

구멍연잎성게, *Astriclypeus manni* (VERRIL 1867)의 먹이섭취,
서식밀도 및 이동속도에 관하여

강도형·최광식*

제주대학교 해양과학대학 해양생산과학부

Ecological Studies on the Sand Dollar, *Astriclypeus manni*
(Verril 1867)-Feeding, Density and Locomotion

Do-Hyung Kang and Kwang-Sik Choi*

School of Applied Marine Sciences, Cheju National University,
1 Ara 1 Dong, Cheju, Chejudo 690-756 Korea

Abstract - Sand dollar, *Astriclypeus manni* (Echinodermata: Echinoidea) is widely distributed on subtidal sand flats all along the coast of Cheju Island. Limited information has been reported on their ecology despite their abundance. This study reports gut contents, density and locomotion of the sand dollars distributed on a subtidal sand flat on the north-east coast of Cheju Island. Microscopic examination of the gut contents indicated that *A. manni* feeds on inorganic and organic detritus as well as live organisms contained in the sediments. Inorganic particles included sand grains, sponge spicules and shells of benthic animals such as foraminifera, crustacean and molluscs. Mean diameter of sediment particles retained in the gut was $77.6 \pm 22.2 \mu\text{m}$. Live organisms retained in the gut included foraminifera, harpacticoid copepods, nematodes, diatoms and unidentified egg. Spatial distribution pattern of the sand dollar was found to be random with a mean density of 0.4 individual m^{-2} ($\chi^2 = 85.16, p > 0.05$). Locomotion speed of the sand dollar measured *in situ* was 2.0 to 65.0 cm hr^{-1} . Locomotion speed and moving distance was somewhat higher in summer when food availability also higher.

Key words : sand dollar, *astriclypeus manni*, feeding, locomotion, density, ecology

서 론

연잎성게류는 주로 조하대의 모래지역에 널리 분포하며 퇴적물 내에 포함되어 있는 유기물을 섭취하는 퇴적물식자로 알려져 있다(Lane & Lawrence 1980, 1982;

Reidenauer 1989; Pormory *et al.* 1995; Kang *et al.* 1999). 연잎성게의 퇴적물 섭취 활동은 서식지 기질의 교란을 유발하며 이는 퇴적물내의 유기물과 저서성 플랑크톤의 물리적인 교란 및 교란된 유기물에 의한 수중 박테리아 활동 증가 등에 영향을 미친다(Jonge & Van den Bergs 1987; Wainright 1987). 이러한 연잎성게류의 먹이 섭취 활동은 장기적인 측면에서 볼 때, 교란된 저질입자와 유기물에 의해 수중의 생산력을 증가시키는

* Corresponding author: Kwang-Sik Choi, Tel. 064-754-3422, Fax. 064-756-3493, E-mail. skchoi@cheju.ac.kr

역할을 하며, 단기적으로는 먹이섭취를 위한 이동과 소화과정을 통하여 연성저질 내 유기물의 공간적 순환에 있어 중요한 역할을 한다(Telford *et al.* 1985; Vernon *et al.* 1993; Pomory *et al.* 1995; Sloth *et al.* 1996). 저질의 재부유와 유기물의 지속적인 재순환은 또한 일차생산에 필요한 질소를 약 69%까지 공급하는 것으로 알려지고 있다(Flint & Kamykowski 1984).

구멍연잎성게, *Astriclypeus manni*는 연잎성게목(Order Clypeasteroidea)에 속하는 부정형 성게로서 수심 6~35 m 천해의 모래 속 또는 위에서 서식하고(Shin & Rho 1996), 저질입자의 크기가 125~500 μm인 연성기질에 널리 분포한다(Dexter 1977; Harold & Telford 1982; Pomory *et al.* 1995; Kang *et al.* 1999). 일반적으로 서식지의 퇴적물입자 크기와 조성은 연잎성게류의 공간적 분포를 제한하는 환경인자로 알려져 있다(Chia 1973). 또한 퇴적물내의 화학적 영양물질의 농도와 입자크기는 연잎성게의 정량적 분포에 영향을 미치며, 퇴적물 내에 포함된 가용 먹이의 양과 질은 연잎성게류의 공간적, 시간적 성장 차이의 주된 원인으로 보고되고 있다(Sanders 1958; Ebert 1980; Lane & Lawrence 1982). 한편, 개체에 따른 먹이섭취 효율과 장 내에서의 소화 효율은 연잎성게 개체의 성장 차이에 주된 원인으로 보고되고 있다(Vadas 1977; Lane & Lawrence 1982; Keats *et al.* 1984; Andrew 1986; Frantzis *et al.* 1992; Guillou & Michel 1994). 따라서 계절에 따른 연잎성게의 먹이섭취, 먹이섭취를 위한 이동속도 및 단일 공간에 대한 서식밀도 등은 구멍연잎성게 개체군 성장에 영향을 주는 요인으로 여겨진다(Salsman & Tolbert 1965; Lane and Lawrence 1982; Reidenauer 1989; Freire *et al.* 1992).

구멍연잎성게는 우리 나라 제주도를 비롯하여 일본 남부 및 호주 연안에 까지 널리 분포하는 아열대 동물

로 여겨지고 있으나 이들 개체군의 생태에 관한 연구는 극히 미진한 실정이다(Shin & Rho 1996). 이 연구는 제주 함덕 연안에 분포하고 있는 구멍연잎성게 개체군의 생태에 관한 기초 연구로, 이들의 먹이섭취, 이동속도 및 서식밀도에 대한 행동학적 특성 등을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구지역의 해양환경

연구 지역인 제주도 북제주군 함덕 연안 조사지 주변은 여로 둘러 쌓여있는 지역으로(Fig. 1), 수심은 대조 밀물시 3~4m, 썰물시 2~3m로 비교적 얕은 지역이다. 조하대 기질은 세사질로 이루어져 있으며, 지역에는 구멍연잎성게가 집단으로 분포하고 있다. 이들 성게류의 서식지 주변에는 해양 현화 식물인 갈피, *Zostera marina*가 군락을 이루어 분포하고 있으며 연중 수온은 12~25°C, 염분은 30~34‰의 범위를 보인다(Kang *et al.* 1999).

2. 장 내용물 관찰

장 내용물 분석 시료는 SCUBA를 이용하여 99년 8월에 채집한 10개의 성체에서 수집하였다. 채집된 개체는 개각한 후 장을 메스와 가위를 사용하여 절개한 뒤, Phosphate-Buffered Saline (PBS)으로 내용물만을 충분히 씻으면서 장 내용물만을 추출하였다. 추출된 시료는 10% 중성포르말린용액으로 24시간 고정하였으며, 다시 70% 에탄올에 고정하였다(Lee *et al.* 1998). 장 내용물 중, 생물체의 분리 및 동정을 위하여 시료를 3~5%의 rose Bengal 염색액으로 착색시켰다(Walton 1952). Rose bengal에 착색된 시료는 6시간 후 0.063 mm체를 이용하여

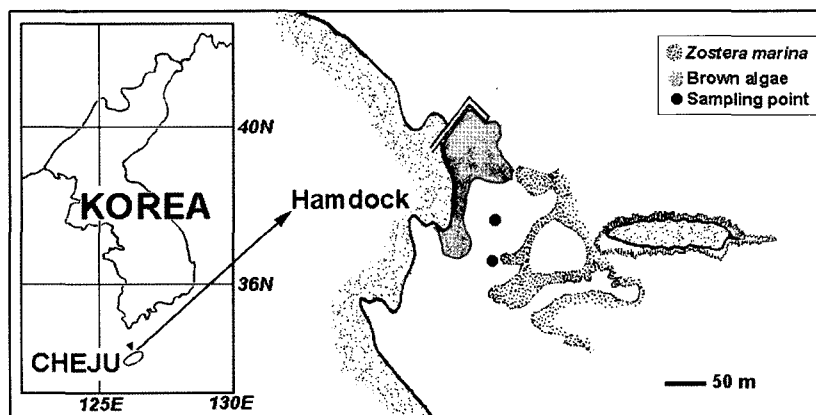


Fig. 1. Map showing the location of the study area.

걸러냈다. 채로 걸러진 시료는 증발접시에 모은 후에 비누거품을 넣어 가볍게 저어주면 퇴적물 입자 보다 가벼운 생물들은 위로 뜨게 된다. 따라서 장 내의 유기물을 퇴적물과 분리시키기 위하여 Woo *et al.* (1999)의 방법에 따라 비눗물을 0.063 mm 체위에 부어서 걸러 주었다. 채로 걸러진 생물들과 나머지 장내 퇴적물은 현미경을 사용하여 관찰하고 사진촬영을 하였다. 장내 퇴적물의 입도조성은 컴퓨터 화상처리 프로그램을 이용하여 각 입자들의 단축과 장축의 길이를 측정하였다.

3. 서식밀도 측정

구멍연잎성계의 서식밀도 측정은 99년 8월에 SCUBA를 이용하여 실시하였다. 이를 위하여 1m×1m의 방형구와 50 m 줄자를 사용하여 조사지역 내의 서로 다른 세 구역에 길이 30 m의 transect를 설정하였다. 길이 30 m의 각 transect 위에 분포하는 구멍연잎성계의 수는 1m×1m의 방형구를 이용하여 1 m 간격으로 30 m까지 연속적으로 계수하였다. 구멍연잎성계의 공간분포 패턴은 계수된 개체의 서식밀도, 표준편차 및 평균의 대소를 비교하여 구하였다. 개체군 분포의 가설은 χ^2 test를 이용하여 검정하였다.

4. 이동속도 측정

구멍연잎성계의 이동속도는 현장에서 SCUBA를 이용하여 측정하였다. 이를 위하여 99년 5월과 8월, 2회에 걸쳐 각각 39개체와 50개체의 구멍연잎성계를 현장에서 수집하였다. 이동거리 및 속도 측정은 번호를 표시한 지름 1 cm, 길이 20 cm의 나무막대를 사용하여 움직이고 있는 개체의 각 후미에서 약 0.5 cm 정도 떨어진 지점에 막대를 고정하여 출발점을 표시 하였다. 이동 속도는 1 시간 후에 줄자를 이용하여 처음 표시한 위치로부터 각 개체들이 이동한 거리를 측정하여 이를 시간 당 이동거리로 나타냈다. 개체들의 크기 측정은 현장에서 이루어졌으며, 버니어캘리퍼스를 사용하여 나무막대에 적힌 번호별로 입(peristome)과 항문(periproct)의 연결선(medial line)에 맞춰 측정하였다(Reidenauer 1989). 측정된 자료는 개체 별, 월 별 이동속도의 차이를 구하기 위하여 T-test와 회귀분석을 이용하여 검정하였다(MINITAB 12.12).

5. 각 부위별 극(spine)의 관찰

구멍연잎성계의 극은 각의 표면에 존재하며, 이를 관찰하기 위해서는 구멍연잎성계를 채집 후 75% 에탄올에

고정하였다(Mooi 1983). 이 연구에서 극에 대한 관찰은 먹이섭취, 장내용물 분석과 이동에 관련한 연구에 초점을 뒀으므로 복면의 극에 한정되었다. 고정된 개체의 복면(oral side)에서 각 부위, 즉 위구부(peristominal area), 간보대(interambulacrum), 투공(lunule), 위항부(periproctal area)의 극들을 떼어내고, 접착제인 canada balsam을 이용하여 슬라이드상에 고정하였다. 고정된 극들은 현미경으로 관찰 후 카메라를 이용하여 사진촬영 및 길이를 측정하였다.

결 과

1. 장내용물 구성

구멍연잎성계의 장내용물 관찰 결과 무기물과 유기물 등이 많이 포함되어 있었다. 그 중 무기물은 입자성 퇴적물, 해면동물의 골편 그리고 패각 파편 등이 있었다. 유기물로는 동, 식물플랑크톤이 매우 다양하게 관찰되었다. 관찰된 생물 중 저서규조류, 해조류의 파편, 유공충, 선충류와 저서성 요각류 등이 가장 많이 관찰되었다(Fig. 2). 또한 극피동물과 다모류의 유생이 관찰됐으며, 미동정된 알들도 포함되어 있었다. 개체를 확인할 수 없을 정도로 파손되었거나 소화과정에 있는 생물들은 동정이 불가능하였다.

장내 퇴적물의 크기는 단축의 길이가 32.1~123.8 μ m (mean = 62.1), 장축의 길이가 45.3~186.9 μ m (mean = 93.2)의 크기 범위를 보였고, 입자들의 평균입도조성은 $77.6 \pm 22.2 \mu$ m였다(Table 1, Fig. 3). 구멍연잎성계가 서식하는 지역의 퇴적물 입자는 대부분의 크기가 125~250 μ m인 모래입자로 이루어져 있으나(Table 2), 장내 퇴적물 입자의 크기는 이보다 작아 먹이섭취 시 퇴적물 입자에 대한 선택성이 있는 것으로 사료되었다.

2. 서식밀도 및 이동속도

임의로 선택된 세 지역에 설정한 트란섹트에서 방형구를 이용하여 계수된 개체를 대상으로 서식밀도의 표

Table 1. Size of sediment particles retained in the intestine

Values	Minimum Axis (μ m)	Maximum Axis (μ m)	Mean (μ m)
Minimum	32.1	45.3	77.6 ± 22.2
Maximum	123.8	186.9	
Mean \pm SD	62.1 ± 17.5	93.2 ± 26.9	

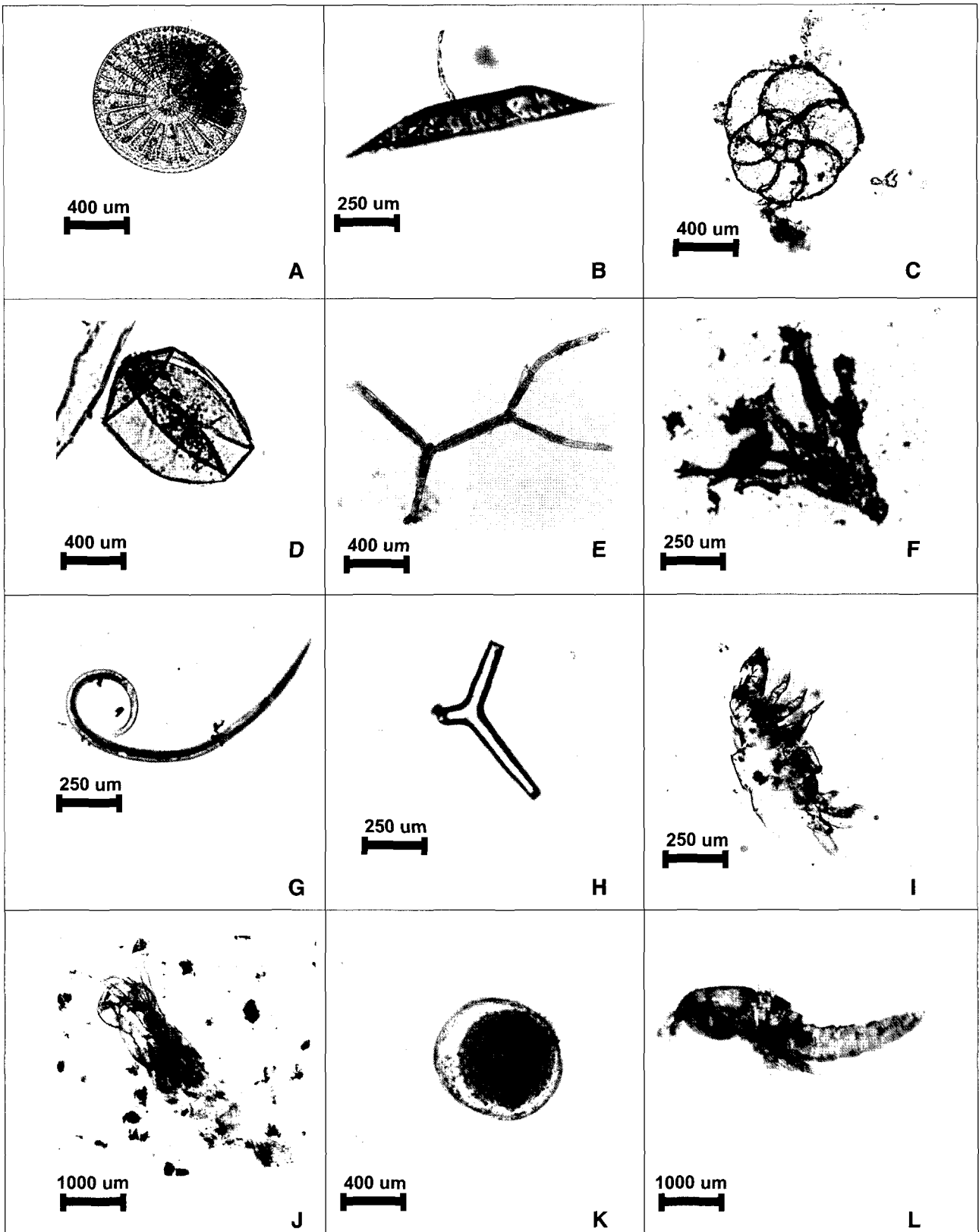
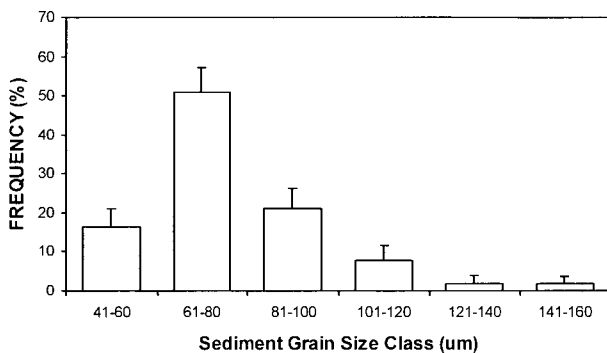


Fig. 2. Organic particles observed in intestine of *A. manni*. A, B, C and D: benthic foraminifera and diatoms; E: fragments of marine plants; F: echinoderm larvae; G: Nematode; H: spicule; I and J: benthic copepoda; K: unidentified egg; L: harpacticoid copepoda.

Table 2. Size of sediment particles collected from subtidal sand flat at Hamduck. DWT (%) = percent dry weight of sediment, Cum. DWT (%) = cumulative percent dry weight of sediment (Kang *et al.* 1999)

SIEVE			SEDIMENT							
			SITE 1		SITE 2		SITE 3		SITE 4	
μm	Phi Scale	Size Class	DWT. (%)	Cum. DWT (%)	DWT. (%)	Cum. DWT (%)	DWT. (%)	Cum. DWT (%)	DWT. (%)	Cum. DWT (%)
2,000	-1	Very Coarse Sand	0.095	0.095	0.090	0.090	0.838	0.838	0.398	0.398
1,000	0	Coarse Sand	0.284	0.379	0.146	0.236	1.075	1.913	0.514	0.912
500	+1	Medium Sand	8.568	8.947	6.485	6.721	15.982	17.895	16.883	17.795
250	+2	Fine Sand	52.399	61.346	58.366	65.087	67.837	85.732	66.635	84.430
125	+3	Very Fine Sand	36.978	98.324	34.095	99.182	14.051	99.783	15.312	99.742
63	+4	Coarse Silt	1.672	99.996	0.815	99.997	0.215	99.998	0.255	99.997
< 63	> +4	Silt	0.004	100.000	0.003	100.000	0.002	100.000	0.003	100.000

**Fig. 3.** Size frequency distribution of the sediment grain size in the intestine.

준편차와 평균을 분석한 결과, 함덕에 서식하는 구멍연잎성계의 공간분포패턴은 임의분포 (random distribution, $p > 0.05$)로 판단되었다.

99년 5월과 8월에 측정된 구멍연잎성계의 평균 이동 속도는 5월의 경우, $2 \sim 43 \text{ cm hr}^{-1}$ (mean = 17.7 ± 10.7) 이었으며 8월의 경우 $6 \sim 65 \text{ cm hr}^{-1}$ (mean = 25.0 ± 13.9) 이었다. 또한 각 실험구 내에서 구멍연잎성계의 크기(각장)에 따른 이동속도의 차이는 관찰되지 않았다 ($p < 0.01$, Table 3). 그러나 5월과 8월에 실시한 구멍연잎성계의 평균 이동속도는 8월에 실시한 실험에 있어 구멍연잎성계의 이동 속도가 5월보다 다소 빠르게 나타났다 ($p < 0.01$). 8월에 수행된 현장 관찰 결과, 이동속도가 아주 느린 ($< 10 \text{ cm hr}^{-1}$) 개체들은 대부분 장 내 퇴적물을 배설하거나 퇴적물을 섭취하는 과정에 있는 개체로 확인되었으며, 이러한 먹이섭취 행동은 5월 조사 시 보다 더 많은 개체에서 관찰되었다.

Table 3. Mean locomotion speed of *A. manni* measured during the course of study. N: number of samples; MLS: mean locomotion speed; SD: standard deviation

Test diameter (mm)	May 1999		Aug. 1999	
	N	MLS \pm SD (cm/hr)	N	MLS \pm SD (cm/hr)
101-110	-	-	4	18.6 ± 13.3
111-120	-	-	2	9.7 ± 2.4
121-130	5	15.0 ± 11.1	3	36.6 ± 13.9
131-140	11	14.1 ± 11.9	19	24.7 ± 16.6
141-150	15	20.2 ± 9.7	19	24.1 ± 9.2
151-160	8	20.5 ± 11.0	3	39.4 ± 14.3
Total & Average	39	17.7 ± 10.7	50	25.0 ± 13.9

3. 각 부위별 극 (spine)의 형태

Fig. 4는 구멍연잎성계 복면의 극을 나타낸 그림이다. 복면의 극은 2mm 이하의 소극 (miliary spine)과 2mm 이상의 운동극 (locomotory spine)의 두 형태로 관찰되었다. Fig. 4A는 위구부 (peristominal area)의 극을 나타낸 것으로서 3가지 다른 길이와 형태를 지니고 있었다. 위구부의 가장 내부에 존재하는 소극은 약 1.5mm 정도이고 극의 윗부분은 뾰족한 모양이었다. 중간부분과 끝부분에 위치하는 운동극은 두껍고 길며 길이는 약 2.5mm 정도이었다. 특히 구강 흡의 가장 외부에 존재하는 휘어 있는 극은 그 길이가 길고, 구강쪽으로 휘어져 위구부를 거의 덮고 있었다. Fig. 4B는 개체의 이동에 관여하는 것으로 추정되는 간보대에서 떼어낸 운동성 소극 (locomotory miliary spine)으로, 길이는 1.5mm 정도이며 모양은 다소 차이가 있었다. 운동성 소극들은 구멍연잎성계의 복면에서 방사상의 밝은 띠 부위 (Fig. 4의 B부위)에 대부분 위치하는 것으로 관찰되었다.

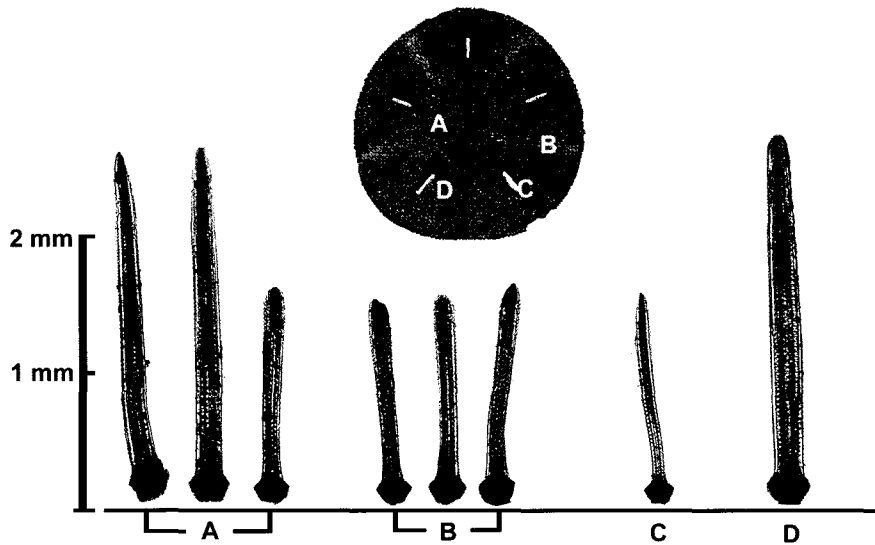


Fig. 4. Types of spine distributed on the oral surface of *A. manni*. A, spines on peristominal area, B, spines on interambulacrum, C, spines on inner lunule zone and D, spine on periproctal area.

고 찰

1. 장내용물 구성

일반적으로 연잎성게류의 장내에서 관찰되는 퇴적물 내의 먹이는 규조류, 박테리아, 기타 유기물 등으로 알려져 있고, 장내용물 분석 시 퇴적물, 유공충, 규조류, 쌍편모조류, 해면동물의 골편, 요각류, 선충류, 갑각류의 파편, 패각의 파편, 해조류의 파편 및 기타 유기물 등이 관찰되는 것으로 보고되고 있다(Lane & Lawrence 1982; Findlay & White 1983; Ellers & Telford 1984; Telford & Mooi 1986; Reidenauer 1989). 이는 이 연구의 결과와 비교시, 거의 유사한 경향을 보였다. 특히 8월인 여름철에 채집된 개체의 장내용물에는 해조류 파편과 식물플랑크톤들이 많이 분포하였다. 이에 비해 겨울철에 채집된 개체의 장 내용물에서는 식물 플랑크톤과 해조류의 파편들을 관찰하기가 어렵다고 보고되고 있다(Lane & Lawrence 1982). 따라서 퇴적물 식자인 구멍연잎성게에게 이용 가능한 먹이는 서식지역의 일차생산력과 깊은 연관이 있는 것으로 사료된다.

퇴적물 입자의 크기는 연잎성게류의 분포에 제한적 요인으로 작용하며, 연잎성게류는 퇴적물의 입자 크기가 63 μm 이상, 1 mm 미만의 입자로 이루어진 연성저질에 주로 분포하는 것으로 보고되고 있다(Weihe & Gray 1968; Dexter 1977; Jumars et al. 1982; Telford et al. 1985; Lopez & Levington 1987). Wieser (1959)는 저질입

자의 크기가 약 200 μm 정도일 때 퇴적물식자의 먹이로서 가장 적합한 것으로 보고하고 있다. 이 연구지역의 퇴적 환경도 다른 연잎성게류가 분포하고 있는 환경과 유사한 것으로 판단되며(Table 2), 구멍연잎성게의 분포는 퇴적물의 입도 구성에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

연잎성게류인 *Mellita quinquiesperforata*는 퇴적물의 입도가 100~250 μm인 저질에서 분포하고 있음에도 불구하고 먹이섭취 과정과 장내용물 분석 등을 통하여 장내의 저질 입자가 60 μm 이하인 크기로 대부분 분포한다고 보고한바 있다(Lane & Lawrence 1982; Telford et al. 1985; Kang et al. 1999). 한편 이 연구에서 관찰된 장내 퇴적물의 크기는 61~80 μm 입자들이 주를 이루어 퇴적물 섭취시 입자크기에 대한 선호도가 있음을 시사하였다(Fig. 3). 장 내용물에 포함된 작은 퇴적물 입자는 복면의 관측과 극에 의해 운반된 큰 크기의 퇴적물 및 먹이가 구기(Aristotle's lantern)의 이빨에 의하여 잘게 부서지는 과정을 통하여 형성되었을 가능성(Telford et al. 1985) 보다는 극과 관측에 의해 선택적으로 포획된 작은 크기의 입자들로서(Lane & Lawrence 1982; Ellers & Telford 1984; Telford & Mooi 1986; Pomory et al. 1995) 먹이섭취 과정 중 극과 관측에 의한 선택적 먹이섭취 행동에 기인하는 것으로 사료된다.

2. 서식밀도 및 이동속도

8월 중 관찰된 구멍연잎성게의 단위 시간 당 이동속

도가 5월과 비교시 다소 빠른 점은 계절에 따른 먹이의 분포와 관련이 있는 것으로 추정된다. 조사지역인 함덕 연안의 연중 식물플랑크톤 생체량은 7월부터 10월까지 가장 높은 것으로 보고되고 있다(Lee *et al.* 1995). 특히 이 지역에는 해산 현화식물인 잘피(*Z. marina*)가 높은 밀도로 분포하고 있어서, 이들 잘피 군집으로 파생되는 입자성 유기물이 식물플랑크톤과 함께 여름철 구멍연잎성계의 먹이로 제공되고 있는 것으로 사료된다(Kang *et al.* 1999; Kikuchi *et al.* 2001). Lane과 Lawrence(1982)는 연잎성계류의 먹이 섭이율이 계절에 따라 변화를 보이며, 특히 수온이 높은 여름철에 현저하게 높다고 보고한 바 있다. 따라서 함덕연안에 분포하는 구멍연잎성계의 경우 여름철에 먹이섭취를 위한 단위시간 당 이동속도 및 이동거리가 여름철에 상대적으로 증가한다고 추정해 볼 수 있다. Reidenauer(1989)는 연잎성계의 일종인 *M. quinquesperforata*의 이동속도를 겨울에 측정할 바 있다. *M. quinquesperforata*의 이동속도는 함덕 연안에서 5월에 측정한 구멍연잎성계의 평균이동속도와 유사하지만, 8월에 측정된 구멍연잎성계의 평균 이동속도보다 상대적으로 낮은 값을 나타낸다(Table 4). 이러한 결과는 5월과 비교시, 구멍연잎성계가 먹이 조건이 상대적으로 좋은 8월에 먹이 섭취를 위하여 보다 빠른 속도로 보다 넓은 지역을 이동함을 암시한다($p < 0.01$). 또한 수온이 20~25°C 되는 8월은 구멍연잎성계의 생식소 성숙이 급속히 진행되는 시기(Kang *et al.* 1999) 구멍연잎성계가 번식을 위하여 보다 많은 먹이를 필요로 한다(Lane & Lawrence 1982). 이는 계절별 먹이 조건에 따라 구멍연잎성계의 이동 폭, 거리 및 속도가 다르다는 것을 의미하며, 서식 환경내의 가용 먹이량과 깊은 관련을 갖는 것으로 추정된다. Salsman과 Tolbert(1965)는 연잎성계류인 *M. quinquesperforata*의 연중 서식밀도가 가장 높은 시기인 봄과 여름 사이의 서식밀도 관찰을 통하여 1.2~6.3 cm 크기의 개체가 30 cm² 당 74개체 정

도 분포한다고 보고한 바 있다.

3. 먹이섭취와 이동을 위한 극의 역할

퇴적물식자인 구멍연잎성계의 몸통 표면은 보통 5 mm 이내의 짧은 극들로 덮여있다(Shin & Rho 1996). 일반적으로 연잎성계류는 관측과 극을 이용하여 이동과 잠입, 먹이섭취를 한다(Bell & Frey 1969; Ghiold 1979; Ellers & Telford 1984; Telford *et al.* 1985; Telford & Mooi 1996). 성계류 표면에 돌아있는 극은 저질입자의 간접적인 운반을 담당하며 배면과 복면에 따라 그 기능이 다소 차이가 있다. 연잎성계류의 배면(aboral side)에 있는 극은 잠입 혹은 이동시 저질을 뒤로 운반하기 위해 이용된다(Bell & Frey 1969; Ghiold 1979; Barnes 1987; Reidenauer 1989; Pomory *et al.* 1995; Telford & Mooi 1996). 반면에 복면(oral side)에 분포하는 극은 먹이섭취를 위한 공간적 이동 뿐만 아니라, 먹이 홈(food grooves)까지 먹이를 이동시키는 간접적인 역할을 하며, 관측의 먹이선택 및 구강까지의 먹이 이동에 효율적으로 쓰이는 것으로 보고되고 있다(Telford *et al.* 1985; Telford & Mooi 1996). 특히 구멍연잎성계와 같이 투공(lunules)이 있는 연잎성계류(e.g. *Echinodiscus quinquesperforata* Leske 1778, *Echinodiscus sexiesperforatus* Leske 1778, *Encope grandis* L. Agassiz 1841, *Encope stokesii* L. Agassiz 1841, *Scutella emarginatus* Leske 1778, *Scutella macrophora* Ravenel 1843)의 경우, 운반되는 유, 무기입자들은 극과 극 사이의 폭보다 작은 입자들만 선택적으로 여과되어 점액으로 감싼 후, 투공을 통해 구강으로 보내진다고 보고되고 있다(Lane & Lawrence 1982). 또한 투공과 배면의 관측은 연잎성계류의 종류에 따라 저질의 작은 입자들을 선택 또는 비선택적으로 골라내는 기능을 지닌다(Ellers & Telford 1984; Telford & Mooi 1986).

구멍연잎성계 극의 종류는 Fig. 4와 같이 소극과 운동극의 두 형태로 나뉘며, 소극에는 개체의 이동에 관여하는 것으로 추정되는 운동성 소극의 형태도 관찰된다. 복면의 극 중, 위구부에 존재하는 휘어진 극은 입자가 큰 유기물의 먹이를 구강으로 보내기 위해 바깥쪽으로 구부릴 때 쓰이는 것으로 추측된다(Telford & Mooi 1996). Fig. 4B의 운동성 소극은 간보대의 띠에 많이 존재하며 개체의 이동에 관여하는 것으로 추정되며, 개체의 이동 방향과 유사하게 움직이는 것으로 보고되고 있다(Seilacher 1979). Telford & Mooi(1996)는 연잎성계류인 *Cassidulus caribaeorum*의 경우 25 mm 이상의 성체에서 가장 운동극은 3 mm 이상이라고 보고하고 있으나,

Table 4. Comparisons of locomotion speeds between the result of Reidenauer (1989) and this study on two sand dollars. RLS: ranges of locomotion speed; MLS: mean locomotion speed

Species	N	RLS (cm/hr)	MLS (cm/hr)	Reference
<i>M. quinquesperforata</i>	10	12~25	19.2	Reidenauer (Jan. 1989)
	39	2~43	17.7	This study (May 1999)
<i>A. manni</i>	50	6~65	25.1	This study (Aug. 1999)

구멍연잎성계를 대상으로 한 이 연구에서는 3 mm 이상인 운동극은 관찰할 수 없었다.

적 요

부정형성계류인 구멍연잎성계는 제주도 연안에 널리 분포하고 있음에도 불구하고 생태학적 연구들이 미비한 실정이다. 이 연구는 구멍연잎성계의 행동학적 연구로서 먹이섭취, 서식밀도 및 이동에 대한 기초자료로서 시료는 제주도의 북동쪽에 위치한 함덕에서 SCUBA를 통하여 채집 및 현장에서 직접 관찰하였다.

장내용물 관찰 결과, 장내 퇴적물 입자의 평균 입도조성은 $77.6 \pm 22.2 \mu\text{m}$ 였다. 장 내용물은 유공충, 저서성 요각류, 선충류, 규조류, 알, 해조류의 파편, 골편 등의 동식물 플랑크톤으로 구성되었다. 구멍연잎성계의 서식밀도는 1 m^2 당 0.4개체이며, 분포패턴은 임의분포(random distribution)에 기초하는 것으로 판단되었다($\chi^2 = 85.16$, $p > 0.05$). 구멍연잎성계의 이동거리는 여름철인 1998년 8월에 $6.2 \sim 64.8 \text{ cm hr}^{-1}$ (mean = 25.0 ± 13.9)이었고, 5월에는 $2.0 \sim 43.0 \text{ cm hr}^{-1}$ (mean = 17.7 ± 10.7)로 8월에 다소 높게 나타났다. 여름기간 중 관찰된 비교적 빠른 이동속도는 먹이 섭이 활동과 관련된 것으로 추정되었다.

사 사

본 연구는 2001년도 한국과학재단 목적기초연구사업 중 지역대학우수과학자 지원연구(No. R05-2001-000-00279-0)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다. 또한 시료채집에 큰 도움을 준 이창호, 이주환 군에게 깊은 감사를 포함합니다.

인 용 문 헌

- Andrew NL. 1986. The interaction between diet and density in influencing reproductive output in the echinoid *Evechinus chloroticus* (Val). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 9: 63-79.
- Barnes RD. 1987. The Echinoderms. *Invertebrate zoology*. The Dryden Press, Orlando, Florida. pp. 804-813.
- Bell BM and RW Frey. 1969. Observations on ecology and the feeding and burrowing mechanisms of *Mellita quinquesperforata* (Leske). *J. Paleontol.* 43:553-560.
- Chia FS. 1973. Sand dollar: a weight belt for the juvenile. *Science* 181:73-74.
- Dexter DM. 1977. A natural history of the sand dollar *Encope stokesi* L. Agassiz in Panama. *Bull. Mar. Sci.* 27: 544-551.
- Ebert TA. 1980. Relative growth of sea urchin jaws: an example of plastic resource allocation. *Bull. Mar. Sci.* 30: 467-474.
- Ellers O and M Telford. 1984. Collection of food by the oral surface podia in the sand dollar, *Echinarachnius parma* (Lamarck). *Biol. Bull.* 166:574-582.
- Findlay RH and DC White. 1983. The effects of feeding by the sand dollar *Mellita quinquesperforata* (Leske) on the benthic microbial community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 84:225-234.
- Flint RW and D Kamykowski. 1984. Benthic nutrient regeneration in South Texas coastal water. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 18:221-230.
- Frantzis A, A Gremare and G Vétion. 1992. Growth rates and RNA : DNA ratios in *Paracentrotus lividus* (Echinodermata : Echinoidea) fed on benthic macrophytes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 156:125-138.
- Freire CA, PJP Santos, NF Fontoura, RAO Magalhães and PA Grohmann. 1992. Growth and distribution of *Cassidulus mitis* (Echinodermata: Echinoidea) on a sandy beach in Southeastern Brazil. *Mar. Biol.* 112:625-630.
- Ghiold J. 1979. Spine morphology and its significance in feeding and burrowing in the sand dollar, *Mellita quinquesperforata* (Echinodermata : Echinoidea). *Bull. Mar. Sci.* 29:481-490.
- Guillou M and C Michel. 1994. The influence of environmental factors on growth of *Sphaerechinus granularis* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 178:97-111.
- Harold AS and M Telford. 1982. Substrate preference and distribution of the northern sand dollar, *Echinarachnius parma* (Lamarck). *Proceedings of the international conference*, Tampa Bay. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. pp. 243.
- Jonge VN and J Van den Bergs. 1987. Experiments on the resuspension of estuarine sediments containing benthic diatoms. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 24:725-740.
- Jumars PA, RFL Self and ARM Nowell. 1982. Mechanics of particle selection by tentaculate deposit-feeders. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 64:47-70.
- Kang DH, KS Choi and SC Chung. 1999. An ecological study on the sand dollar, *Astriclypeus manni* (VERRIL 1867) in Hamdock, Cheju, Korea. *J. Korean. Fish. Soc.* 32: 345-352.
- Keats DW, DH Steele and GR South. 1984. Depth-dependent reproductive output of the green sea urchin,

- Strongylocentrotus droebachiensis* (Muller) relation to the nature and availability of food. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 80:77-91.
- Kikuchi K, Y Kawasaki and S Sato. 2001. Effect of seasonal changes on the carbohydrate levels of eelgrass *Zostera marina* at Odawa Bay. *Fisher. Sci.* 67:755-757.
- Lane JM and JM Lawrence. 1982. Food, feeding and absorption efficiencies of the sand dollar, *Mellita quinquesperforata* (Leske). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14:421-431.
- Lee JB, HB Koh, YB Go and YC Choi. 1995. Bioecological studies of the northern coastal area in Cheju Island-phytoplankton dynamics and primary productivity at the Hamduk area. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.* 19:103-113.
- Lee KW, CH Shon and SC Chung. 1998. Marine algal flora and grazing effect of sea urchins in the coastal waters of Cheju Island. *J. Aquaculture.* 11:401-419.
- Lopez GR and JS Levinton. 1987. Ecology of deposit-feeding animals in marine sediments. *Q. Rev. Biol.* 62:235-260.
- Mooi R. 1983. Morphology, diversity and function of non-respiratory podia of clypeasteroids (Echinodermata: Echinoidea). M.Sc. Dissertation. Department of Zoology. University of Toronto, Ontario.
- Pomory CM, BD Robbins and TL Michael. 1995. Sediment grain size preference by the sand dollar *Mellita tenuis* Clark, 1940 (Echinodermata: Echinoidea): a laboratory study. *Bull. Mar. Sci.* 56:778-783.
- Reidenauer JA. 1989. Sand-dollar *Mellita quinquesperforata* (Leske) burrow trails: sites of harpacticoid disturbance and nematode attraction. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 130:223-235.
- Salsman GG and WH Tolbert. 1965. Observations on the sand dollar, *Mellita quinquesperforata*. *Limnol. Oceanogr.* 10:152-155.
- Sanders WH. 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. *Limnol. Oceanogr.* 3: 245-258.
- Seilacher A. 1979. Constructional morphology of sand dollars. *Paleobiology.* 5:191-221.
- Shin S and BJ Rho. 1996. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 36. Echinodermata. Ministry of Education.
- Sloth NP, B Riemann, LP Nielsen and TH Blackburn. 1996. Resilience of pelagic and benthic microbial communities to sediment resuspension in a coastal ecosystem, Knebel Vig, Denmark. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 42:405-415.
- Telford M, R Mooi and AO Ellers. 1985. A new model of podial deposit feeding in the sand dollar, *Mellita quinquesperforata* (LESKE): The sieve hypothesis challenged. *Biol. Bull.* 169:431-448.
- Telford M, AS Harold and R Mooi. 1986. Feeding structures, behavior and microhabitat of *Echiocyamus pusillus* (Echinoidea: Clypeasteroidea). *Biol. Bull.* 151:745-757.
- Telford M and R Mooi. 1986. Resource partitioning by sand dollars in carbonate and siliceous sediments: evidence from podial and particle dimensions. *Biol. Bull.* 171: 197-207.
- Telford M and R Mooi. 1996. Podial particle picking in *Cassidulus caribaeorum* (Echinodermata: Echinoidea) and the phylogeny of sea urchin feeding mechanisms. *Biol. Bull.* 191:209-223.
- Vadas RL. 1977. Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. *Ecol. Monogr.* 47:337-371
- Vernon JD, JB McClintock, TS Hopkins, SA Watts and KR Marion. 1993. Reproduction of *Clypeaster ravenelii* (Echinodermata: Echinoidea) in the northern Gulf of Mexico. *Int. J. Invert. Reprod. Develop.* 24:71-78.
- Wainright SC. 1987. Stimulation of heterotrophic microplankton production by resuspended marine sediments. *Science.* 238:1710-1712.
- Walton WR. 1952. Techniques for recognition of living Foraminifera. *Cushman Found. Foram. Res. Contr.* 3: 56-60.
- Weihe SC and IE Gray. 1968. Observations on the biology of the sand dollar *Mellita quinquesperforata* (Leske). *J. Elisha Mitchell Scient. Soc.* 84:315-327.
- Wieser W. 1959. The effect of grain size on the distribution of small invertebrates inhabiting the beaches of Puget Sound. *Limnol. Oceanogr.* 4:181-194.
- Woo HJ, HY Kim, KS Jeong, JH Chun, SE Kim and YS Chu. 1999. Response of benthic foraminifera to sedimentary pollution in Masan Bay, Korea. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr)* 4:144-154.

(Received 26 April 2002, accepted 16 May 2002)