

인천연안 간석지산 연체동물 유해집단(遺骸集團)의 구조와 생태학적 의미

홍재상 · 박흥식¹

인하대학교 해양학과, ¹한국해양연구소 해양생물연구부

Molluscan Death Assemblages and Their Ecological Implications on a Tidal Flat, Inchon, Korea

JAE-SANG HONG AND HEUNG-SIK PARK¹

Department of Oceanography, Inha University, Inchon 402-751, Korea

¹Biological Oceanography Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

본 조사는 인천지역 조간대 지역에 분포하는 연체동물 유해집단의 구조를 알아보기 위해 계절 분포, 밀도, 회분중량과 크기-빈도 분포, 생존곡선 등 정량적인 분석을 시도하고 또 현생 생물군집과 비교하였다. 조사 기간 중 복족류 16 종과 이매패류 12 종을 포함하여 총 28 종이 동정되었다. 유해집단을 구성하는 종들의 대부분이 조간대 지역에 서식하는 종으로 구성되었으며, 종 다양성은 이매패류보다 복족류에서 높게 나타났다. 계절별 회분중량의 변화는 동족의 분포에 따라 좌우되었다. 천공성 복족류에 의한 천공은 주로 패각의 각정부분을 선호하고 있었다. 우점종인 접시조개류(*Moerella rutila*), 동족, 왕좁쌀무늬고둥 등 3 종에 대한 크기-빈도 분포와 생존곡선에 대해 분석하였다. 접시조개류인 *Moerella rutila*는 각 연급군별 유사한 사망률이 나타나는 분포를 나타냈으며, 겨울철 어린 개체의 사망이 증가한 것으로 나타났고, 동족과 왕좁쌀무늬고둥의 경우 연급군별 사망률이 다른 두 개의 굴곡을 가지는 분포를 나타냈다. 이들은 크기-빈도 분포에서도 이중모드(bimodality)를 나타냈는데, 이는 각 연급군의 가입과 계절적인 사망률의 변화에 기인한다. 유해집단을 대상으로한 연구는 화석화 과정에서 발생하는 여러 문제들만 해결한다면 현생생물에서의 마찬가지로 개체군에 대한 유익한 정보를 제공할 수 있다.

Temporal changes, density, calcimass, mode of occurrence, size-frequency histogram and survivorship curves were studied for the molluscan death assemblages on a macrotidal flat, Inchon, Korea. The living and death assemblages were compared on the basis of the taxonomic compositions and their numerical abundances. A total of 28 species (16 taxa in gastropods and 12 in bivalves) were identified. Most of the dead shells were the species inhabiting that intertidal mud flat. Species diversity was higher in gastropods than in bivalves. Seasonal variation of the calcimass was influenced by the mastrid bivalve, *Macra veneriformis*. Shell-boring naticid gastropods preferred selecting the umbo areas of various valves. Size-frequency distribution and size-specific survivorship curves were analyzed for the dominant species. Survivorship curve of the tellinid bivalve, *Morella rutila* was convex-up in shape, which is congruent with the expected equilibrium condition but indicates higher mortality in winter. Whereas the survivorship curves of *Macra veneriformis* and *Reticunassa festiva* were semi convex-up with dual modes, suggesting a disequilibrium due to the changes in recruitment and seasonal mortality. This study suggests that the dead shell assemblages may be useful in getting population information like live molluscan assemblages, if solved for several problems related to taphonomic processes.

서 론

저서 무척추동물은 퇴적물 위 또는 그 아래 지역에 서식하기 때문에 사망 후 퇴적물 속에 바로 묻히게 되어, 부유생물이나 유영동물보다도 유해(遺骸)성분이나 화석 등을 통하여 살아있을 때의 생태학적 정보를 잘 보존하고 있다(Tanabe and Arimura,

1987). 이러한 장점을 이용하여 무척추동물 유해집단 연구는 고환경 진화과정의 파악이나 고생물 지리연구 분야 등에 좋은 재료가 되고 있으며, 생물의 개체군 연구에 있어서도 사망연령의 추정 및 생존율과 성장패턴 등을 역추적하는 자료로 활용되고 있다(Fressa, 1987; Cummins *et al.*, 1986; Tanabe, 1988; 김, 1990). 또한 살아있는 종과 사각(死骸)을 비교하여 살았을 당시의 생체

량을 추정해 내기도 하며(Cummins *et al.*, 1986; Staff *et al.*, 1986), 탄산염의 생산량을 추적하여 종의 생태적 특성을 파악하기도 한다(Beukema, 1980, 1982). 이매패류의 경우 천공성 권패류(卷貝類, drilling gastropods)에 의해 포식당한 양을 조사하여, 포식율과 이매패류의 크기에 따른 포식 양상을 파악하기도 한다(Tanabe *et al.*, 1986; Vignali and Galleni, 1986; Arua and Hoque, 1987a, 1987b).

그러나 유해집단은 일단 퇴적되는 경우 패각이 외부로부터 유입된 것과 그 지역 자체 내에서 살다가 축적된 것이 동시에 나타나기 때문에, 해석하는데 있어 현생 군집과의 차이점을 파악하는 것이 가장 어려운 문제이다(George, 1965; Cadee, 1968; Franz, 1977). 따라서 조사지역의 현생군집에 대한 자료를 확보할 경우 더욱 실용적인 결과를 얻을 수 있다. 살아있는 개체와 유해집단 간의 관계를 비교해 보면 유해집단의 보존성에 관해서도 알 수 있다(Tanabe, 1986). 즉, 살아있는 개체의 크기 빈도 분포를 추적하여 유해집단의 그것과 비교한다면, 현생 동물이 사망 후 유해집단으로 어떻게 전이되는가를 추적할 수 있기 때문이다. 특히 조간대 간석지와 같은 산업종의 생산성이 매우 높은 곳에서는 현존하는 생물을 대상으로한 개체군 동태 연구에 유해집단의 연구가 보완된다면, 포식자에 대한 정보와 성체가 사망할 당시의 크기에 대한 자료를 통해 집단 폐사시 피해의 정도를 추정하는 데에도 더욱 효과적인 접근이 가능하다.

본 조사 지역은 동죽(*Macra veneriformis*), 맛조개(*Solen(Solen) strictus*) 등 산업종의 생산성이 매우 높은 지역이다. 또한, Frey *et al.*(1988)에 의해 유해집단의 종조성과 물리적·생물학적 측면에서 수직적인 분포양상이 조사된 바 있다. 따라서 본 조사는 연체동물이 가장 많이 서식하며 또한 외부로부터 유입된 종에 대한 정보의 비중이 상대적으로 적은 조간대 중부 지역을 선정하였다. 4차례에 걸친 정량 조사를 실시하여, 연체동물로 구성된 유해집단의 시간에 따른 종 조성의 변화와 회분중량(calcimass)의 변화, 천공성 권패류의 포식에 의한 사망률, 우점종의 생존곡선을 이용한 개체군의 크기별 사망률을 알아 봄으로써, 현생 군집에서 간과하기 쉬운 생태학적 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

현장 채집은 1989년 9월부터 1990년 3월까지 7개월 동안 격월별로 4회 실시하였다. 육지로 부터 1,500 m 지점에 1개의 정점을 선정하여, 어획에 의한 생물의 손실이나 인위적인 교란을 막기 위해 어촌계의 협조를 얻어 말목을 설치하였고, 조사지역 내에 어민의 출입을 통제하였다(Fig. 1). 본 조사가 수행되기 약 5개월 전인 1989년 4월에 조사 지역에서 동죽의 대량 폐사가 발생하였다. 따라서 다량의 동죽 패각이 지속적으로 채집되었다. 시료 채취는 can corer(15×20×30 cm³)를 사용하여 표면적 1 m² 를 깊이 30 cm까지 정량 채집을 실시하였다. 채집된 퇴적물은 현장에서 1 mm의 체로 걸러낸 후, 잔존물을 10%의 중성 포르말린으로 고정시킨 후, 실험실로 운반하여 생물과 분리하였다. 분리된 패각과 그 파편들은 건조시킨 후 동정하였으며, 결합된 패각(conjoined valves)과 분리된 패각을 각각 나누어 각장(shell length)과 각고(shell height)를 측정하였다. 또한, 10 mg까

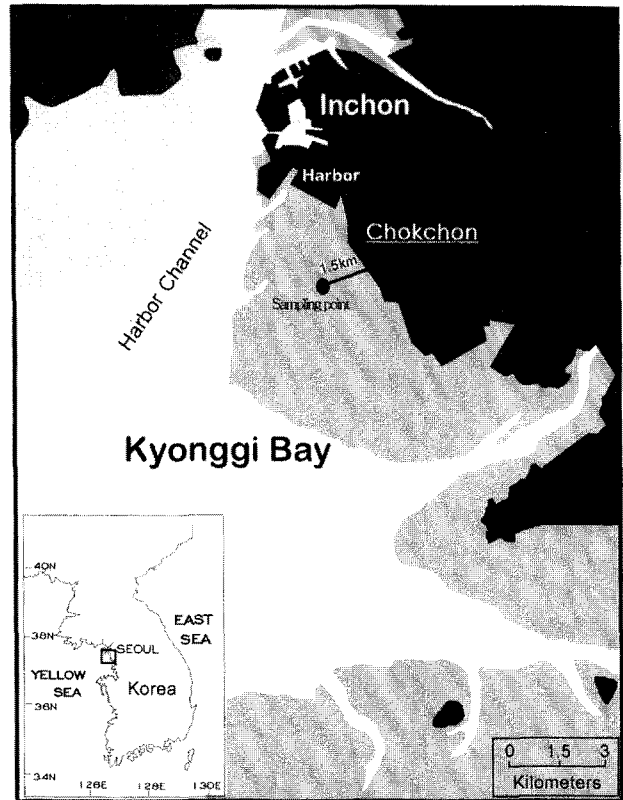


Fig. 1. Map of the sampling site on the macrotidal flat, Incheon, Korea.

지 썰 수 있는 전자저울을 사용하여 건중량을 측정하였다. 유해집단과 현생군집과의 관계를 추정하는 데 있어서, 특히 이매패류의 경우 2 개의 사각으로 나누어진 채 채집된 경우가 나타나기 때문에 전체 출현량의 반을 현존량으로 가정하여 계산하였다. 접합율(articulation ratio)은 각 종마다(접합되어 있는 패각의 수/채집된 전체 패각의 수×100)에 의하여 계산하였고, 또한 패각의 표면을 관찰하여 천공성 권패류에 의한 포식의 유무를 확인하고, 천공된 위치를 파악하였다(Fig. 2). 또한 크기별 상대적 생존율을 파악하기 위해 조사 시기당 종의 출현개체를 1,000 개체로 가정하고, 크기별 출현량을 대비하여 생존곡선을 도식화 하였다.

연구 지역의 개황

본 연구 지역은 북위 37°25'00", 동경 126°37'30"로 인천광역시 연수구 동춘동에 위치한 조간대 간석지 지역이다. 평균 조차는 6.5 m로, 간조시에는 약 4 km의 광활한 사니질 갯벌이 노출된다. 가무락(*Cyclina sinensis*), 동죽(*Macra veneriformis*), 맛조개(*Solen strictus*) 등 연체동물이 풍부하게 서식하고 있어, 오래 전부터 황금어장이 형성된 지역이다.

이 지역은 반일조 주기 형태의 조류 특성을 나타낸다. 창조류는 경기만 남쪽에서 북쪽을 따라 흐르고, 인천 항 부근에 위치한 수로가 폭이 좁아지면서 유속은 가속화 되며, 낙조류는 이와 반대 방향으로 흐른다. 대조시 창조류의 유속은 0.9~1.8 m/s 정도이며, 낙조류의 유속은 1.2~2.3 m/s의 범위를 지닌다(봉,

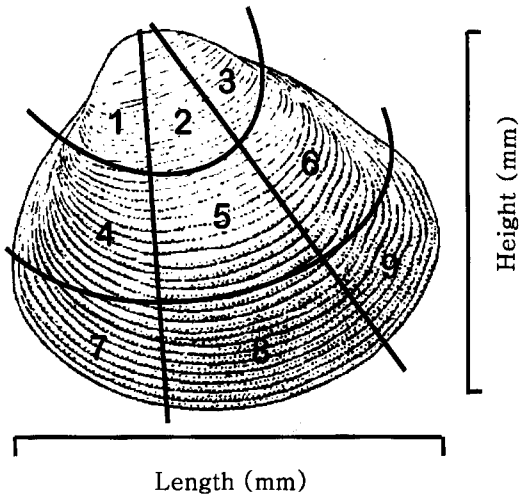


Fig. 2. Standardized divisions of shell surfaces for systematic description of sites bored by naticid gastropods and definitions of length and height for a shell.

1978; 수로국, 1983).

경기만 지역에서 부유물질의 농도는 창조시에 비해 낙조시에 높게 나타나고 있으며, 계절적으로 평수기에 비해 풍수기에 높은 농도값을 보이는데, 이러한 현상은 북쪽에 위치한 한강 하구역의 담수 유입에 따른 영향에 기인하며, 이때 수반되는 낙조 지연 효과에 의해 퇴적물이 침식, 부유되어 이동되는 계절적인 양상을 보인다(장 등, 1981; 장, 1989). 한편, 경기만의 표층 퇴적물 분포는 대체로 해안선 방향으로 세립화하는 특징을 나타내며, 이러한 분포 경향은 간석지에서 다시 나타나, 결과적으로 조간대와 조하대를 구분하는 간조선 부근에서 입도 분포의 불연속성이 나타난다(Lee et al., 1992).

퇴적물의 입도 조성은 평균 입도가 5.23 ϕ 로 모래질 실트로 구성되었으며, 표층 퇴적물 내의 유기물 함량은 평균 3.23%로 나타났다(박, 1991).

Frey et al.(1987a)에 의하면 이 지역의 조간대 상부는 생물 교반이 심한 sandy mud 지역으로, 본 조사지역이 포함되는 중부지역은 연흔이 발달한 sandy clayey silt 지역, 하부는 생물교반이 있는 sandy silt to silty sand 지역으로 구분된다. 한편, Frey et al.(1987a)는 저서 동물의 분포 양상에 따라 생물학적 구역을 설정하였는데, 본 조사지역은 연체동물대(軟體動物帶, molluscan zone)에 속하는 다량의 연체동물이 우점하는 지역이다.

결 과

종 조성

4 회에 걸쳐 채집된 유해집단을 분석한 결과 총 28 종(복족류 16 종, 이매패류 12 종)의 연체동물의 사각(死殼)이 채집되었다. 그러나, 현장에서 채집된 현생 연체동물의 종 수는 총 14 종(복족류 7 종, 이매패류 7 종)으로 유해집단의 출현 종수의 50% 만 출현한 것으로 나타났다. 유해집단과 현생 군집에서 동시에 출현한 종은 모두 14 종(복족류 7 종, 이매패류 7 종)으로 나타났다.

유해집단의 계절별 출현양상은 1989년 11월 채집에서 가장

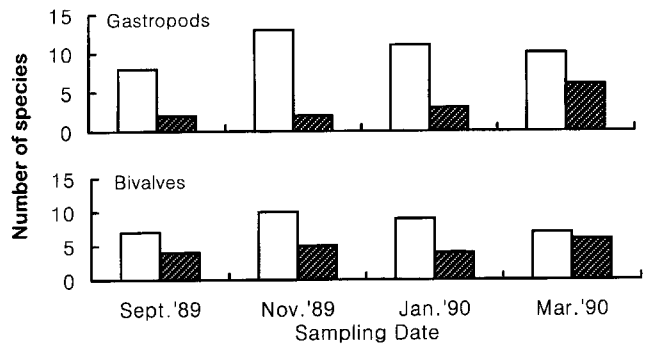
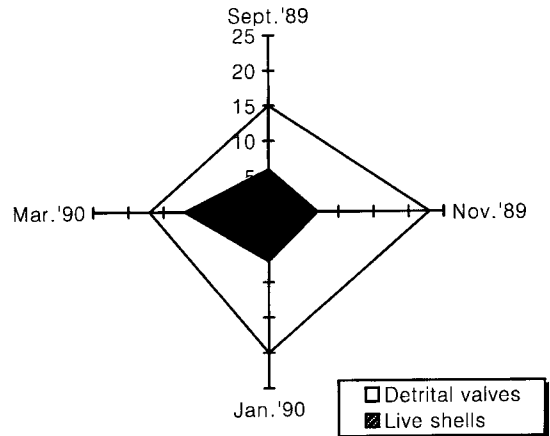


Fig. 3. Seasonal variation of the numbers of species in detrital valves and live molluscs.

많은 종(23 종)이 출현하였고, 1989년 9월에 가장 적은 종(14 종)이 출현하였다(Fig. 3). 반면, 현생 연체동물은 1990년 3월에 12 종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 1989년 11월과 1990년 1월에 각각 7 종이 출현하여 가장 적은 종 수를 나타냈다. 결국, 계절별 유해집단의 출현 종 수는 현생집단과는 상이한 결과를 보였다. 분류군 별로 종 수를 비교해 본 결과, 복족류와 이매패류 모두 11월에 가장 높은 종 수(10 종, 5 종)를 보였으며, 9월에 가장 낮게(8 종, 6 종) 나타났다(Fig. 3).

출현 밀도

조사기간 중 채집된 총 패각수는 복족류의 경우 1,929 개체로 평균 482 개체/m²가 출현하였다. 가장 높은 비중을 차지한 종은 왕좁쌀무늬고둥(*Reticunassa festiva*)으로 1,158 개체(평균 290 개체/m²)가 출현하였고, 다음으로 *Stenothyra edogawaensis*가 380 개체(평균 95 개체/m²), 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)이 119 개체(평균 30 개체/m²) 등의 순서로 나타났다(Table 1). 왕좁쌀무늬고둥의 경우 조사지역에서 우점하는 종이지만 개체의 출현율에서는 현생 동물의 약 3 배 정도의 차이를 나타냈으며, *S. edogawaensis*의 경우 조사기간 중 1990년 1월에만 8 개체가 출현하여 약 47.5 배의 출현율의 차이를 나타냈다. 한편, 서해비단고둥은 현생 동물이 한 개체도 출현하지 않았다.

이매패류의 경우 5,477 개로 평균 1,369 개체/m²의 사각이 채집되었다. 가장 높은 출현을 보인 종은 동족으로 4,542 개(평균 1,136 개체/m²)가 출현하여 전체 이매패류 패각의 출현량의

Table 1. Numbers of detrital molluscan shells and live molluscs recovered from can cores (1 m²) and their live : dead ratios

Species	Date	Sept. 1989			Nov. 1989			Jan. 1990			Mar. 1990			Total		
		D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R
Gastropoda																
<i>Reticunassa festiva</i>		339	52	6.5	261	69	3.8	245	143	1.7	313	120	2.6	1158	384	3.0
<i>Stenothyra edogawaensis</i>		153	0	-	100	0	-	108	8	13.5	19	0	-	380	8	47.5
<i>Umbonium thomasi</i>		4	0	-	30	0	-	82	0	-	3	0	-	119	0	-
<i>Decorifer</i> sp.		45	0	-	11	0	-	6	0	-	14	0	-	76	0	-
<i>Agatha virgo</i>		1	0	-	4	0	-	48	0	-	18	4	4.5	71	4	17.8
<i>Didontoglossa koyasensis</i>		22	0	-	19	0	-	25	0	-	2	2	1.0	68	2	34.0
Gastropoda unid.		4	0	-	5	0	-	5	0	-	0	0	-	14	0	-
<i>Tiberia pulchella</i>		0	0	-	1	0	-	11	0	-	0	0	-	12	0	-
<i>Chemnitzia acosmia?</i>		0	0	-	5	0	-	0	0	-	5	0	-	10	0	-
<i>Euspira fortunei</i>		0	0	-	3	0	-	3	0	-	2	2	1.0	8	2	4.0
<i>Neverita didyma</i>		0	0	-	0	0	-	5	0	-	0	1	-	5	1	2.0
<i>Brevimyrella awajiensis</i>		1	0	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	2	0	-
<i>Cerithidea cingulata</i>		0	0	-	1	0	-	1	0	-	0	0	-	2	0	-
<i>Bullacta exerata</i>		0	1	-	0	3	-	0	5	-	2	13	0.2	2	22	0.1
<i>Eulima</i> sp.		0	0	-	0	0	-	0	0	-	1	0	-	1	0	-
<i>Mitrella</i> sp.		0	0	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	1	0	-
Subtotal		569	53	10.7	442	72	6.1	539	157	3.4	379	142	2.7	1929	423	4.6
Bivalvia																
<i>Cyclina sinensis</i>		5	4	0.6	6	1	3.0	3	1	1.5	4	1	2.0	18	7	1.3
<i>Glaucanome chinensis</i>		0	0	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	1	0	-
<i>Moerella rutila</i>		136	6	11.3	89	5	8.9	115	15	3.8	57	56	0.5	397	82	2.4
<i>Meretrix petechialis</i>		0	0	-	1	0	-	5	0	-	0	0	-	6	0	-
<i>Macra veneriformis</i>		1311	2	327.8	769	4	96.1	1185	38	15.6	1277	71	9.0	4542	115	19.7
<i>Solen strictus</i>		105	138	0.4	101	28	1.8	61	60	0.5	70	149	0.2	337	375	0.4
<i>Ruditapes philippinarum</i>		5	0	-	6	0	-	3	0	-	0	1	-	14	1	7.0
<i>Nipponomysella oblongata</i>		0	0	-	2	0	-	0	0	-	0	3	-	2	3	0.3
Arcidae unid.		0	0	-	0	0	-	0	0	-	1	0	-	1	0	-
<i>Bornitopsis tsurumaru</i>		14	0	-	21	0	-	4	0	-	11	0	-	50	0	-
<i>Nitiditellina</i> sp.		0	0	-	0	0	-	1	0	-	0	0	-	1	0	-
<i>Potamocorbula amurensis</i>		1	0	-	50	1	25	52	0	-	5	0	-	108	1	54.0
Subtotal		1577	150	5.3	1,046	39	13.4	1,429	114	6.3	1,425	281	2.5	5,477	584	4.7
Total		2146	203	10.6	1488	111	13.4	1968	271	7.3	1804	423	4.3	7406	1007	7.6

Abbreviations: D=Dead shells, L=Live shells, R=Ratio.

83%를 차지하였다. 다음으로 집시조개류인 *Moerella rutila*(평균 99 개체/m²), 맛조개(평균 84 개체/m²) 등으로 나타났다(Table 1). 동죽은 한때 이 지역에서 우점종이었지만, 조사시기 동안 평균 29 개체/m² 만이 출현하였으며, *M. rutila*는 22 개체/m², 맛조개는 126 개체/m² 등으로 현생 동물과 약 2~3 배 정도의 차이를 보였다.

이매패류 사각의 접합율과 천공율

유해집단 내에 출현양에서 많은 비중을 차지하는 이매패류 중 가무락, *M. rutila*, 동죽, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)을

대상으로 접합율과 천공율을 조사한 결과, 접합율의 경우 평균 48.5%로 나타났다. 동죽이 35.5%로 접합율이 가장 낮았고, 바지락이 57.1%로 높게 나타났다(Table 2). 천공율에서는 가무락의 경우 천공된 흔적이 전혀 나타나지 않았으며, 동죽은 12.8%, *M. rutila*의 경우 44.3%로 높게 나타났다. 천공된 패각을 9개 부위로 나누어 천공된 부분을 나누어 본 결과, *M. rutila*의 경우 각 정(umbo)이 위치한 부분에 주로 천공된 것으로 나타났으며(70.5%), 일부는 각정을 따라 중앙 부분(21.6%)과 연변부(3.4%)에 천공되기도 하였다(Fig. 4). 동죽의 경우도 유사한 양상을 나

Table 2. Articulation ratio and boring ratio of the dominant detrital molluscan shells

Species	Number of conjoined valves	Number of detached valves	Articulation ratio (%)	Number of drilled valves	Boring ratio (%)
<i>C. sinensis</i>	10	8	55.6	0	0
<i>M. rutila</i>	182	215	45.8	88	44.3
<i>M. veneriformis</i>	1612	2930	35.5	292	12.8
<i>R. philippinarum</i>	8	6	57.1	1	14.3

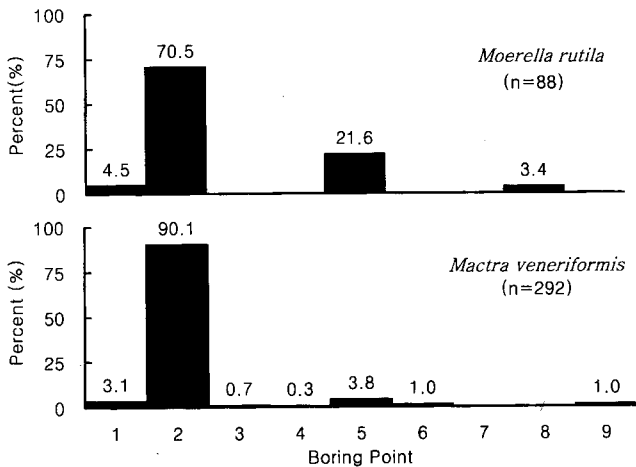


Fig. 4. Position of boreholes drilled by naticid gastropods in dominant detrital valves (*M. rutila* and *M. veneriformis*).

타냈는데, 대다수가 각정 부분이 집중적으로 천공되어 이 부분의 천공율이 90.1%를 나타냈다. 또한 각정을 제외한 부분에서도 *M. rutila*와는 상이하게 다양한 부위에서 일부 천공된 흔적이 나타났다.

회분중량

총회분중량(calcimass)은 2,199.8 g DWt/m²(평균 575.0 g DWt/m²)으로 나타났으며, 이 중에 복족류가 179.0 g DWt/m², 이매패류가 2,020.7 g DWt/m²로 이매패류가 월등히 높은 비중(92%)을 차지하였다. 계절별 회분중량을 비교해 볼 때, 1989년 9월이 가장 높게 나타났으며, 11월에 가장 적은 양이 채집되었지만, 계절별 회분중량의 변화는 두드러진 변화를 보이지 않았다(Fig. 5). 복족류에서는 왕좁쌀무늬고둥(52.0%)과 서해비단고둥(42.9%)이 대다수를 차지하였다. 이매패류에서는 동족이 89.8%로 월등히 높은 비중을 차지하였다. 동족이 전체 회분중량의 82.4%를 차지하여, 계절별 회분중량의 변화를 좌우하였다(Fig. 5).

우점종의 크기별 사망 유형의 추정

유해집단에서 가장 우점하는 종인 *M. rutila*, 동족, 왕좁쌀무늬고둥을 대상으로 크기-빈도 분포(size-frequency histogram)와 생존곡선(survivorship curve)을 구한 결과, *M. rutila*의 경우 크기 빈도 분포에서 1989년 9월에는 주로 성체들로만 구성된 단일모드(unimodal)형태로 나타났으나, 그 이후에는 크기가 작은 어린 개체의 사각이 일부 출현하기 시작하였으며, 1990년 3월에는 전반적으로 채집된 사각 수도 적고, 상대적으로 어린 개체가 가입된 비중이 증가하는 양상으로 여러 개의 복합모드(multimodal)가 형성되었다(Fig. 6). 따라서 생존곡선에서도 전반적으로 어린 개체가 사망한 비율이 낮게 나타났으나, 3월에는 증가하는 양상을 보였다(Fig. 6).

동족의 경우, 크기-빈도 분포에서 조사기간 동안 모두 유사한 모양을 보이는 두 개의 모드(bimodal)가 형성되었다(Fig. 7). 각장의 크기가 약 4 mm 정도인 어린 개체의 사망이 매우 두드러진 것이 특징이며, 성체의 경우 평균 각장이 약 24 mm 정도로 나타났다. 이러한 양상은 생존곡선분석의 결과 더욱 선명하게 보여주

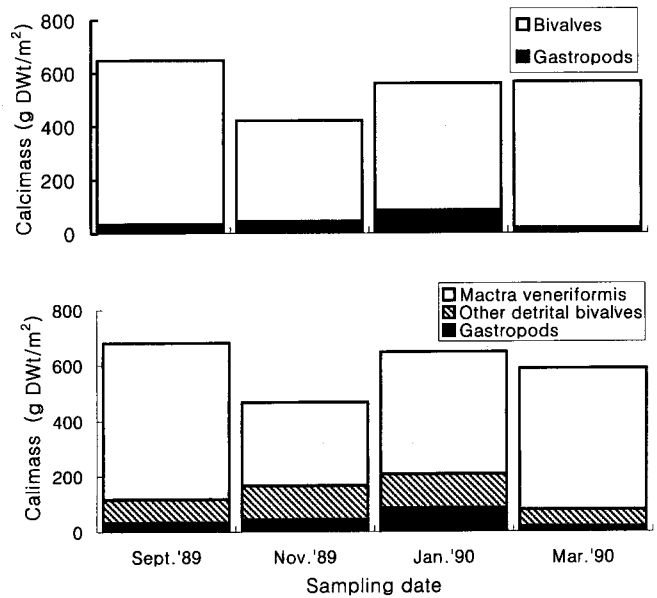


Fig. 5. Seasonal variation of calcimass (g DWt/m²): (a) detrital bivalves and gastropods, (b) gastropods, total detrital valves and *M. veneriformis*.

는데, 2 개의 굴곡을 나타냈다. 1990년 1월의 경우 어린 개체의 사망률이 뚜렷하게 높게 나타났으며, 1990년 3월의 경우 각장이 28~32 mm 정도 크기의 사각이 다량 채집되면서 다른 계절에 비해 성체의 사망이 상대적으로 높게 나타났다(Fig. 7).

왕좁쌀무늬고둥의 경우 크기-빈도 분포에서 동족과 유사한 두 개의 모드를 나타냈다. 즉, 어린 개체의 사망이 두드러진 것이 특징인데, 1989년 9월에서 1990년 1월로 갈수록 어린 개체로 구성된 사각의 수가 감소하는 경향을 보이다가 1990년 3월에 각고가 3 mm 이하인 개체가 급격하게 증가하면서 높은 사망률을 보인 반면, 성체의 경우 감소하는 양상을 나타냈다(Fig. 8). 생존곡선에서도 1990년 3월에 어린 개체의 사망률이 급격히 증가하였으며, 1989년 9월에서 1990년 1월로 갈수록 어린 개체의 사망률은 점차적으로 감소하는 양상을 나타냈다.

고 찰

종 조성 및 출현 밀도

4 회에 걸친 조사에서 채집된 총 28 종의 연체동물의 패각 중 14 종은 조사 지역에서 살아있는 개체도 동시에 채집되어, 이 지역에 서식하는 종으로 나타났으며, 8 종은 조사 지역 인근 조간대에 서식하는 생물로 나타났다(박, 1991). 또한, 외부에서 유입된 것으로 보이는 복족류 중 4 종은 동정조차 할 수 없을 정도로 심하게 마모된 상태로 소량이 채집되었다. 복족류의 사각은 그 형태적 특성으로 인해 이매패류보다는 이동이 원활하다. 따라서 이매패류보다 높은 다양성을 보이며, 특히 오래된 패각의 경우 여러가지 물리적 요인에 의해 매우 먼거리에서 이동되어진 경우도 있다(Frey and Howard, 1986; Henderson and Frey, 1986; Frey et al., 1988). 본 조사에서도 현생동물의 경우 복족류와 이매패류가 각각 7종씩 출현한데 비해 유해집단에서는 복족류가 더욱 높은 다양성을 나타냈다. 하지만 총 28 종의 유해집

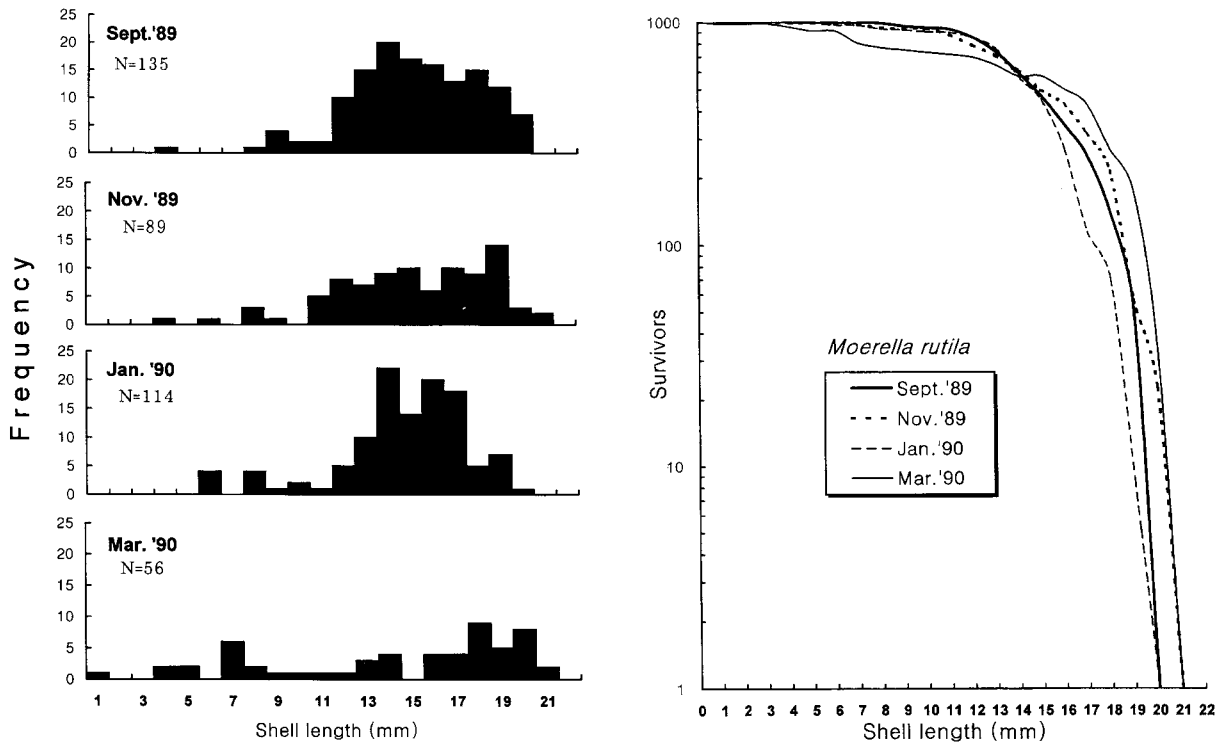


Fig. 6. Size-frequency histogram and size-specific survivorship curves obtained from detrital valves of *M. rutila*.

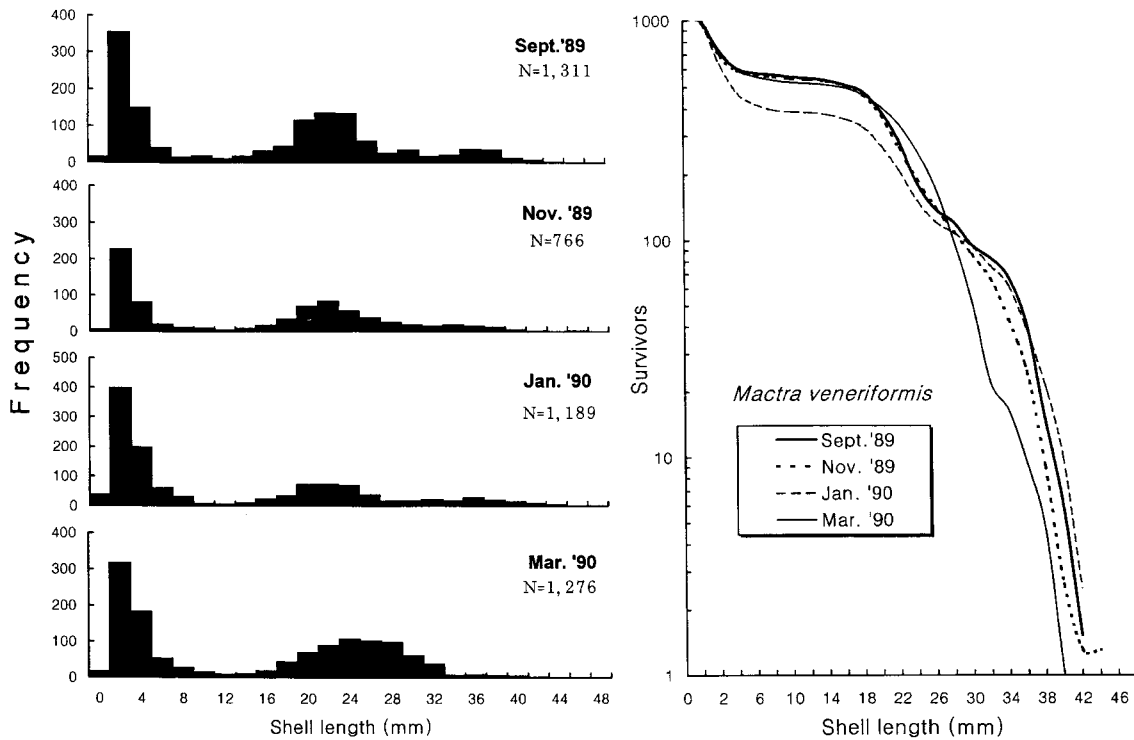


Fig. 7. Size-frequency histogram and size-specific survivorship curves obtained from detrital valves of *M. veneriformis*.

단 구성원 중 22 종이 인근지역에 서식하는 종이며, 6 종 만이 외부에서 유입된 것으로 나타났다. 유해집단 연구는 조사 규모에 따라 달리 해석되어야 하지만, 현생 생태학이나 고생태학적 연구를 수행하는데 있어 대부분의 시료가 심한 이동이나 환경적 영

향을 겪지 않았음을 가정으로 하고 있기 때문에(Tanabe and Arimura, 1987), 살아있는 생물이 고밀도로 분포하는 지역에서 조사 되는 것이 더욱 유효한 자료를 얻을 수 있다. 생물이 살아가는 생활사와 분포양상을 이해하고, 조사지역의 물리적인 환경을 우선

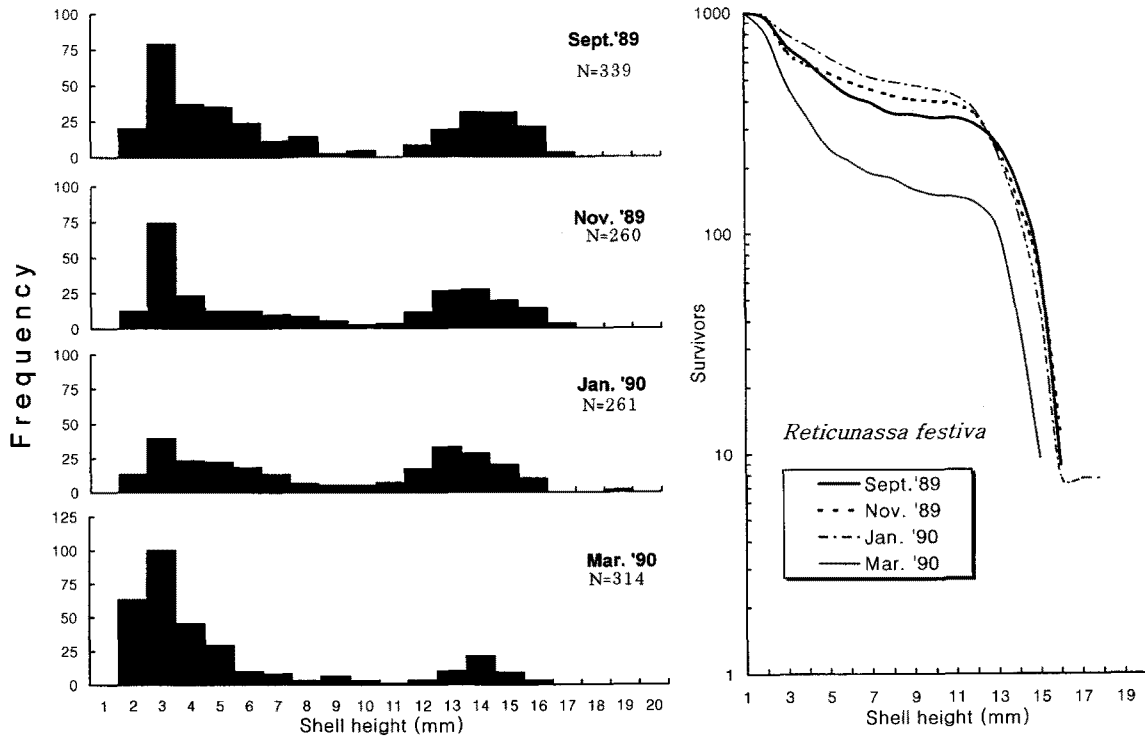


Fig. 8. Size-frequency histogram and size-specific survivorship curves obtained from detrital valves of nassariid gastropod, *R. festiva*.

적으로 이해함으로써 살아있는 종이 유해집단으로 바뀌어가는 전이과정에 예측되는 요인들을 고려하는 것이 각 생물의 유해집단에 대한 정보를 이해하는 데 중요하게 작용한다(Tanabe *et al.*, 1986; Tanabe and Arimura, 1988). 따라서 본 조사는 정량화된 자료와 동일지역에서의 반복 조사, 살아있는 개체와의 비교가 용이하기 때문에 기존 유해집단의 분석에서 문제시된 가정에 대해 효율적인 조건을 가지고 있다고 볼 수 있다.

본 조사에서는 상당히 많은 양의 패각이 채집된 것으로 나타났다. 주로 현지에 서식하는 종들이 유해집단 내에서도 높은 밀도를 보였으며, 동족, 서해비단고둥 등 몇 종을 제외하고는 살아있는 개체와의 비가 평균 2~3 배 정도를 유지하였다. 특히, 동족은 이번 조사에서 최우점종으로 나타났다. 전체 출현량의 80%를 육박하는 양이 특정한 계절적 변동없이 출현하였다. 왜냐하면, 이 지역에 서식하는 동족의 집단폐사로 인해 대부분이 사망하였기 때문이다. 조사 당시, 이 지역은 수로가 형성되어 있지 않고, 오히려 간석지가 다소 불룩하게 둔덕이 형성된 지역이다. 따라서 외부적 요인에 의해 이 지역에 집중적으로 퇴적된 것이 아니라 자연적으로 사망한 개체가 퇴적됨에 따라 급증한 것으로 보인다. 한편, 1989년 9월의 경우 단 2 개체의 살아있는 동족이 채집되었다가, 시간이 지날수록 조금씩 증가하는 양상을 보였다.

한편, 맛조개의 경우도 이 지역에서 주로 서식하는 이때패류이다. 맛조개는 유해집단과 현생동물과의 비율이 0.4로 유해집단보다 현생동물의 개체수가 크게 앞선 것으로 나타났다. 맛조개의 경우 패각이 얇기 때문에 화석화 과정이 쉽게 일어나고, 채집시 파손되는 경우가 발생하여 실제보다 적은 개체수가 시료로 사용되었다. 서해비단고둥의 경우 유해집단을 구성한 복족류 중 우점종으로 나타났음에도 불구하고, 현생동물이 한 개

체도 발견되지 않았다. 서해비단고둥은 사니질 간석지 중 일정 지역에서 분포대를 형성하며, 높은 서식밀도를 나타내는 종으로 실제로 조사 지역의 경우 하부쪽으로 약 500여 m 지점에 서해비단고둥이 서식하는 것으로 조사되었다. 따라서 이 종이 유해집단으로 출현할 수 있었던 것을 두 가지로 추론할 수 있다. 먼저, 조사 지역에 가까운 하부지역에 서식한다는 것은 조석 등 물리적 요인에 의해 패각이 이동할 수 있다. 실제로 유해집단에서 이동을 유발하는 원인은 수력학적 제조건, 특히 조간대 지역에서는 조류의 세기 및 방향이 작용한다. 패각의 이동현상은 종에 따라, 또는 동일 종 내에서는 형태의 변화, 무게, 크기, 천공의 유무 등에 따라 달라지며(Lever and Thijssen, 1968; Frey and Henderson, 1987), 복족류의 경우 이때패류보다 이동이 원활하다. 두번째는 이전에 이 지역에서 서식하였다가 하부로 이동하였을 가능성이 있다. 서해비단고둥은 황해 사니질 조간대 지역에서 우점종으로 나타남에도 불구하고 그 생태적 연구는 전무하다. 그러나 형태적 특성이나 분포 양상이 독특하여 확산과 이동이 매우 원활할 것으로 판단된다.

패각의 집합율과 사망에 대한 정보

패각의 집합율은 패각의 크기, 중량, 밀도, 형태, 경도 등 생물학적 요인은 물론 그밖에도 물리적 측면과 퇴적학적인 면과 같은 비생물학적인 요인도 함께 작용한다(Tanabe *et al.*, 1986; Frey and Henderson, 1987). 집합된 패각과 분리된 패각을 비교할 때 전자의 경우 주로 펄 속 깊은 곳에 서식하는 종류들이 높은 비율로 나타나고 있기 때문에 후자에 의한 자료보다도 살아있는 군집에 대한 신뢰성 있는 자료를 보존하고 있다고 볼 수 있다(Tanabe *et al.*, 1986; Tanabe and Arimura, 1987; Frey *et al.*,

1988). 동족의 경우 접합율이 상대적으로 낮은 비율을 보이고 있다. 사실 동족은 집단 폐사가 발생한 후에 표층으로 노출된 채 패각이 벌어진 상태로 나타났기 때문에 조석 등 물리적인 영향에 의한 영향을 비교적 쉽게 받은 것으로 보인다. 또한 다른 이매패류의 경우 패각 속에 떨어 들어간 상태로 단단하게 접합되어 있지만 동족은 집단 폐사 이후 패각이 벌어진 채 노출되어 있어서, 조석 등 물리적인 영향을 받을 것으로 생각되며, 시료 처리시에도 많은 양이 분리된 것으로 추정된다.

천공성 권패류에 의한 사망률의 경우도 동족의 일시적인 집단 사망으로 인해 상대적으로 낮은 비율을 나타냈다. 이 지역은 갯우렁이(*Euspira fortunei*), 큰구슬우렁이(*Neverita didyma*) 등 천공성 복족류가 다량 서식하는 지역으로 이들의 포식에 의한 사망률도 무시할 수 없는 지역이다. 이들은 천공 부위에 대해서는 여러 가지 이견이 있지만 패각의 두꺼운 부분을 피하고, 패각 내에 육질부분 보다 위나 장 그리고 소화선 등 중요한 부분이 있는 곳에 구멍을 내어 체액을 섭취하는 것으로 알려져 있다 (Carefoot, 1977).

본 조사에서는 접시조개류인 *M. rutila*와 동족 모두가 각정 부분을 주로 천공당한 것으로 나타났다. *M. rutila*의 경우 채집된 패각 중 44% 정도가 천공에 의해 사망한 것으로 나타나, 높은 포식율을 보였다. 비록 적은 양이 채집되었지만 가무락의 경우는 천공된 흔적을 전혀 찾아볼 수 없었다. 가무락의 경우 서식 분포대가 조간대 상부 니질 퇴적상이며, 따라서 본 연구 지역의 경우 이 종의 서식대가 조사 지점 보다도 최상부에 위치한다. 따라서 포식자들과 분포 범위가 상이하고 서식량이 상대적으로 빈약하여 충분한 자료로 나타낼 수 없는 것으로 생각된다.

회분증량의 변화

회분증량에 의한 분석은 개체가 클수록 보존성이 높기 때문에 개체군 내에서 성체의 성장에 대한 정보를 더욱 효과적으로 얻을 수 있으며, 패각의 생산량은 육중량을 이용한 것 보다 일단 측정하기 용이하고, 오차도 줄일 수 있다. 따라서 현생동물의 패각을 동시에 측정한다면, 전체 생산량 측정에 매우 중요한 정보를 확보할 수 있다(Beukema, 1980, 1982; Staff, 1986). 회분증량은 동족의 대량 폐사로 인해 이매패류가 월등히 높게 나타났다. 결국 이 지역은 동족의 회분량이 전체 유해집단의 대부분을 차지하기 때문에 회분증량의 계절적 변화도 동족의 양에 따라 좌우된다.

크기-빈도 분포와 생존곡선에 의한 주요 우점종의 사망 유형의 추정

유해집단에서 크기-빈도분포와 생존곡선의 생태학적 의미: 유해집단의 구성 분포를 알아보기 위해서는 크기-빈도 분포와 생존곡선을 유추해 보는 것이 가장 적절하다. 패각을 이용한 크기-빈도 분포는 현생종과 화석종의 개체군 특성을 이해하는 기초자료를 제공하기 때문에 개체군 생태에 대한 정보를 얻기 위해 흔히 사용된다. 저서무척추동물의 개체군 연구에 주로 이용되는 크기-빈도 분포는 가입량, 성장, 사망률에 관련된 정보를 제공하고, 중간 경쟁, 포식 등의 기능적인 상호작용을 측정하기 위해 수행되어진다. 하지만 유해집단의 경우 크기-빈도 분포 자료는 특정 크기의 사망에 대한 자료만을 제공할 수 있지만 살아

있는 개체들과 병행하여 분석이 이루어 질 경우 유해집단을 해석하는 데 보다 더 정확한 결과를 얻을 수 있다(Cummins *et al.*, 1986). 또한, 시간별 크기-빈도 분포의 비교는 군집에서 종의 생활사와 가입, 성장, 사망 등에 대한 자료를 제공한다. 특히 이 과정에서는 화석화(taphonomy)와 시간에 따른 영향을 이해하는 것이 중요하다(Shimoyama, 1984). 유해집단을 이용한 생존분석의 경우, 일반적인 개체군 생태와는 다르게 작은 개체에서의 사망률이 낮고, 크기가 증가할수록 사망률이 증가한 것으로 나타나는데, 이는 시료 채집시 가장 사망률이 높은 초기 가입자가 배제되었고, 성체의 경우 패각의 보존기간이 길어서 지속적인 가입이 일어나기 때문이다. 하지만, 생존곡선의 경우도 만일 사망률이 높은 연급군이 특정 분포를 보인다면, 이 종의 사망 양상을 추측할 수 있다(Flessa, 1987). 이는 크기-빈도 분포와 유사한 양상을 보일 것으로 생각되지만 시간에 따른 또는 계절적인 비교에서는 생존곡선이 더욱 명확한 비교치를 보인다.

주요 우점종의 크기-빈도 분포와 생존곡선의 해석: 접시조개류인 *M. rutila*의 경우 유해집단 분석에서 나타나는 전형적인 형태를 보였다. 그러나 1990년 3월 조사에서는 어린 개체의 사망이 두드러지게 나타나고 있어서 생존곡선에서 초기 사망률이 증가한 양상을 보였다. 이 시기는 겨울철로 생물의 성장이 감소하고, 사망이 증가하는 시기로서 채집된 개체가 다른 시기에 비해 상대적으로 적은 데 반해 어린 개체의 사망이 두드러진 경우, 이와 같은 양상을 보일 수 있다. 그러나 동족과 왕참살무늬고둥의 경우 어린 개체와 성체로 구성된 이중모드를 형성하였다. Flessa(1987)에 의하면, 두 개의 중복모드가 형성되는 것은 산란 및 착저 시기의 차이, 계절적인 사망률의 차이 등에 의한 것으로 해석하였다. 특히 동족의 경우 거의 모든 개체가 일시에 사망한 양상을 보였는데도 불구하고, 두 개의 모드가 형성된 것은 어린 개체의 집단 사망이 발생한 것으로 보여진다. 동일 시기에 인근 지역에서 조사된 신과 고(1995)에 의하면, 동족의 크기-빈도 분포 형태가 본 조사와 유사한 양상을 보였으며, 일반적으로 1 개의 모드를 형성하다가, 9월 이후 어린 개체의 가입으로 인해 2 개의 모드로 나타났다. 이때 단일모드에는 4 개의 연급군이 복합적으로 혼재해 있는 것으로 해석하였다. 그러나 폐사가 일어난 4월에는 어린 개체의 가입이 나타나지 않았다. 따라서 어린 개체의 패각이 집단으로 출현한 것은 여름철 가입 이후 발생한 사망에 의한 것으로 생각할 수도 있다. 즉, 8월에 초기 착저되어 사망한 것이 지속적으로 채집된 것으로 해석할 수 있다. 또한, 이때 채집된 어린 개체들의 패각은 광택이 있고, 마모된 부분이 나타나지 않는 것으로 보아 새로이 가입된 것임을 뒷받침 해준다. 유해집단의 경우 종의 사망률에 따라 개체분포가 좌우되지만 유해집단 자체도 화석화 과정에 따라 부서지거나 마모되어 소멸되어진다. Cummin *et al.*(1986)은 종에 따라 또는 개체의 크기에 따라 차이는 있지만, 약 6 개월 정도면 마모 과정이 이루어진다고 하였다. 그러나 동족에 의한 분석 결과, 패각의 크기-빈도 분포가 시간에 따라 큰 변동이 없는 것은 화석화 과정에서의 마모율이 최소 6 개월 동안에는 활발히 진행되지 않는다는 점을 들 수 있고, 일단 이 지역에 퇴적된 유해집단은 겨울철을 지남에도 불구하고 개체 분포에 영향을 미치는 대규모의 물리적 영향을 받고 있지 않다고 생각할 수 있다. 전

반적으로 이들 우점종의 생존곡선에서 1990년 3월에는 다른 3회에 걸친 조사보다도 평균적으로 초기 사망율이 높게 나타났는데, 이는 집단 폐사 이후 새롭게 가입된 현생 생물의 겨울철 사망률의 증가에 의한 영향으로 유추할 수 있다.

이와 같은 결과에서 유해집단의 연구에 있어 한번의 분석으로 생존모드를 추론하는 것은 오히려 사실을 왜곡할 수 있다고도 생각할 수 있다. 이러한 현상은 왕좁쌀무늬고둥에서 더욱 뚜렷하여 1990년 3월의 경우 어린 개체가 사망이 급격히 증가한 양상을 보였다. 또한, 동죽과 더불어 생존곡선이 모두 겨울을 지난 후에 감소하는 것으로 보여 월동이 어린 개체의 생존에 중요한 영향을 미친 것으로도 유추할 수 있다. 따라서, 유해집단의 연구를 통하여 보다 신뢰성있는 결과를 얻기 위해서는 지역적 및 종간 특성의 차이에 따른 생물학적, 화학적 요소를 충분히 분석하고 이해하는 것이 중요하다. 또한 크기-빈도 분포에서는 일정 크기의 시간에 따른 축적율과 화석화 과정에 따른 마모율이 분석에 영향을 미치고 있음을 고려해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 1996년도 인하대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝히는 바입니다.

참고문헌

- 김선애, 1990. 한반도 서남단 목포근해저 연체동물 유해집단에 관한 연구. 석사학위 논문, 부산대학교, 54 pp.
- 박홍식, 1991. 인천 연안 조간대 저서생물의 생태학적 연구. 석사학위 논문, 인하대학교, 124 pp.
- 봉종현, 1978. 인천항 부근 수로의 조류. 한국해양학회지, **13**: 29—34.
- 수로국, 1983. 조류도(인천항 및 부근 해역) 서지 제 1435호.
- 신현출, 고철환, 1995. 서해 송도 갯벌에서의 동죽(*Macra veneriformis*: *Bivalvia*)의 성장과 생산. 한국해양학회지, **30**: 403—412.
- 장순근, 이창복, 석봉출, 유홍룡, 김성열, 이경신, 1981. 연안 환경도 작성 연구(경기만: 해양 지질분야). 해양연구소, BSPE 00029-52-5.
- 장현도, 1989. 한강 중합개발 이후 한강 하구 및 경기만에서 퇴적 환경의 변화. 석사학위 논문, 인하대학교, 82 pp.
- Arua, I. and M. Hoque, 1987a. Predation intensity in an Eocene molluscan assemblage from southeastern Nigeria. *Geol. Mijnb.*, **66**: 293—296.
- Arua, I. and M. Hoque, 1987b. Predatory gastropod boreholes in an Eocene molluscan assemblage from Nigeria. *Lethaia*, **22**: 49—60.
- Beukema, J.J., 1980. Calcimass and carbonate production by Molluscs on the tidal flats in the Dutch Wadden sea—*Macoma balthica*. *Neth. J. Sea Res.*, **10**: 236—261.
- Beukema, J.J., 1982. Calcimass and carbonate production by Molluscs on the tidal flats in the Dutch Wadden sea—*Cerastoderma edule*. *Neth. J. Sea Res.*, **15**: 391—405.
- Carefoot, T., 1977. Pacific Seashores. University of Washington Press, Seattle, 208 pp.
- Flessa, K.W., 1987. Palaeoecology and taphonomy of recent to pleistocene intertidal deposits Gulf of California. *Paleontol. Soc., Spec. Publ.*, **2**: 139—149.
- Frey, R.W. and S.W. Henderson, 1987. Left-right phenomena among bivalve shells: examples from the Georgia Coast. *Senckenb. Marit.*, **19**: 223—247.
- Frey, R.W. and J. Howard, 1986. Taphonomic characteristics of offshore mollusk shells, Sapelo Island, Georgia. *Tulane Stud. Geol. Paleontol.*, **19**: 51—61.
- Frey, R.W., J.S. Hong, J.D. Howard, B.K. Park and S.J. Han, 1987a. Zonation of benthos on a macrotidal flat, Inchon, Korea. *Senckenb. Marit.*, **19**: 295—329.
- Frey, R.W., J.D. Howard and J.S. Hong, 1987b. Prevalent lebensspuren on a modern macrotidal flat, Inchon, Korea. *Palaaios*, **2**: 571—593.
- Frey, R.W., J.S. Hong and W.B. Hayes. 1988. Physical and biological aspects of shell accumulation on a modern macrotidal flat, Inchon, Korea. *Neth. J. Sea Res.*, **22**: 267—278.
- Henderson, S.W. and R.W. Frey, 1986. Taphonomic redistribution of Mollusk shells in a tidal indet channel, Sapelo Island, Georgia. *Palaaios*, **1**: 3—16.
- Lee, C.B., H.R. Yoo and K.S. Park, 1992. Distribution and properties of intertidal surface sediments of Kyeonggi Bay, West coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 277—289.
- Shimoyama, S., 1984. Size-frequency distributions of living population and dead shell assemblages of *Macoma incongrua* (Martens) on an intertidal mud flat in North Kyushu. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, **25**: 271—287.
- Shimoyama, S., 1985. Size-frequency distribution of living populations and dead shell assemblages in a marine intertidal sand snail, *Umbonium (Suchium) moniliferum* (Lamarck), and their palaeoecological significance. *Palaeogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.*, **49**: 327—353.
- Staff, G.M., R.J. Stanton, E.N. Powell and H. Cummins, 1986. Time-averaging taphonomy, and their impact on paleo-community reconstruction: Death assemblages in Texas Bays. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **97**: 428—443.
- Tanabe, K., 1988. Age and growth rate determinations of an intertidal bivalve, *Phacosoma japonicum*, using internal shell increments. *Lethaia*, **21**: 231—241.
- Tanabe, K. and E. Arimura, 1987. Ecology of four infaunal bivalve species in the recent intertidal zone, Shikoku, Japan. *Palaeoecology*, **60**: 219—230.
- Tanabe, K., T. Fujiki and T. Katsuta, 1986. Comparative analysis of living death bivalve assemblages on the Kawarazu Shore, Ehime Prefecture, west Japan. *Benthos Res.*, **30**: 17—30.
- Vignali, R. and L. Galleni, 1986. Naticid predation on soft bottom bivalves; A study on a beach shell assemblage. *Oebalia*, **13**: 157—177.

1998년 1월 19일 원고 접수

1998년 4월 16일 수정본 채택