total, 12 meiofaunal groups were found in the study area among which nematodes were the most dominant. Benthic foraminiferans, harpacticoid copepods, polychaetes, and crustacean nauplii were also dominant groups at all sites. The total density of meiobenthos at each station was be 246-2,177 ind./10 cm². As the depth of sediment increased, the density of meiobenthos at each station gradually decreased. Changes in the vertical distribution of meiobenthos in the study area occurred mainly near the sediment surface (0-1 cm). Generally, between spring and summer the density of nematodes increased, and the density of other dominant meiofaunal groups (benthic harpacticoids, crustacean nauplii, benthic foraminiferans) decreased near the sediment trap the control site of sediment traps compared to that at the control site. The results of cluster and multidimensional scaling plots indicate that the meiofaunal community changed following construction of a low artificial wood groin structure.

Key words: Meiobenthos, Community structure, Tidal flat, Artificial structure

서 론

국내 서·남해안에 잘 발달한 갯벌은 그 면적에 있어서, 북한의 갯벌과 압록강 하구까지의 갯벌을 하나의 연결된 서식처로 본다면(6,000 km²), 단일 국가가 보유하는 세계에서 가장 큰 규모를 가지는 갯벌로 평가된다(Park and Koh, 2001). 그러나, 그 중요성에 대한 인식부족으로 인해 농지와 산업용지를 확보하기 위한 간척의 대상이 되었고, 그 결과 국내 갯벌의 40%가 사라졌으며, 자연상태를 유지하는 갯벌은 극히 일부분 뿐이다(Je et al., 1998). 국내 여론이 갯벌을 포함한 연안역의 개발과 보전이라는 흑백논리로 양분되어 있는 반면, 미국, 일본 및 유럽에서는 인공갯벌을 포함한 대체습지 조성에 관한 기초 및 응용연구가 활발하며, 그 시공사례도 다양하다(KORDI, 1999; MOE, 2002). 국내에도 갯벌을 보전하고 복원하려는 국가사업들이 수행되어, 염습지의 복원 및 인공갯벌에 관한 생태적인 연구가 현재 수행되고 있다(KORDI, 1999, 2002, 2003; MOE, 2002; MOMAF, 2003, 2004). 특히, 조성된 갯벌은 시간이 경과함에 따라 생물상이 형성, 천이되면서 스스로의 환경을 형성하기 때문에, 시공 후에도 갯벌 생태계에 대한 적절한 감시 및 관리가 요구된다(KORDI, 2001a). 갯벌의 기능은 기본적으로 갯벌 특유의 지형과 입지조건에 기인하는 다양한 환경조건과 서식하는 생물활동에 의해 유지되기 때문

에(Reise, 1985; KORDI, 2001a), 서식하는 생물에 대한 환경 및 천이 양상에 대한 자세한 정보를 필요로 한다(KORDI, 2001a; Herman et al., 2001). 특히, 갯벌에서의 생태계 연구에서는 물질순환과 관계된 정보가 매우 중요하며, 이는 갯벌의 먹이망과 밀접한 관계를 가지고 있다(Kwak and Zedler, 1997; KORDI, 2001a). 갯벌에서 이차생산자로서 매우 중요한 위치에 있는 중형저서동물은 갯벌 퇴적물 내에서 매우 높은 서식 밀도와 다양성을 가지기 때문에 갯벌 생태계 전반의 에너지 흐름에 중요한 역할을 하고 있다(Higgins and Thiel, 1988; Giere, 1993; Coull, 1999). 이들 중형저서동물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 안정된 환경을 강하게 요구하며, 생활사가 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서동물에 비해서 짧은 기간에 군집변화를 보이며, 작은 환경의 변화에도 민감하게 반응을 한다(Gerlach, 1971; Coull, 1999). 이러한 생태적인 유용성과 중요성에도 불구하고 대형저서동물에 비하여 소형이고 취급이 어렵기 때문에, 아직까지 연구가 미흡한 실정으로, 국내에서는 최근 갯벌 환경과 관련된 몇 편의 군집 구조에 관한 연구가 있었을 뿐이다(Kim et al., 1998; 2000; 2004a; 2004b).

본 연구는 “황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구: 인공 갯벌” 연구의 일환으로 인공갯벌 조성실험 대상지역인 충남 태안군 이원면 이원 방조제 외곽의 조간대 중부에 퇴적층진

*Corresponding author: wgmin@kordi.re.kr

구조물을 설치한 후 구조물 주변의 중형저서동물 군집의 변화를 모니터링 하여, 구조물에 의해 조수의 흐름이 변화함에 따른 퇴적물의 이동과 퇴적양상의 변화가 퇴적물에 서식하는 중형저서 생물 군집에 미치는 영향을 연구하였다.

재료 및 방법

본 연구의 실험 및 조사 지역은 태안군 원북면 이원 방조제 바깥쪽 지역으로 대조기 조차가 약 6m에 달하는 대조차 조석 환경의 조간대에 위치한다. 조간대 남측의 인공적인 해안선을 형성하는 이원 방조제는 자연 상태의 반폐쇄성 만의 입구를 봉쇄하는 북서-남동방향으로 축조되어, 대부분의 상부 및 중부 조간대는 육지화 되었으며, 현재의 이원 방조제의 조간대는 원래 저조선 근처의 하부 조간대이다(KORDI, 2003). 조간대의 경사도는 약 1:250으로 조하대로 갈수록 경사도가 증가하는 지형적 특성을 가지며, 하부지역에는 굴 양식장이 광범위하게 발달되어있다. 이원 조간대의 표층 퇴적물은 계절적으로 수 cm의 침식과 집적현상이 반복되어 나타나는데, 겨울에는 가장 조립하고 여름에는 상대적으로 세립질 퇴적물이 분포하는 것으로 나타났으며, 봄과 가을에는 유사하게 분포하는 것으로 보고 되었다(KORDI, 2003).

이러한 특징을 가지는 조간대 증부에 두 가지 종류의 퇴적 축진 구조물(수초형, 잡목 잠재형 또는 목책형)을 설치하고, 부근 퇴적물에 서식하는 중형 저서생물군집의 구조물 설치에 따른 군집구조, 수평적 생물상, 수직적 구조, 서식밀도 등의 변화를 조사하기 위하여, 구조물 근처에 10개의 정점을 선정하고, 2002년 5월초(목책형 퇴적축진 구조물 설치 직전)에 1회, 5월말(목책형 퇴적축진 구조물 설치 후 2주 뒤)에 1회, 8월말에 1회, 2003년 4월과 7월에 1회씩 조사를 실시하였다(Fig.1).

전 지역의 각 정점에서 채집된 퇴적물로부터 중형저서동물을 채취하기 위하여 외경 3.6 cm 크기의 아크릴 코어를 사용하여 퇴적물 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 현장에서 1 cm 두께로 절단하여, 로즈벵갈(Rose Bengal) 단백질 염색제를 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 연구실로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1 mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m, 37 μ m)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수하였다. 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 밀도 및 수직분포는 10 cm까지 처리한 시료의 분석에서 전 생물군의 출현개체수가 표층 1 cm안에 70% 이상을 차지하고 있기 때문에 본 연구에서는 1 cm까지의 분석 자료를 사용하여 각 정점의 대표 값으로 표현하였다. 또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 중류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후, 제습기 안에 넣어 완전히 수분을 증발시켜서, H-S 슬라이드(Shirayama et al., 1993)에 작은 유리구슬과 canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다. 각 지역의 중형

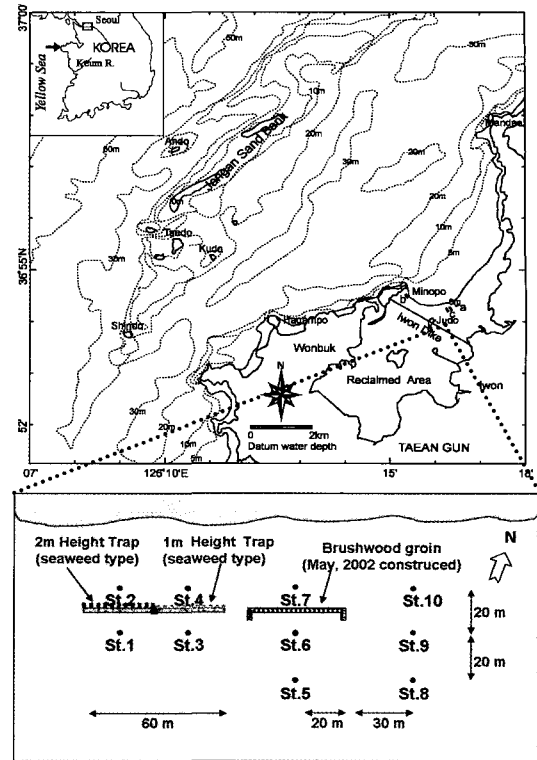


Fig. 1. Location of the study area and the sampling sites.

저서동물 군집 특성의 유사도 측정을 위해서, 각 지역별 분류군의 출현개체수 자료를 이용하여 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하고, MDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 하였다(Clarke, 1993).

결 과

출현분류군 및 조성비

조사 결과, 모두 12개의 중형저서동물 분류군이 출현하였으며, 선충류가 46-81%로 가장 우점하는 중형저서동물 그룹으로 나타났고, 유공충류는 8-50%, 저서성 요각류와 갑각류의 유생이 1-27%의 우점양상을 보였다(Table 1-3). 이상의 상위 네 가지의 우점 분류군은 각 정점별로 전체 출현 중형저서동물의 95% 이상을 차지하고 있었으며, 이외에 출현한 분류군은 섬모충류, 다모류, 이매패류, 패충류, 단각류, 외충류, 완보동물, 복족류 순으로 나타났으나, 우점분류군에 비하여 극소수가 출현하는 것으로 나타났다(Table 1-3). 각 채집 시기별로 나타난 출현 중형저서동물 그룹의 차이는 거의 나타나지 않았고, 우점한 분류군의 조성비는 계절별로 차이를 다소 보였다(Table 1-3). 목책형 퇴적 축진 구조물이 설치되기 이전과 설치 후 15일 지난 뒤의 목책 전후의 정점들에서 중형저서동물 군집의 평균 조성비는 거의 같게 나타났으나, 정점별로 보면, 목책 바로 안 쪽 정점(정점 6)에서 선충류의 우점율이 증가하고 다른 우점 분류군의 조성비가 다소 감소하는 경향을 보였다(Table 1). 2002년 5월에는 목책 설치후의 정점 3을 제외하고

Table 1. Major meiofaunal density at the study site in May, 2002 (unit: ind./10 cm²)

May 2002	Before construction			After construction									
	St. 5	St. 6	St. 7	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10
Nematodes	473	618	331	188	202	168	228	1,049	502	374	931	275	591
Sarcomastigophorans	70	139	68	20	11	95	29	153	62	147	337	74	121
Nauplius	49	134	12	14	117	119	123	85	68	121	22	23	49
Harpacticoids	36	43	8	19	40	218	61	21	43	36	6	18	30
Ciliophorans	2	4	11					4	1		11		5
Polychaetes		1	2		3	3		1			3	1	
Turbellarians						2		4					2
Bivalves		1			1			2		1			
Ostracods			1		1								
Amphipods		1											
Gastropods		1											
Others	11	3	6	8	12	6	4	6	5	12	5	1	10
Total	641	945	438	249	487	611	445	1,325	681	691	1,315	392	808

Table 2. Major meiofaunal density at the study site in August 2002 (unit: ind./10 cm²)

August 2002	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10
Nematodes	451	409	550	534	864	549	746	416	98	418
Sarcomastigophorans	137	166	147	153	272	183	330	109	108	333
Harpacticoids	111	29	154	17	90	86	70	56	47	48
Nauplius	36	56	206	33	55	77	38	53	52	26
Ciliophorans		5	3	6			7	2		5
Polychaetes	4	1	1	3	4	1		1		
Bivalves		1			2		2	8	1	2
Ostracods	1			2	1			2		
Amphipods							1	3		1
Gastropods							1			
Others	3	1	2	1		1	2		2	5
Total	743	668	1,063	749	1,288	897	1,197	649	308	838

Table 3. Major meiofaunal density at the study site in April, July 2003 (unit: ind./10 cm²)

April 2002	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 6	St. 7	St. 9	St. 10
Nematodes	674	394	693	269	210	1,444	313	987
Nauplius	80	102	64	28	29	6	26	39
Sarcomastigophorans	37	53	34	72	8	32	48	49
Harpacticoids	52	15	21	14	13	4	19	23
Ciliophorans	1	1	1	4		6	1	7
Turbellarians	1	4				6	4	
Ostracods	1				5			1
Bivalves	1				1		5	
Polychaetes	2							1
Gastropods			1			1		1
Tardigrades						1		
Others	8	6	4	5	5	13	6	8
Total	857	575	818	392	271	1,513	422	1,116
July 2003	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 6	St. 7	St. 9	St. 10
Sarcomastigophorans	939	749	78	711	222	392	1,218	324
Nematodes	222	404	112	275	116	788	747	405
Harpacticoids	104	89	33	96	180	160	122	172
Nauplius	10	48	15	41	143	319	78	82
Ciliophorans	6	13	2	5	1	8	4	15
Polychaetes	3	3	4	1	1	1	1	1
Amphipods		12					1	
Turbellarians	3	2					3	4
Ostracods					2	3		
Others	7	7	2	2	2	10	3	6
Total	1,294	1,327	246	1,131	667	1,681	2,177	1,009

는 모든 정점에서 선충류가 우점하였는데, 인공 수초 바깥쪽 정점인 정점 2, 4와 1 m형 수초 안쪽 정점인 정점 3, 목책 바깥 정점인 정점 7에서 선충류의 우점율이 70-79%로 비교적 높은 조성비를 가지는 데 비하여, 그 외의 정점들에서는 28-51%의 낮은 조성비를 나타냈다. 이들 정점에서는 상대적으로 저서성 요각류와 저서 유공충류의 서식밀도가 높게 나타났다. 2002년 8월에는 정점 3, 9, 10에서 32-52%의 비교적 낮은 선충류 우점을 나타냈으며, 나머지 정점에서는 61% 이상의 우점양상을 보였다. 이상의 선충류의 우점도가 낮은 정점에서는 저서성 요각류와 갑각류의 유생의 비가 높아지는 경향을 보였다(Table 2). 2003년 4월에는 전 조사 정점에서 74% 이상의 높은 선충류의 우점양상을 보여서, 전 조사시기에 가장 선충류의 우점이 두드러진 것으로 나타났다(Table 3). 다른 분류군의 조성비도 정점 간의 차이가 거의 나타나지 않았다(Table 3). 2003년 7월에는 정점 1, 4, 6에서 17-24%의 매우 낮은 선충류 조성비를 나타냈으며, 다른 정점들 역시 30-45%의 우점율을 보여서, 가장 우점한 저서유공충류의 높은 우점율을 반영하였다(Table 3). 선충류의 시기별 평균 조성비는 2002년 5월 62%, 8월 58%, 2003년 4월 80%, 7월 32%의 시기별 변화를 보여서, 봄철에 다소 높고, 여름철에 낮은 특징을 나타냈다(Table 1-3). 저서유공충류는 2002년 5월 15%, 8월 24%, 2003년 4월 7%, 7월 46%를 우점하여, 여름철에 우점율이 높아서, 선충류와 반대의 계절적 경향을 나타냈다. 저서성 요각류와 갑각류의 유생은 2002년 5월에 15%, 8월에 17%, 2003년 4월 11%, 7월에 20%를 평균적으로 우점하여, 여름철에 다소 조성비가 높게 나타났으나 상위 두 분류군에 비하여 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다(Table 1-4).

서식밀도

전 조사시기에 출현한 중형저서동물의 전체 서식밀도는 246-2,177 ind./10 cm²의 값을 나타냈다(Table 1-3). 조사시기 별로 2002년 5월 목책 퇴적층진 구조물 설치 이전에 목책 전후 정점(정점 5, 6, 7)에서 평균 675 ind./10 cm²를 나타냈으며, 목책 설치 보름 뒤에는 평균 899 ind./10 cm²의 서식밀도를 보여서, 다소 증가한 경향을 나타냈다(Table 1). 2002년 5월의 전체 평균 서식밀도는 700 ind./10 cm², 8월에는 840 ind./10 cm², 2003년 4월 746 ind./10 cm², 7월 1,192 ind./10 cm²로 여름철이 서식밀도가 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 2). 정점별로 전체 서식밀도 분포 패턴을 살펴보면, 대부분의 정점에서 여름에 서식밀도가 다소 높게 나타났으며, 구조물 바로 안쪽에 위치한 정점에서 서식밀도가 낮은 경향을 보였다(Fig. 2). 가장 우점한 선충류의 서식밀도는 시기별로, 2002년 5월에 188-1,049 ind./10 cm², 8월에 98-746 ind./10 cm², 2003년 4월에 210-1,444 ind./10 cm², 7월에 78-1,218 ind./10 cm²의 값을 나타냈다. 2002년 5월 목책형 퇴적 층진 구조물 설치 후에 정점 5에서 선충류의 서식밀도가 다소 증가하였으며, 목책 근처의 정점 6, 7에서는 약간 감소하는 결과를 보였다(Table 1; Fig. 2). 조사 시기별로 평균 선충류의 서식밀도의 변화 패턴은

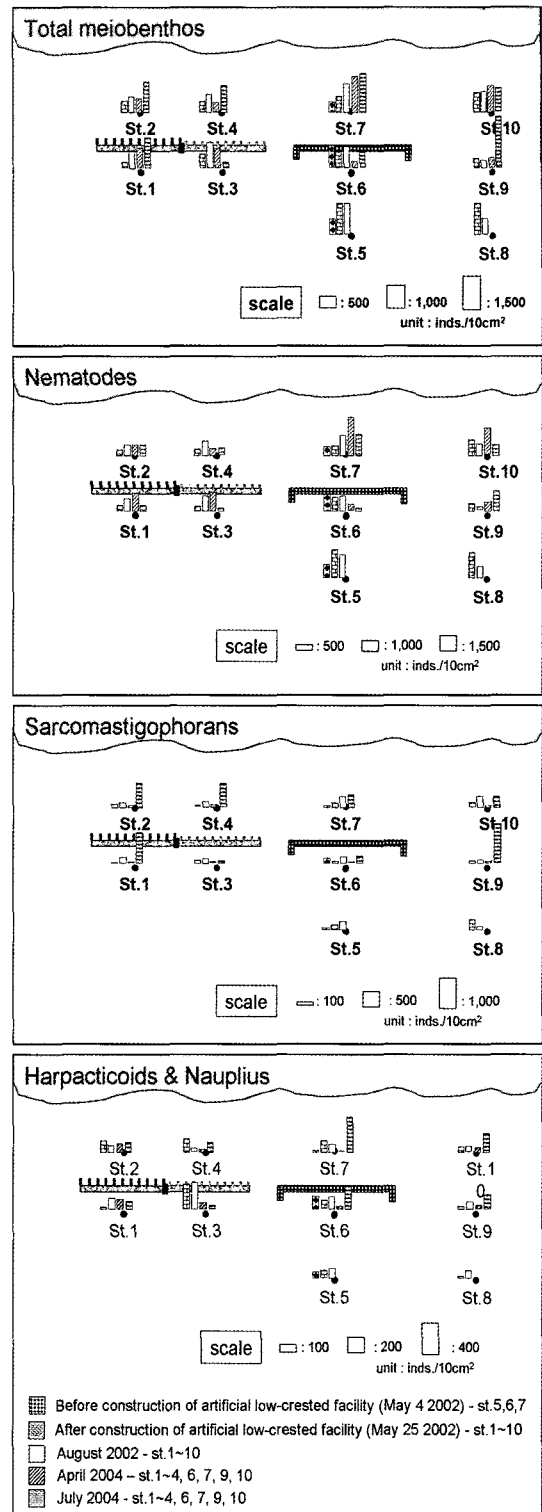


Fig. 2. Abundance of a total meiofauna, nematodes, sarcostomastigophorans, harpacticoids and nauplius in each sampling time.

봄철에 비해서 두 차례의 여름철 조사 시기 모두 서식밀도의 약간의 감소가 나타났는데, 특히 구조물 안쪽 정점에서 두드

러지게 나타났다(Fig. 2). 두 번째로 우점한 저서유공충류는 2002년 5월에 33-358 ind./10 cm², 8월에 195-595 ind./10 cm², 2003년 4월에 8-72 ind./10 cm², 7월에 78-1,218 ind./10 cm²의 값을 나타냈다(Table 1-3). 2002년 5월 목책형 퇴적 축진 구조물 설치 후에 정점 5와 7에서 저서유공충류의 서식밀도가 증가하였으나, 목책 안쪽 정점 6에서는 감소하는 결과를 보였다(Table 1; Fig. 2). 각 시기별 출현한 저서유공충류의 평균 서식밀도는 2002년 5월 115 ind./10 cm²이었으며, 8월에는 194 ind./10 cm²로 증가하고, 2003년 4월 42 ind./10 cm²로 낮게 나타났다, 7월 579 ind./10 cm²로 증가한 패턴을 보여서, 여름철이 봄철에 비하여 서식밀도가 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 2). 저서성 요각류 및 갑각류의 유생은 2002년 5월에 20-337 ind./10 cm², 8월에 54-427 ind./10 cm², 2003년 4월에 10-132 ind./10 cm², 7월에 48-479 ind./10 cm²의 값을 나타냈다. 2002년 5월 목책형 퇴적 축진 구조물 설치 후에 목책 바로 안쪽 정점 6의 저서성 요각류와 갑각류의 유생의 서식밀도가 감소했으며, 다른 두 정점에서는 증가하는 양상을 보였다(Table 3; Fig. 2). 저서성 요각류의 평균 서식밀도는 2002년 5월 49 ind./10 cm², 8월에는 71 ind./10 cm², 2003년 4월 20 ind./10 cm², 7월 120 ind./10 cm²로 여름철이 서식밀도가 다소 높은 경향을 보였다. 한편, 갑각류의 유생의 평균 서식밀도는 2002년 5월 74 ind./10 cm², 8월에는 63 ind./10 cm², 2003년 4월 47 ind./10 cm², 7월 92 ind./10 cm²로 계절적인 특별한 분포 패턴은 나타나지 않았으나 저서성 요각류의 서식밀도와 비교하면, 봄철에는 갑각류의 유생이 높은 서식밀도를 나타내고, 여름철에는 저서성 요각류의 성체의 서식밀도가 다소 높은 경향을 보였다.

고 찰

2년간 봄철과 여름철의 이원 방조제 전면 갯벌에 설치한 퇴적 축진 구조물 부근 10정점의 표층 퇴적물에서 출현한 중형저서동물 분류군은 모두 12개로, 서해안 다른 지역의 사질 혹은 혼합 갯벌에서의 조사 결과와 비교해 볼 때, 새만금 갯벌의 경우 12개로 본 연구의 중형저서동물 군집 구성과 비슷한 경향을 나타냈고(KORDI, 2001b), 대부도 갯벌에서는 13개로 연구지역과 거의 비슷한 우점 분류군의 조성이 나타났다(Kim et al. 1998). 서식밀도는 연구지역에서 246-2,177 ind./10 cm²의 범위를, 평균 서식밀도는 870 ind./10 cm²로서, 새만금 갯벌에서의 29-4,107 ind./10 cm²에 1,020 ind./10 cm²의 평균 서식밀도와 큰 차이가 없으며, 대부도 갯벌에서의 30-1,382 ind./10 cm²에 751 ind./10 cm²의 서식밀도와도 비슷한 값으로, 연구지역은 일반적인 서해안 갯벌의 군집 구성과 서식밀도 특성을 나타내는 것으로 보여진다(KORDI, 2001b; Kim et al. 1998).

2002년 5월 목책형 퇴적 축진 구조물 설치 전과 후의 군집의 변화를 보면, 목책 바로 안쪽 정점 6에서 출현분류군 수와 서식밀도가 감소하는 양상을 보였다(Table 1, Fig. 2). 목책

구조물 근처의 세 정점에 대한 군집구조의 유사도를 이용하여 MDS plot을 한 결과는 Fig. 3과 같다. 여기서, BC 정점은 목책 설치 전의 정점을 의미하고, AC 정점은 목책 설치 후 보름이 지난 시기의 정점을, 그리고 AG는 설치 후 약 3개월이 지난 8월에 조사된 정점을 나타내며, 각 정점의 동심원 크기는 선충류의 서식밀도의 상대값이다(Fig. 3). 목책 설치 전의 군집과 설치 후 보름이 지난 후의 군집이 매우 상이한 거리에 배치되고, 3개월 후에 다시 목책 주변 정점 간에 매우 비슷한 군집을 나타내는 결과를 보였다(Fig. 3). 구조물 가장 안쪽 정점 6이 구조물 설치 후 보름 뒤에 MDS plot에서 매우 상이한 위치를 나타낸 것은 구조물 설치에 따른 교란 및 퇴적상의 급격한 변화로 인한 영향으로 보인다. 특히 가장 우점한 선충류의 감소경향이 나타났는데, 지금까지 알려진 바로는 선충류의 경우 퇴적물에서 인위적인 교란에 대하여 비교적 빠르게 적응하여 시간이 지남에 따라 약간의 변화만을 나타낸 연구결과와 비슷한 반응으로 판단된다(Sherman and Coull, 1980). 일반적으로 퇴적과 침식 등의 표층퇴적상의 변화는 저서생물에게 매우 중요한 작용이다. 특별히 세립질의 퇴적물 입자들이 쌓이는 퇴적 현상은 표층 퇴적물로 유기물이 공급된다는 의미에서 생물 분포에 영향을 미치게 된다(Giere, 1993). 이러한 퇴적 및 침식은 표층 퇴적물의 물리적인 안정성과 연관되어 있으며, 결국 저서동물의 군집 구조의 유지와 가입 특성을 결정하는 중요한 요인이 된다(Bouma et al., 2001a, b). 2002년 5월의 조사지역의 퇴적상은 모래에서 빨질 모래로 바뀌어 가는 단계로 평균입도는 3.13-5.19 ϕ, 분급도는 0.88-2.76 ϕ의 분포를 보였는데, 퇴적 축진구조물 안쪽 정점에서 평균입도 4.5 ϕ 이상의 세립한 퇴적상을 나타냈다(KORDI, 2003). 일반적으로 조간대의 세립한 퇴적물에서는 선충류가 우점하는 경향이 많이 나타나는데(Giere, 1993), 본 연구의 결과에서는 선충류가 다른 정점에 비하여 다소 감소한 경향이 나타났다(Table 1). 구조물 안쪽 정점은 일반적인 계절적 퇴적물의 이동에

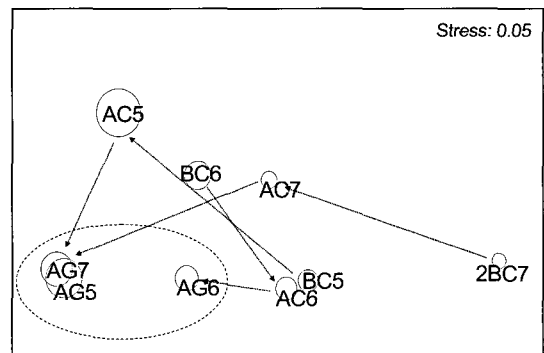


Fig. 3. Change of meiofauna community by construction of artificial low-crested wood groin facility based on the MDS plot of similarity of meiofaunal assemblages (BC, before construction of artificial low-crested wood groin facility (May 4, 2002) - St.5, 6, 7; AC, After Construction (May 25, 2002); AG, 3 months later (August 2002); Circle size, abundance of nematodes).

따른 퇴적상의 변화가 아닌 구조물에 의해 퇴적상이 세립해진 것으로, 주변의 퇴적상이 거의 사질의 조립한 퇴적상이며 전반적으로 군집의 서식밀도 변동이 크게 나타나지 않은 상태로, 니질 퇴적물의 공급이 기존의 사질에서 서식하던 선충류 그룹에 영향을 미쳤을 것으로 추측된다. 또한, 다량의 니질 퇴적물의 공급은 중형저서동물의 저서규조류에 대한 섭식력을 감소시킬 수 있음을 지적한 Herman et al. (2001)의 연구 결과와도 결부지어 설명할 수 있을 것이다.

전 정점에서 각 우점 분류군 별로 봄철과 여름철의 조성비와 서식밀도의 차이를 보였는데, 가장 우점한 선충류는 봄철에 비하여 여름철에 약간의 서식밀도의 감소가 나타나는 반면에, 저서유공충류나 저서성 요각류는 서식밀도가 유의한 차이를 나타내며 증가하는 경향을 보였다(Table 1-4). 강화도 지역의 사질 갯벌과 니질 갯벌에서 수행된 Kim et al. (2004b)에 중형저서동물의 봄철과 여름철의 군집 특성에서도 본 연구 결과와 동일한 현상이 나타났다. 현재까지 온대지역의 중형저서동물 군집의 계절 변동에 관한 연구 결과가 몇 편이 보고되었는데, 지역별로 다른 특성을 나타내고, 특정 분류군에 치중한 변동에 관한 내용이 대부분으로, 특히, 계절적인 군집의 변동 이외에 다른 환경요인에 따라 좌우되는 군집 변화가 많이 나타나서 정확한 패턴을 인식하기가 쉽지 않았다(Coull, 1985; Higgins and Thiel, 1988; Giere, 1993). 그러므로, 본 연구 결과로 나타난 중형저서동물의 계절적 변동 패턴은 차후에 이루어질 종단위의 정밀한 분석과 장기간의 연구를 통해 자세히 밝혀져야 할 것으로 판단된다.

각 정점의 시기별 군집구조의 특성을 고찰하기위해 각 정점의 군집별 서식밀도의 유사도를 이용하여 MDS plot을 한 결과는 Fig. 4와 같다. 2002년 5월에는 정점 간의 군집특성이 특징을 가지고 유사하게 배열되지는 않았으며, 비교적 정점 구조물과 멀리 떨어져 있는 정점 5, 8, 10이 비슷한 군집구조를 가지고 있는 것으로 나타났다(Fig. 4). 특히 이들 정점은 선충류의 높은 서식밀도를 나타낸 정점으로 유사성을 가지고 있었다. 표층 퇴적물의 특성은 구조물을 중심으로 남서쪽에서 북동지역으로 갈수록 세립하였으며, 퇴적축진 구조물의 안쪽에 위치한 정점들이 상대적으로 4.5φ 이상의 세립한 퇴적상을 나타냈다(KORDI, 2003). Fig. 4의 MDS 차트에서는 이들 세립한 퇴적상을 나타내는 정점의 군집구조는 서로 유사성이 거의 없는 것으로 배열되었으나, 오히려 퇴적축진 구조물의 바깥쪽 지역인 정점 2, 4, 7이 서로 가까이 배열되어, 구조물에 의한 영향이 중형저서동물 군집에 반영되는 것이 간접적으로 추측된다. 2002년 8월에는 봄철에 비해서 상대적으로 모래함량은 증가하고 실트와 점토함량은 감소해서, 평균입도 2.70-4.21φ, 분급도 0.53-2.22φ의 구배를 보였는데, 퇴적 축진 구조물 중 목책식 구조물의 연안쪽으로 세립한 퇴적물의 분포 특성을 보였고, 분급도 역시 목책식 퇴적 축진 구조물 주변의 안쪽 지역인 연안쪽에서 상대적으로 불량하게 나타났다(KORDI, 2003). 이러한 퇴적물 특성은 각 정점별 군집구조의 특성에

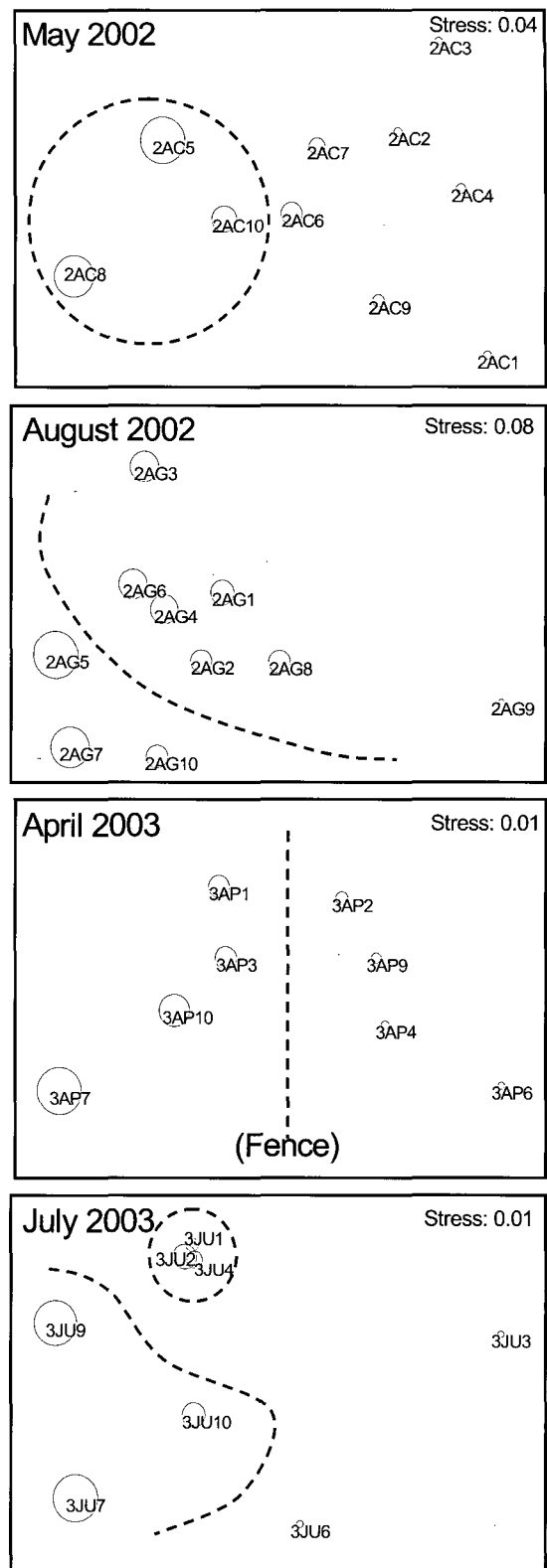


Fig. 4. MDS (multidimensional scaling ordinations) plot of the sampling stations based on the density of meiobenthic communities in each sampling time (circle size, abundance of nematodes).

따른 배열과는 잘 일치하지 않았으며, 구조물에 의한 정점의 중형저서동물 군집의 유사성 역시 확실히 나타나지 않았다 (Fig. 4). 다만, 인공수초형 퇴적 축진 구조물 부근의 정점은 선충류의 서식밀도가 다소 높게 나타났으며, 상대적으로 군집의 유사성이 높은 것으로 보인다(Fig. 4). 2002년 5월에는 각 정점의 중형저서동물 군집특성이 MDS 차트 상에서 퇴적축진 구조물을 사이에 두고 좌우로 배열되는 특성을 보였다(Fig. 4). 즉, 구조물에 의해 전 후의 중형저서동물 군집 구조가 다르게 나타나는 것으로, 이는 2002년의 군집구조 특성과는 다른 패턴으로 보여진다. 2002년에는 목책형 퇴적축진 구조물을 건설한 후 15일 후에 채집이 이루어진 점을 미루어 보건데, 2002년 겨울에 퇴적물의 침식으로 인해 전 지역의 퇴적물이 조립해 진 후, 봄철에 다시 세립질의 퇴적물의 차등한 공급이 이루어지는 퇴적 환경 특성과 결부지어(KORDI, 2003), 2002년과 2003년의 서식환경의 차이로 인한 패턴으로 판단된다. 2003년 7월의 각 정점별 중형저서동물의 군집 특성은 2002년의 여름철 군집 특성과 비교할 때, 수평분포상의 정점별 군집 특성이 더욱 더 명확해지는 분포 패턴을 보였다(Fig. 4). 2002년 여름철에 다른 정점들과 구분되었던 인공수초형 구조물 부근의 정점들이 2003년 역시 매우 유사한 군집구조를 나타내고, 대조구 정점과 확연한 차이를 보였다(Fig. 4). 우점 분류군별로 분포패턴을 고찰하면, 중형저서동물의 서식밀도의 변화는 주로 표층 0-1 cm 에서 크게 나타났으며, 전반적으로 구조물이 있는 지역에서는 표층의 선충류가 증가하는 경향이 보이고, 저서성 요각류와 갑각류의 유생, 저서유공충류 등의 다른 우점 분류군의 감소가 보인 반면에, 구조물이 없는 지역에서는 반대의 경향이 나타났다(Fig. 2). 이상의 결과에서 각 시기별로 중형저서동물 군집구조의 특성이 변화를 보이는 것은 계절적인 변화와 구조물에 의해 영향 받는 것으로 나타났다. 일반적으로 중형저서동물의 분포에 관계된 환경적인 요인은 퇴적상에 따른 입도, 공극률, 퇴적물 내의 특수 구조 등의 서식지 퇴적물의 특성과 온도, 염부, 오염물, 먹이, 포식자 등의 외부 요인들로 알려져 있다(Giere, 1993). 본 연구에서는 조간대 중부에 퇴적물 축진을 위한 구조물을 설치함으로써, 퇴적물의 성질이 변하게 됨에 따라 반응하게 될 중형저서동물의 군집 특성을 고찰하는 것에 초점을 맞추었고, 다른 환경 요인들을 함께 고려하여 분석하지 않았기 때문에, 정확한 변화양상을 구분하기가 쉽지 않았다. 각 정점의 시기별 퇴적물의 변동자료와 중형저서동물 전체 서식밀도, 우점 분류군의 서식밀도 등의 자료와 상관관계를 규명하고자 하였으나 통계적으로 유의한 값은 나타나지 않았다. 지금까지 수행되었던 몇 편의 퇴적물 특성과 중형저서동물 군집간의 상호 관계에 대한 연구들에서 지적했던 바에 의하면, 평균입도, 분급도, 와도, 침도 및 공극률 등의 퇴적환경의 기본적인 특성 요소의 변화는 중형저서동물 그룹의 개체들에게 직접적인 영향을 주기 보다는 먹이와 밀접한 유기물의 공급이나 수직분포에 크게 영향을 주는 용존 산소량의 분포, 부유성 유생의 가입 등의

간접적인 영향을 주는 것으로 보고 되어있다(Decho et al., 1985; Higgins and Thiel, 1988; Gooday and Lamshead, 1989; Bouma, 2001a, 2001b; Herman, 2001). 그러므로 퇴적축진 구조물의 설치에 의한 중형저서동물 군집의 변화를 더 구체적으로 명확하게 분석하기 위해서는, 중형저서동물의 종 단위의 변화 패턴 분석 및 분포에 영향을 줄 수 있는 간접적인 요인들에 대한 다각도적인 접근이 요구된다.

사 사

본 연구를 위하여 생물시료채집 등에 협조하여 주신 한국해양연구원의 저서생물 연구실의 연구원들과, 또한 연구수행에 많은 도움을 주신 한국해양연구원의 공학실의 이광수 박사님께 감사드리며, 특별히 시료 분석에 함께 해주신 오제혁, 신재철, 반은영 연구원님께 감사드립니다. 본 연구는 해양수산부의 “황해 연안역의 인공갯벌 조성 기술 연구(PM92100)” 용역 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Bouma, H., J.M.C. Duiker, P.P. de Vries, P.M.J. Herman and W.J. Wolff. 2001a. Spatial pattern of early recruitment of *Macoma balthica* (L.) and *Cerastoderma edule* (L.) in relation to sediment dynamics on a highly dynamic intertidal sandflat. *J. Sea Res.*, 45, 79-93.

Bouma, H., P.P. de Vries, J.M.C. Duiker, P.M.J. Herman and W.J. Wolff. 2001b. Migration of the bivalve *Macoma balthica* on a highly dynamic tidal flat in the Westerschelde estuary, The Netherlands. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 224, 157-170.

Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes on community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18, 117-143.

Coull, B.C. 1985. Long-term variability of estuarine meiobenthos: an 11 year study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 205-218.

Coull, B.C. 1999. Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats, *Australian J. Ecol.*, 24, 327-343.

Decho, A.W., W.D. Hummon and J.W. Fleeger. 1985. Meiofauna-sediment interactions around subtropical seagrass sediments using factor analysis. *J. Mar. Res.*, 43, 237-255.

Gerlach, S.A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6, 176-190.

Giere, O. 1993. *Meiobenthology*. Springer-Verlag, 1-328.

Gooday, A.J. and P.J.D. Lamshead. 1989. Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58, 53-57.

- Herman, P.M.J., J.J. Middelburg and C.H.R. Heip. 2001. Benthic community structure and sediment processes on an intertidal flat: results from ECOFLAT project. *Cont. Shelf Res.*, 21, 2055-2071.
- Higgins, R.P. and H. Thiel. 1988. Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Inst. Press, Washington DC., 1-488.
- Je, J.G., J.H. Lee and C.H. Koh. 1998. Tidal flat studies: Present and future. *Ocean Res.*, 20, 57-61.
- Kim, D.S., J.W. Choi, J.G. Je and J.H. Lee. 1998. Community structure of meiobenthos in tidal flats at Taebodo, west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20, 81-87.
- Kim, D.S., J.G. Je and J.H. Lee. 2000. The community structure and spatial distribution of meiobenthos in the Kanghwa tidal flat, west coast of Korea. *Ocean Res.*, 22, 15-23.
- Kim, D.S., W.G. Min and J.H. Lee. 2004a. Variation of meiobenthic community on the sediment of coastal area in Bangameori Daebudo, Korea. *Kor. J. Environ. Biol.*, 22, 308-320.
- Kim, D.S., W.G. Min and J.G. Je. 2004b. Meiobenthic community structure in mudflat and sand flat in Yeochari, Ganghwado. *J. Kor. Wetlands Soc.*, 6, 43-55.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 1999. Restoration of the eastern marginal environment of the Yellow sea (REYES): Creation and restoration of environmentally sustainable tidalflat (CREST). KORDI, 1-269.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2001a. The Guide Book for Symbiosis of Harbours and Tidal flat. Yum, K.D. et al., eds. KORDI, Seoul, 5-43.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2001b. Studies on inventories and a sustainable use of tidal flats in Korea. KORDI, 318-332.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2002. Restoration of the eastern marginal environment of the Yellow sea: Creation and restoration of environmentally sustainable tidalflat (1st phase 2nd year report). KORDI, 1-505.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2003. Restoration of the eastern marginal environment of the Yellow sea: Creation and restoration of environmentally sustainable tidalflat (1st phase final report). KORDI, 1-826.
- Kwak T.J. and J.B. Zedler. 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia*, 110, 262-277.
- MOE (Ministry Of Environment, Korea). 2002. Restoration of degraded coastal ecosystem. MOE, Seoul, 1-1065.
- MOMAF (Ministry Of Marine Affairs and Fisheries, Korea). 2003. Establishment of long-term plan for creation of replacement wetland (I). MOMAF, Seoul, 1-510.
- MOMAF (Ministry Of Marine Affairs and Fisheries, Korea). 2004. Establishment of long-term plan for creation of replacement wetland (II). MOMAF, Seoul, 68-76.
- Park, S.C. and C.H. Koh. 2001. Depositional process of tidal flat. In: *The Korean tidal flat: Environment, Biology and Human*. Koh, C.H., ed. Seoul National University Press, Seoul, 3-12.
- Reise, K. 1985. Tidal flat ecology. Springer-Verlag, Berlin, 1-191.
- Sherman, K.M. and B.C. Coull. 1980. The response of meiofauna to sediment disturbance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 46, 59-71.
- Shirayama, Y., T. Kaku and R.P. Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using HS-slide. *Benthos Res.*, 44, 41-44.

2005년 10월 17일 접수
2006년 5월 26일 수리