

동해 남부해역 조하대 조식동물 군집구조 변화와 대형 해조군락 천이와의 상관성 - 조식성 복족류를 중심으로 -

권정노, 정민지, 김대익¹, 손민호¹

부산광역시 기장군 기장읍 해안로 152-1, 국립수산과학원 자원조성사업단

¹부산광역시 남구 용당동 485-1, 해양생태기술연구소

Correlation between Community Structure of Herbivore and Succession of Macro-algal Flora in the Subtidal Area of East Coast of Korea

- Focusing on the herbivorous gastropods -

Jung-No Kwon, Min-Ji Jung, Dae-Ik Kim¹ and Min-Ho Son¹

Fisheries Resources Enhancement Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea

¹Marine Eco-technology Institute, Yongdang 485-1, Nam-gu, Busan, Korea

ABSTRACT

Correlation between community structure of herbivore and succession of macro-algal flora was examined in subtidal area of Dang-Sa Province, eastern coast of Korea from April 2008 to December 2009. For examination, the authors hypothesized that there are significant correlation between the foregoing two variables. Samplings were conducted every two months quantitatively with SCUBA diving at -3, -6 and -10 depth in the two line transects (barren and forest grounds). As results, rhodophyts was predominated in the algal flora based on the number of species and biomass; molluscs was predominated in the herbivores based on the number of species and echinoderms was predominated in that based on the biomass. There was no significant correlation between the foregoing two variables in the whole survey area and barren/forest grounds. Consequently, the hypothesis was rejected. The authors proposed that examination of correlation between the foregoing two variables should focus on the specific herbivore group(s) (e.g., amphipods) afterward.

Keywords: correlation, herbivore, macro-algae, eastern coast of Korea

서론

조식동물 (= (해) 조식성, herbivore) 과 대형 해조군락 사이의 상관성에 대해서는 지금까지 여러 각도에서 다양한 연구들이 수행되어져 왔다. 그러나, 이들 두 생물집단 (조식동물-대형해조류) 이 어떠한 상관성을 갖고 서식하고 있으며 상호 어떠한 생물학적 영향을 미치며 생존하는지에 대한 대부분의 연

구들은 1900년대 중-후반기 걸쳐 공간적으로 연구자의 접근이 용이하고 수직적 피상분포 (vertical zonation) 가 상대적으로 명확한 암반조간대에 한정되어져 왔다. Underwood and Jernakoff (1981) 는 호주 New South Wales의 암반 조간대에서의 실험결과 엽상해조류 (foliose algae) 의 풍도와 조식성 복족류의 밀도는 조위에 의해 상관성의 유무가 결정됨을 주장한 바 있고, Cubitt (1984) 은 미국 Oregon의 암반 조간대에서 단년생 대형 해조군락의 풍도는 여름철에는 조식동물에 의해서 겨울철에는 다른 해조류와의 공간경쟁에 의해서 조절되고 있음을 밝혔다. 또한, Padilla (1985) 는 캐나다 Alberta의 암반 조간대에서 수행한 실험 결과, 대형 해조류와 조식동물간의 상관성에 대한 이해는 쉽게 단순화 시킬 수 있는

Received May 17, 2010; Revised June 10, 2010; Accepted July 15, 2010

Corresponding author: Min-Ho Son

Tel: +82 (51) 611-6200 e-mail: mhson@marine-eco.co.kr
1225-3480/24354

부분이 아니며 조식 대상이 되는 해조류 자체의 구조 및 조성 성분 그리고 각각의 조식동물이 갖는 치설의 구조와 섭식형태가 종합적으로 고려되어야 함을 강조하였다.

암반 조간대에 서식하는 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관관계에 대한 많은 연구결과들은 정량적 조사방법과 해석이 상대적으로 어려운 암반 조하대에서의 상관성에 대한 연구를 촉진시키게 되었다. 그러나, 조하대에서의 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관관계에 대한 연구는 상당수가 대표적 조식동물인 성게류 (echinoids) 와 대형 갈조류 특히, 바다숲을 형성하는 다시마류 (laminarians) 에 집중되어 왔다 (e.g., Leinaas and Christie, 1996). 그 결과 중, Brosnan (1992) 은 그 당시까지의 여러 연구결과들을 검토하여 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관성이 위도에 따라 어떠한 경향성을 보이는지 이러한 경향성은 특정한 모델 (Model) 을 사용하여 예측할 수 있는지에 대한 의견을 제시하였다. Brosnan (1992) 은 그의 의견에서 암반 조하대에서의 경우, 열대해역에서는 어류가 온대해역에서는 무척추동물들이 주요 조식자로서의 기능을 하고 있음을 주장하면서, 향후의 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관성은 해역특성에 따른 주된 조식동물 무리들에 대한 우선적인 검토를 바탕으로 추진되어야 함을 강조하였다.

해역특성에 따른 주된 조식동물 무리에 대한 검토는 우리나라의 경우, 1900년대 후반에서부터 지역적으로 또는 국가 정책적으로 시작된 바다목장 및 해중림 (해조장) 조성사업 추진 과정에서 나타나기 시작하였다. 이 과정에서 Lee *et al.* (1998) 은 제주 연안에 서식하는 해조군락의 특성과 우점 조식동물인 성게류 (*Anthocidaris crassispina* 및 *Hemicentrotus pulcherrimus*) 의 생태특성 (위 내용물 분석 포함) 에 대한 분석결과를 바탕으로 한 이들 사이의 상관성을 연구하였으며 그 결과, 성게류가 대형 갈조류의 주된 섭식자가 아닐 수도 있음을 시사하였다. 그 후, Yoo *et al.* (2004, 2007) 은 조식동물 중 대형 갈조류에 대한 가장 강한 섭식압을 나타내는 것으로 추정되며 일부 동해 연안에서는 가장 우점적인 등근성게 (*Strongylocentrotus nudus*) 와 그 외 다른 조식성 무척추동물 (예, *Aplysia kurodai* 등) 및 해조류와 상관관계에 대한 보다 정밀한 조사와 연구를 수행하였다. Yoo *et al.* (2007) 은 동해안에서의 실험결과의 한 부분으로서 조사 대상 해조장에 가장 큰 영향을 미치는 것은 군소이며 그 다음으로 등근성게와 새치성게 (*S. intermedius*) 로 나타났지만 이들 이외에 높은 밀도를 가진 많은 종류의 조식성 무척추동물들 (예, 미소 갑각류 등) 이 대형 갈조류에 대한 조식자로서 큰 영향을 미치고 있을 것으로 예상하였다.

지금까지 설명된 바와 같이 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관성에 대해서는 여러 각도에서 다양한 연구들이 수행되

있음에도 불구하고 이들의 직접적인 상관성에 대한 명확하고 통일된 이론과 경향성은 확립되지 않고 있다. 따라서, 본 저자들은 조식동물과 대형 해조군락 사이의 상관성에 대하여 ‘조식동물의 군집구조 변화는 이들의 주된 먹이가 되는 주변 해조군락의 천이과정과 유의한 상관성을 가지고 있다.’라는 가설을 설정하였다. 그러므로, 본 연구의 목적은 앞에서 제시한 가설의 검증에 위하여 ① 조식동물 군집구조와 해조군락 구조 사이의 상관성 유무의 확인과 ② 상관성이 존재할 경우, 상호 어떠한 경향성을 가지고 변화해 가는지를 파악하는 것이다.

재료 및 방법

현장조사 및 표본의 채집은 울산광역시 북구 당사 (Fig. 1) 해역의 암반 조하대를 대상으로 2008년 4월부터 2009년 12월까지 격월별로 총 11회를 수행하였다. 대상해역은 사전 예비조사를 통해 자연 상태의 해조군락이 형성되어 있는 지역 (이하 ‘해중림, forest ground’) 과 갯녹음의 결과로 이미 백화현상이 우세한 지역 (이하 ‘갯녹음, barren ground’) 으로 다시 세분화하였다. 세분화 된 2개 지역 (해중림 및 갯녹음) 은 각 지역별로 가상의 Line transect를 설정하고 이를 기준으로 수심에 따라 각각 상부 (- 3 m), 중부 (- 6 m) 및 하부 (- 10 m) 로 구분하였다. 각 정점에서는 3명의 조사원이 잠수하여 수중에서의 표본채집 과정에서 표본 유실방지를 위해 특수 제작된 수중방형구 (접지면적 50 cm × 50 cm) 와 끝갈을 이용, 방형구 내의 모든 해조류와 무척추동물 표본을 채집하였다. 수중에서의 표본채집은 가상으로 설정된 Line transect를 기준으로 매회 채집 시 방형구의 위치를 해당 정점의 동일 수심에서 수평적으로 이동하며 수행하였다. 따라서, 다년생 해조류가 채집 시기에 따라 ‘출현’ 또는 ‘미출현’으로 나타나는 현상

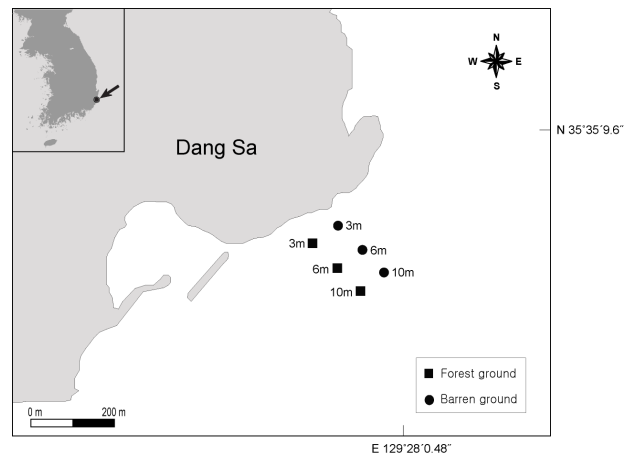


Fig. 1. Sampling site and stations (Dang Sa, Vicinity of Ulsan Metrocity, eastern coast of Korea) for the present study from April 2008 to December 2009.

은 이러한 방형구의 수평적 이동에서 나타난 현상이며 이러한 조사방법 상의 평가절하 (under estimation) 또는 평가상승 (over estimation) 은 총 11회에 걸친 반복적 조사 횟수를 통하여 보완하고자 하였다. 채집된 표본들은 얼음을 채운 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였으며, 운반된 표본들은 실험실에서 각 표본에 부착한 이물질들을 흐르는 수돗물을 이용하여 간단히 세척 한 후 해조류와 무척추동물들을 별도로 선별하였다. 종 수준까지 동정하여 각 종에 대한 개체수 (무척추동물의 경우) 와 생체량 (습중량; 해조류 및 무척추동물; gWWt) 을 전자저울 (CAS CUX4200H) 을 이용하여 소수점 두 자리까지 측정하였다. 습중량 기준의 생체량 측정 시에는 시간의 경과에 따른 측정 대상의 상대적 수분손실의 정도를 동일하게 하기 위하여 측정 직전까지 측정대상 개체들을 증발에 의한 수분손실이 억제될 수 있는 뚜껑이 있는 아크릴 박스 안에 넣어두고 측정 시 박스로부터 꺼내어 측정하는 방식으로 진행하였다.

해조류 및 무척추동물의 전체적인 출현양상을 표현함에 있어서는 일차적으로 본 연구의 목적이 해조군락 및 무척추동물 (조식동물 포함) 군집구조의 변이 사이의 상관성 유무와 경향성을 파악하고, 해중립과 갯녹음 지역 사이의 차이점을 비교하는 것임을 고려하여 각 정점별, 시기별 수중방형구를 이용하여 채집된 표본의 총량 (출현 종 수, 개체수 및 생체량) 을 각 비교대상 변수 값을 동일한 방법으로 합산하여 (data pooled) 표현하였다. 따라서 각 변수의 비교 시에는 비교 값의 합산 단위를 각각의 해당 단위면적으로 제시함으로써 경우에 따라 각각의 결과 기재에 있어서 별도의 단위값이 사용되고 있다. 그러나 해조류 및 무척추동물 출현 종 수의 경우엔 값을 산술적인 단위면적으로 환산하는 것이 논리적으로 합당하지 않기 때문에 본 논문에서 기술되는 출현 종 수는 결과 및 논의의 전개를 위한 자의적 용어로서 항상 'Unit' ($16.5 \text{ m}^2 = 0.25 \text{ m}^2 \times 3 \text{ 개 정점} \times 2 \text{ 개 지점 (해중립, 갯녹음)} \times 11 \text{ 회}$) 라는 단위 값을 나타내고 있다.

결과의 분석에 있어서 두 가지 변수에 대한 상관성은 컴퓨터 통계프로그램 (SPSS v.11) 중 Pearson's correlation analysis를 이용하였으며, 무척추동물 및 조식동물의 군집구조에 대한 집괴분석 (정점간 유사도 분석) 은 Bray and Curtis (1957) 의 Similarity Index를 이용하였고, 해조류의 경우엔 각 종의 출현 유무를 바탕으로 Jaccard's Index를 사용하여 분석하였고, 대형 무척추동물 또는 조식동물의 경우엔 특정 우점종에 의한 왜곡현상을 감소시키기 위하여 원자료를 Fourth-root value로 변환하여 사용하였고, 그 결과는 수지도 (dendrogram) 와 다차원배열법 (nMDS) 로 표현하였다. 군집 (군락) 분석의 결과를 제시함에 있어서 각각의 그룹 (Group)은 'G' (예. 그룹 1의 경우 'G-I'으로 표기) 로서 표기하고 각 그룹에 포함되는 소 (小) 그룹들은 매 조사시기별로

구분하여 '2008-06'의 2008년 6월에 채집된 표본으로 구성된 소그룹을 표현하고 있다.

조식동물은 채집된 전체 무척추동물 표본 중 기존의 연구결과로서 조식성으로 밝혀져 있거나 저자들의 경험 상 조식성으로 파악된 종들만을 별도로 선별하여 조식동물 무리로 취급하여 분석에 이용되었다. 또한, 각 조사 시기별, 정점별 조식동물의 서식밀도와 생체량 등은 대형 무척추동물 분석 시 함께 수행하여 원자료에 포함되어 있으나 해당 항목에 대한 각각의 값은 비교 분석에 필요할 경우에만 결과치로서 제시함으로써 본 연구의 가설에 대한 검증목적에 도달하고자 하였다.

결 과

1. 조사지 개황

조사 대상 해역인 당사마을 앞 암반 조하대는 외해 (外海) 를 향해 트여있는 상태의 해안이며 주변은 일부 인공적인 방파제를 제외하고는 거의 모든 해안선이 암반 (갯바위) 으로 구성된 지형이다. 수중의 조하대는 완만한 경사로 외해로 이어지는 양상이며 해저는 크고 작은 바위덩이 (직경 50-300 cm) 들이 산재해 있고 그 사이사이에 비교적 평탄한 해저 암반이 넓게 깔려 있는 양상이다. 바위덩이와 해저 암반 사이사이에는 간혹 거친 모래바닥이 나타나는 곳도 있으나 그 빈도는 낮은 편이다. 조사 대상지가 외해로 열려 있기 때문에 조간대 지역은 거의 항상 크고 작은 파랑과 파도의 물리적인 영향 받고 있는 곳이며, 얇은 수심에 설정된 상부 (- 3 m) 조사정점까지도 이러한 물리적 영향범위 내에 있는 경우가 흔하다. 상부 조사정점을 제외하고는 전체적으로 수중 탁도는 양호하여 각 조사당일의 기상상화에 따라 다소 차이는 있으나 수중 가시거리 (可視距離) 가 보통 약 3-5 m 정도에 달한다. 따라서, 하부정점 (- 10 m) 이라 할지라도 해조류가 생장에 필요한 광량은 수심 10 m의 해저까지 도달하고 있는 상황이다.

특히, 본 조사과정에서 갯녹음 정점으로 설정된 곳은 이미 대형 해조류의 갯녹음 현상이 진행되어 암반 표면의 거의 대부분이 유절 또는 무절석회조류로 피복된 상태이다.

2. 출현양상

1) 해조류

조사해역에서 출현한 해조류는 총 47종/Unit, 생체량은 $27,139.80 \text{ gWWt}/66\text{m}^2$ ($411.21 \text{ gWWt}/\text{m}^2$) 로 나타났다 (Table 1). 출현 종 수에 있어, 분류군별로는 홍조류 (Rhodophyta) 가 총 34종 (72.3%) 이 출현하여 상대적 종 다양성이 낮은 녹조류와 갈조류의 약 6배에 달함으로써 3개 분류군 (홍조류, 갈조류 및 녹조류) 중 상대적 종 다양성이 가장 높은 것으로 나타난 반면, 갈조류는 총 6종 (12.8%) 만이

Table 1. Total number of species and biomass of the macro-algae sampled from Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value for 2 line transects, 3 depths and 11 samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). For 'Unit' see the Materials and Methods

Division	Number of species (/Unit) (%)	Biomass (gWWt/66m ²) (%)
Rhodophyta	34 (72.3)	15,344.68 (56.5)
Chlorophyta	7 (14.9)	562.04 (2.1)
Phaeophyta	6 (12.8)	11,233.08 (41.4)
Sum	47 (100.0)	27,139.80 (100.0)

출현하여 상대적 종 다양성이 가장 낮은 것으로 나타났다 (Table 1). 출현 분류군 중 홍조류의 우점현상은 어느 특정 시기의 일시적인 현상이 아니라 총 11회에 걸친 전체 조사기간 동안에 항상 홍조류가 총 출현 종 수의 60% 이상을 차지함으로써 조사기간 동안, 조사 대상해역에서의 일반적인 현상이었다 (Fig. 2).

생체량에 있어서도 앞의 출현 종 수에서 모든 시기에 걸쳐 우점적인 분류군으로 나타났던 홍조류가 조사 시기 동안 전체적으로는 우점적인 분류군으로 나타났다 (Fig. 3). 그러나, 앞의 출현 종 수에서 홍조류가 나타내었던 우점 양상과는 다소 상이하여 2008년 동안에는 절대적인 우점분류군으로 나타난 반면, 2009년 동안에는 갈조류에 이은 차우점종으로 출현하는 경우도 관찰되었다 (Fig. 3). 그러나, 녹조류는 총 11회 (20개월)에 걸친 조사 기간 동안 항상 3개 분류군 중 상대적으로

가장 낮은 생체량을 나타내는 일관된 특징을 보여주었다.

조사해역에서 출현한 해조류 중 생체량을 기준으로 가장 우점적인 종은 갈조식물문 다시마목 미역과에 속하는 감태 (*Ecklonia cava*, 생체량 점유율 30.84%) 로 나타났으며 이 종의 출현빈도는 총 54.5%로 주로 2009년 2월 이후에 표본으로 출현하였다 (Table 2). 감태를 포함한 상위 10위의 우점종들은 생체량에 있어서 조사 해역에 자생하는 해조류의 총 86.2% (23,401.88 gWWt/66m²) 를 나타내었다 (Table 2). 갯녹음 해역의 해조류 중 생체량에서 가장 우점적인 종은 홍조식물문 산호말목 산호말과에 속하는 흑돌잎 (*Lithophyllum okamurae* f. *japonicum*, 생체량 점유율 21.03%) 으로 나타났다. 흑돌잎을 포함한 갯녹음 해역 상위 10위의 우점종들은 생체량에 있어서 갯녹음 해역에 자생하는 해조류의 총 88.5% (5,259.60 gWWt/33m²) 를 나타내었다 (Table 3). 해중림 해

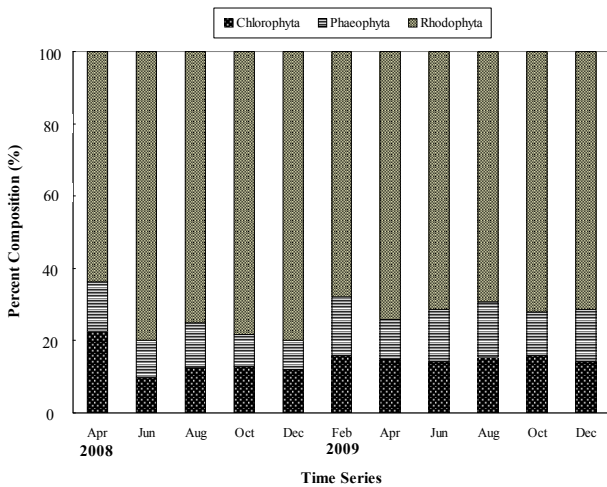


Fig. 2. Temporal variation of the number of macro-algal species, represented by the relative percent composition (/Unit), in Dang Sa Province (Sampling site). Each bar represents the data pooled relative value of samples belong to the Division for 2 line transects and 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm).

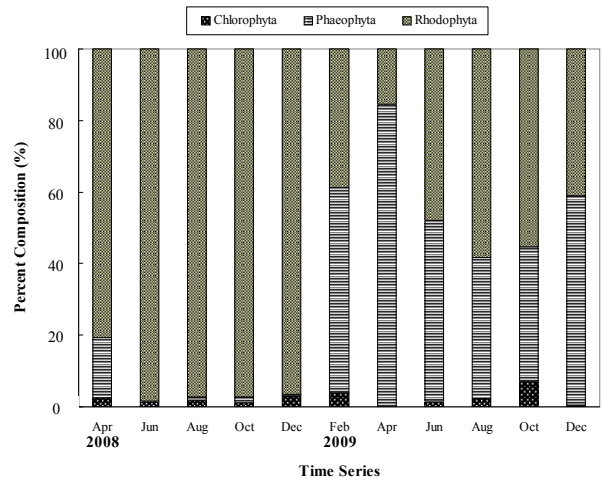


Fig. 3. Temporal variation of biomass (%; gWWt/6m²) of macro-algal species, represented by the relative percent composition, in Dang Sa Province (Sampling site). Each bar represents the data pooled relative value of samples belong to the Division for 2 line transects and 3 depths and 11 samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm).

Table 2. Temporal variation of biomass (gWWt/6m²) of macro-algal species in Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species in the biomass for 2 line transects and 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), Ph: Pheophyta, Rh: Rhodophyta, Chl: Chlorophyta, %: percent composition of the each species sampled, -: not appeared

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	Ph	<i>Ecklonia cava</i>	-	-	-	-	-	312.68	2945.60	365.48	1264.56	780.36	2702.00	8370.68	30.84
2	Rh	<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	-	-	363.00	661.60	171.64	109.88	56.12	230.64	600.44	460.80	991.12	3645.24	13.43
3	Rh	<i>Lithophyllum okamurae</i>	660.12	696.92	1420.72	-	-	68.00	-	37.48	36.08	-	-	2919.32	10.76
4	Rh	<i>Peyssonnelia caulifera</i>	232.60	521.88	34.96	2.60	864.36	214.52	6.32	14.76	41.56	27.20	102.28	2063.04	7.60
5	Ph	<i>Ecklonia kurome</i>	-	-	-	-	-	1049.20	-	866.56	-	-	-	1915.76	7.06
6	Rh	<i>Marginisporum crassissima</i>	-	-	-	-	-	216.88	164.00	280.92	587.76	269.68	217.48	1736.72	6.40
7	Rh	<i>Callophyllis japonica</i>	-	-	-	-	-	147.80	73.44	486.04	102.24	1.48	141.04	952.04	3.51
8	Rh	<i>Gelidium amansii</i>	-	17.52	-	22.04	-	7.76	16.60	8.36	277.88	153.60	247.88	751.64	2.77
9	Rh	<i>Rhodomenia intricata</i>	1.72	261.00	0.64	9.64	5.52	16.28	13.88	33.12	211.76	55.28	69.32	678.16	2.50
10	Chl	<i>Codium adhaerens</i>	42.44	31.32	41.92	1.92	36.96	91.32	-	50.72	73.68	149.00	21.64	540.92	1.99

Table 3. Temporal variation of biomass (gWWt/0.75m²) of macro-algal species in the barren ground of Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species in the biomass for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), Ph: Pheophyta, Rh: Rhodophyta, Chl: Chlorophyta, %: percent composition of the each species sampled, -: not appeared

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	Rh	<i>Lithophyllum okamurae</i>	128.56	178.84	876.80	-	-	-	-	37.48	36.08	-	-	1257.76	21.03
2	Rh	<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	-	-	363.00	-	-	9.36	6.92	54.20	9.16	104.68	528.16	1075.48	17.98
3	Rh	<i>Peyssonnelia caulifera</i>	0.48	518.16	1.56	2.60	186.96	51.56	0.20	13.08	41.56	-	102.28	918.44	15.35
4	Ph	<i>Ecklonia cava</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	222.04	33.20	444.52	699.76	11.70
5	Rh	<i>Marginisporum crassissima</i>	-	-	-	-	-	35.56	10.00	14.20	206.92	51.84	62.44	380.96	6.37
6	Ph	<i>Sargassum horneri</i>	85.36	-	-	-	-	18.56	133.88	-	-	-	-	237.80	3.98
7	Rh	<i>Plocamium telfairiae</i>	-	-	12.24	2.16	-	10.36	80.96	11.04	17.20	31.40	25.32	190.68	3.19
8	Ph	<i>Undaria pinnatifida</i>	184.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	184.40	3.08
9	Ph	<i>Dilophus okamurae</i>	1.00	-	-	12.72	-	0.24	5.44	101.52	25.40	-	29.48	175.80	2.94
10	Rh	<i>Gelidium amansii</i>	-	2.28	-	9.56	-	7.76	-	8.36	7.08	44.60	94.88	174.52	2.92

Table 4. Temporal variation of biomass (gWWt/0.75m²) of macro-algal species in the forest ground of Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species in the biomass for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), Ph: Pheophyta, Rh: Rhodophyta, Chl: Chlorophyta, %: percent composition of the each species sampled, -: not appeared

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	Ph	<i>Ecklonia cava</i>	-	-	-	-	-	312.68	2945.60	365.48	1042.52	747.16	2257.48	7670.92	36.25
2	Rh	<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	-	-	-	661.60	171.64	100.52	49.20	176.44	591.28	356.12	462.96	2569.76	12.15
3	Ph	<i>Ecklonia kurome</i>	-	-	-	-	-	1049.20	-	866.56	-	-	-	1915.76	9.05
4	Rh	<i>Lithophyllum okamurae</i>	531.56	518.08	543.92	-	-	68.00	-	-	-	-	-	1661.56	7.85
5	Rh	<i>Marginisporum crassissima</i>	-	-	-	-	-	181.32	154.00	266.72	380.84	217.84	155.04	1355.76	6.41
6	Rh	<i>Peyssonnelia caulifera</i>	232.12	3.72	33.40	-	677.40	162.96	6.12	1.68	-	27.20	-	1144.60	5.41
7	Rh	<i>Callophyllis japonica</i>	-	-	-	-	-	146.40	73.44	475.68	2.52	1.48	141.04	840.56	3.97
8	Rh	<i>Gelidium amansii</i>	-	15.24	-	12.48	-	-	16.60	-	270.80	109.00	153.00	577.12	2.73
9	Rh	<i>Rhodomenia intricata</i>	1.72	246.92	-	3.28	5.44	9.96	10.44	5.68	206.96	26.28	54.68	571.36	2.70
10	Rh	<i>Acrosorium uncinatum</i>	-	346.40	130.80	-	-	-	-	-	-	-	-	477.20	2.26

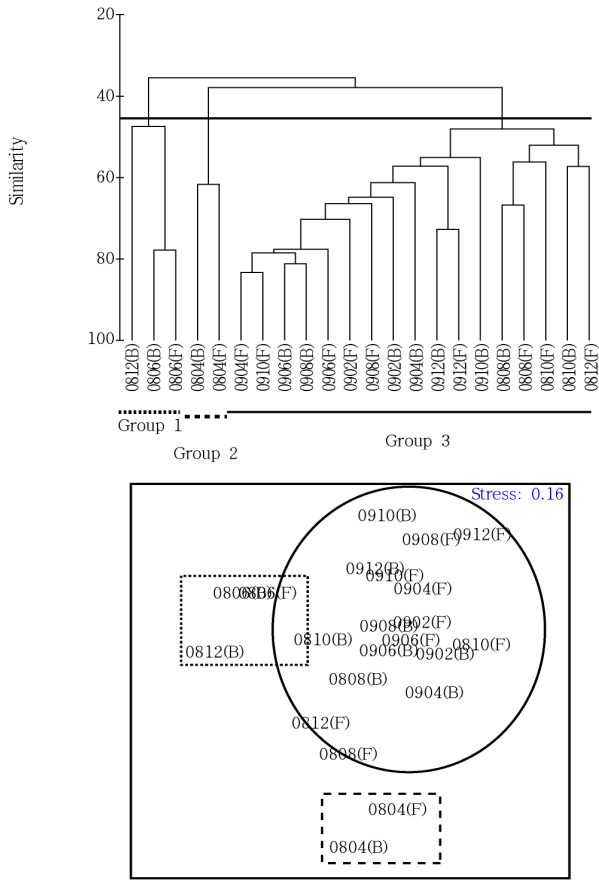


Fig. 4. Dendrogram (upper) and nMDS (lower) showing the group of samples (characteristics of macro-algae) in the study site (Dang Sa Province, eastern coast of Korea) from April 2008 to December 2009.

역의 해조류 중 생체량에서 가장 우점적인 종은 전체 당사 해역의 해조류 중 최우점종으로 출현하였던 감태로 나타났으며 이 종이 해중림 해역에서 차지하는 총 생체량의 점유율은 36.25%로 나타났다 (Table 4). 감태를 포함한 해중림 해역 상위 10위의 우점종들은 생체량에 있어서 조사 해역 갯녹음

지역에 자생하는 해조류의 총 88.8% (7,670.92 gWWt/33m²) 를 나타내었다 (Table 4).

당사해역의 대형 해조류 군락들은 유사도 약 55% 기준에서 크게 3개의 그룹 (G) 로 구분되었다 (Fig. 4). 먼저, G-I는 갯녹음 해역의 2008-06, 2008-12 및 바다숲 해역의 2008-06으로 구성되어 있으며, G-II는 갯녹음과 바다숲 해역의 2008-04로, G-III는 G-I과 G-II를 제외한 17개 소그룹으로 구성되어 있다 (Fig. 4). 따라서, 단 5개 소그룹으로 구성된 G-I과 -II를 제외한 대부분의 해조류 군락들은 갯녹음 해역과 해중림 해역에 구분 없이 전체적으로 유사한 군락특성을 나타내고 있다.

2) 대형 무척추동물

당사 해역에서 출현한 대형 무척추동물은 총 5개 분류군 (Phylum; 기타 동물군 포함) 에 속하는 200 spp./Unit, 31,936 inds./66m² (484 inds./m²) 로서 총 생체량은 3,077.35 gWWt/66m² (501.17 gWWt/m²) 이었다. 분류군 별 출현 종 수에 있어서는 총 91종이 출현한 연체동물문이 전체 출현 종 수의 45.5%를 차지하여 5개 출현 분류군 중 상대적 종 다양성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 절지동물문에 속하는 갑각류, 환형동물문에 속하는 다모류 그리고 극피동물문 및 기타동물군의 순으로 나타났다 (Table 5). 그러나 생체량에 있어서는 패각 (貝殼, 연체동물) 이나 외부 껍질 (裸角, 성게류) 을 가짐으로서 단일 개체들의 생체량이 크게 나타나는 극피동물문 (45.29%) 과 연체동물문 (37.98%) 의 생체량이 그렇지 못한 다른 분류군의 생체량에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다 (Table 5).

해중림 해역과 갯녹음 해역 간의 대형 무척추동물 군집의 정량적 특성 (출현 종수, 개체 수 및 생체량) 에 있어서는 상대적 종 다양성과 서식밀도 (출현 개체 수) 는 해중림 해역이 갯녹음 해역보다 높게 나타났으나 생체량에 있어서는 갯녹음 해역이 해중림 해역보다 높은 것으로 나타났다 (Table 6).

개체 수에 있어서 조사해역에서 가장 우점적인 종은 미소갑각류인 단각류 (*Amphipoda* spp.; 26.85%) 로서 개체 수 기

Table 5. Total number of species and biomass of the macro-invertebrates sampled from Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value for 2 line transects, 3 depths and 11 samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). For 'Unit' see the Materials and Methods

Phylum	Number of species (/Unit) (%)	Biomass (gWWt/66m ²) (%)
Mollusca	91 (45.5)	12,532.74 (37.89)
Arthropoda (Crustacea)	46 (23.0)	3,509.94 (10.61)
Annelida (Polychaeta)	38 (19.0)	113.95 (0.34)
Echinodermata	17 (8.5)	14,982.08 (45.29)
Other species	8 (4.0)	1,938.64 (5.86)
Sum	200 (100.00)	3,077.35 (100.00)

Table 6. Comparison of the three variables of macro-invertebrates sampled from Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value for 2 line transects, 3 depths and 11 samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). For 'Unit' see the Materials and Methods

Variable	Forest Ground	Barren Ground
Number of species (/Unit)	162	154
Number of individuals (/66m ²)	19,212	12,724
Biomass (/66m ²)	15,785.24	17,292.11

Table 7. Temporal variation of macro-invertebrate density (inds./6m²) in Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 2 line transects and 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), APOL: Polychaetes, CAM: Amphipods, CCI: Cirripeds, CDA: Anomurans; MBI: Bivalves, OSI: Sipunculids, %: percent composition of the species, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	CAM	Amphipoda spp.*	276	256	148	-	152	792	880	876	3,960	1,024	212	8,576	26.85
2	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	304	176	184	36	264	368	212	76	260	716	364	2,960	9.27
3	CCI	<i>Balanus trigonus</i>	-	168	224	984	1552	-	-	-	-	-	-	2,928	9.17
4	MBI	<i>Lithophaga curta</i>	180	72	220	28	124	120	164	120	180	292	32	1,532	4.80
5	CDA	<i>Paguristes</i> sp.	28	48	80	4	-	160	260	188	396	360	-	1,524	4.77
6	OSI	<i>Phascolosoma scolops</i>	68	84	160	8	104	80	100	88	96	352	56	1,196	3.74
7	CCI	<i>Octomeris sulcata</i>	-	-	-	-	-	84	-	-	12	552	344	992	3.11
8	CAM	<i>Caprella</i> spp.*	148	4	32	-	-	24	48	104	516	68	28	972	3.04
9	CDA	<i>Paguristes ortmanni</i>	120	28	48	16	40	112	76	28	96	88	56	708	2.22
10	APOL	<i>Halosydna brevisetosa</i>	20	20	48	16	20	68	44	40	40	132	64	512	1.60

Table 8. Temporal variation of macro-invertebrate biomass (gWWt/6m²) in Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 2 line transects and 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), CCI: Cirripeds, CDA: Anomurans; EEC: Echinoids, EST: Stelleroids, MBI: Bivalves, MGS: Gastropods, OUR: Urochordates, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	EEC	<i>Strongylocentrotus nudus</i> *	1,536.40	1,473.80	1,908.92	-	1,264.76	928.36	-	928.96	523.28	1,317.08	231.40	10,112.96	30.57
2	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	276.48	80.40	365.76	22.00	178.60	252.56	125.84	63.64	255.40	623.48	600.04	2,844.20	8.60
3	EST	<i>Asterina pectinifera</i>	345.68	225.12	350.68	94.24	312.56	132.44	41.96	-	-	-	146.84	1,649.52	4.99
4	CCI	<i>Balanus trigonus</i>	-	78.40	50.36	504.24	761.44	-	-	-	-	-	-	1,394.44	4.22
5	OUR	<i>Chelyosoma dofleini</i>	374.40	408.44	-	-	237.84	158.64	-	-	-	121.56	56.12	1,357.00	4.10
6	EEC	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> *	-	762.00	299.72	-	155.84	-	-	-	-	-	77.00	1,294.56	3.91
7	MGS	<i>Turbo cornutus</i> *	593.20	577.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,170.36	3.54
8	MGS	<i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i> †	338.48	205.12	84.68	-	-	-	141.36	35.36	137.56	103.08	86.32	1,131.96	3.42
9	MGS	<i>Norditis discus hannai</i> †	874.40	224.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,098.92	3.32
10	CDA	<i>Paguristes ortmanni</i>	213.40	34.48	72.28	25.28	47.88	94.44	31.56	13.92	58.64	36.84	405.80	1,034.52	3.13

준 상위 10종의 대형 무척추동물 중 다른 9종 대비 절대적인 우점종으로 나타났으며, 단각류를 포함한 상위 10종의 합산 개체 수는 조사 해역 총 출현 개체 수 (31,936 inds./66m²) 의 68.57%를 점유하였다 (Table 7). 그러나 생체량에 있어서는 조식동물인 둥근성게 (*Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz)) 가 총 생체량의 30.57%를 차지하여 생체량 기준

상위 10종의 대형 무척추동물 중에서 가장 우점적인 종으로 출현하였다 (Table 8). 생체량 기준 최 우점종인 둥근성게를 제외한 그 외 상위 10위 내의 종들은 연체동물에 속하는 개척구 (*Modiolus agripetus* (Iredale))를 비롯하여 털보긴눈집게 (*Paguristes ortmanni* Miyake) 등이 최대 8.60%에서 최소 3.13% 정도를 차지하고 있었다 (Table 8).

Table 9. Temporal variation of macro-invertebrate density (inds./0.75m²) in the barren ground, Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), CAM: Amphipods, CCI: Cirripeds, CDA: Anomurans; MBI: Bivalves, MGS: Gastropods, OUR: Urochordates, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	CAM	Amphipoda spp.*	68	144	44	-	116	68	668	352	1116	508	108	3,192	25.09
2	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	76	40	136	24	168	120	92	48	108	352	184	1,348	10.59
3	CCI	<i>Octomeris sulcata</i>	-	-	-	-	-	84	-	-	4	552	212	852	6.70
4	CDA	<i>Paguristes</i> sp.	-	8	52	4	-	60	132	76	188	120	-	640	5.03
5	OSI	<i>Phascolosoma scolops</i>	32	36	84	8	56	8	40	28	64	248	32	636	5.00
6	MBI	<i>Lithophaga curta</i>	36	16	120	-	28	12	68	32	60	156	8	536	4.21
7	CDA	<i>Paguristes ortmanni</i>	112	8	32	16	28	84	60	20	24	64	28	476	3.74
8	MGS	<i>Crepidula onyx</i>	96	24	8	-	8	16	20	12	20	40	32	276	2.17
9	CCI	<i>Balanus trigonus</i>	-	44	224	-	-	-	-	-	-	-	-	268	2.11
10	CAM	<i>Caprella</i> spp.*	-	-	-	-	-	-	36	32	148	-	20	236	1.85

Table 10. Temporal variation of macro-invertebrate biomass (gWWt/0.75m²) in the barren ground, Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), EEC: Echinoids, MBI: Bivalves, EST: Stelleroids, MGS: Gastropods, CDA: Anomurans, OUR: Urochordates, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	EEC	<i>Strongylocentrotus nudus</i> *	1,216.12	545.76	1,427.92	-	462.96	608.08	-	928.96	523.28	421.16	114.00	6,248.24	36.13
2	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	42.92	14.64	317.72	15.00	141.72	89.76	21.72	30.32	109.04	291.76	249.52	1,324.12	7.66
3	EEC	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> *	-	580.20	246.36	-	-	-	-	-	-	-	77.00	903.56	5.23
4	EST	<i>Asterina pectinifera</i>	179.24	91.44	170.92	61.88	224.68	45.32	31.76	-	-	-	93.48	898.72	5.20
5	MGS	<i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i> *	280.36	134.40	43.20	-	-	-	141.36	-	101.84	103.08	86.32	890.56	5.15
6	CDA	<i>Paguristes ortmanni</i>	204.36	9.64	47.20	25.28	33.44	76.88	27.36	7.36	15.80	23.20	235.36	705.88	4.08
7	MBI	<i>Hyotissa hyotis</i>	-	-	-	-	-	-	678.04	20.48	-	-	-	698.52	4.04
8	MBI	<i>Spondylus longitudinalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	636.08	-	636.08	3.68
9	MGS	<i>Norditis discus hanna</i> *	604.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	604.40	3.50
10	OUR	<i>Chelyosoma dofleini</i>	374.40	-	-	-	145.28	-	-	-	-	-	56.12	575.80	3.33

갯녹음 해역의 경우, 조사 해역 전체에서 개체 수 기준 최우점종으로 출현하였던 단각류가 갯녹음 해역에서도 상대적 서식밀도가 가장 높은 것 (25.09%) 으로 나타났으며, 다음으로 이매패류인 개적구가 단각류의 1/2 이하의 밀도 (10.59%) 로 출현 하였다 (Table 9). 출현 개체 수 기준 갯녹음 해역에서의 상위 10위 우점종들은 전체 출현 개체 수의 66.49% (총 출현 종 수: 154종, Table 7) 를 차지하는 것으로 나타났다. 생체량에 있어서는 조사 해역 전체의 생체량 중 30.57%를 차지하며 최 우점종으로 출현하였던 둥근성게가 갯녹음 해역에서도 역시 가장 우점적인 종으로 출현하여 갯녹음 해역 총 생체량의 36.13%를 차지하는 것으로 나타났다 (Table 10). 둥근성게를 제외하고 생체량 기준 갯녹음 해역의 상위 10종의 범위에 속하는 나머지 9종들은 9종의 생체량을 모두 합한 값이 거의 등

근성게 한 종의 생체량과 유사한 값으로 그 구성비 (% 점유율)가 미미한 상태였다 (Table 10).

해중림 해역의 경우, 조사 해역 전체 및 앞에서 설명된 갯녹음 해역에서 개체 수 기준 최우점종으로 출현하였던 단각류가 해중림 해역에서도 상대적 서식밀도가 가장 높은 것 (28.02%) 으로 나타났으며, 다음으로 만각류인 삼각따개비 (*Balanus trigonus*) 가 단각류의 약 1/2 정도에 달하는 밀도 (13.85%) 로 출현 하였다 (Table 11). 출현 개체 수 기준 해중림 해역에서의 상위 10위 우점종들은 전체 출현 개체 수의 71.66% (총 출현 종 수: 162종, Table 6) 를 차지하는 것으로 나타났다. 생체량에 있어서는 조사 해역 전체의 생체량 중 30.57%를 차지하며 최 우점종으로 출현하였던 둥근성게가 갯녹음 해역에서와 마찬가지로 해중림 해역에서도 역시 가장 우점적인 종

Table 11. Temporal variation of macro-invertebrate density (inds./0.75m²) in the forest ground, Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), CAM: Amphipods, CCI: Cirripeds, MBI: Bivalves, CDA: Anomurans; OSI: Sipunculids, APOL: Polychaetes, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	CAM	Amphipoda spp.*	208	112	104	-	36	724	212	524	2,844	516	104	5,384	28.02
2	CCI	<i>Balanus trigonus</i>	-	124	-	984	1,552	-	-	-	-	-	-	2,660	13.85
3	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	228	136	48	12	96	248	120	28	152	364	180	1,612	8.39
4	MBI	<i>Lithophaga curta</i>	144	56	100	28	96	108	96	88	120	136	24	996	5.18
5	CDA	<i>Paguristes</i> sp.	28	40	28	-	-	100	128	112	208	240	-	884	4.60
6	CAM	<i>Caprella</i> spp.	148	4	32	-	-	24	12	72	368	68	8	736	3.83
7	OSI	<i>Phascolosoma scolops</i>	36	48	76	-	48	72	60	60	32	104	24	560	2.91
8	APOL	<i>Halosydna brevisetosa</i>	8	16	44	12	8	52	24	20	24	84	44	336	1.75
9	CDA	<i>Pachycheles stevensii</i>	28	8	4	4	16	104	32	24	28	40	24	312	1.62
10	APOL	Syllidae unid.	4	12	28	16	-	52	36	32	24	60	24	288	1.50

Table 12. Temporal variation of macro-invertebrate biomass (gWWt/0.75m²) in the forest ground, Dang Sa Province (Sampling site). Each values represent the data pooled value of the first 10 ranked species for 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm × 50 cm). Rank: ranking, Div: division (taxa), EEC: Echinoids, MBI: Bivalves, CCI: Cirripeds, MGS: Gastropods, OUR: Urochordates, EST: Stelleroids, -: not appeared, *: herbivores

Rank	Div	Species	2008					2009					Sum	%	
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct			Dec
1	EEC	<i>Strongylocentrotus nudus*</i>	-	895.92	117.40	320.28	928.04	481.00	-	801.80	320.28	-	-	3864.72	24.48
2	MBI	<i>Modiolus agripetus</i>	146.36	331.72	350.52	233.56	65.76	48.04	7.00	36.88	162.80	104.12	33.32	1520.08	9.63
3	CCI	<i>Balanus trigonus</i>	-	-	-	-	60.36	-	504.24	761.44	-	-	-	1326.04	8.40
4	MGS	<i>Turbo cornutus*</i>	-	-	-	593.20	577.16	-	-	-	-	-	-	1170.36	7.41
5	OUR	<i>Chelyosoma doffeini</i>	-	121.56	-	-	408.44	-	-	92.56	158.64	-	-	781.20	4.95
6	EST	<i>Asterina pectinifera</i>	-	-	53.36	166.44	133.68	179.76	32.36	87.88	87.12	10.20	-	750.80	4.76
7	MGS	<i>Omphalius rusticus rusticus*</i>	9.52	106.80	89.92	-	-	-	-	190.64	168.36	125.96	-	691.20	4.38
8	MGS	<i>Aplysia kurodaï*</i>	-	-	548.04	-	-	-	-	-	-	-	-	548.04	3.47
9	EST	<i>Asterias amurensis</i>	-	-	-	-	192.20	-	-	-	-	309.96	-	502.16	3.18
10	MGS	<i>Norditis discus hannaï*</i>	-	-	-	270.00	224.52	-	-	-	-	-	-	494.52	3.13

으로 출현하여 해중립 해역 총 생체량의 24.48%를 차지하는 것으로 나타났다 (Table 12). 그러나 생체량의 점유율에 있어서는 갯녹음 해역 (36.13%) 에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었다.

3) 조식동물

조사해역에서 출현한 총 200종의 대형 무척추동물 중 조식동물로 분류될 수 있는 종은 총 37종으로, 연체동물문에 속하는 종이 28종으로 가장 많은 부분을 차지하였고 그 다음으로 절지동물문 (단각류 및 등각류, Isopods) 과 극피동물문 (성게류) 에 속하는 종들이 각각 5종과 4종으로 나타났다 (Table 13, Fig. 5). 연체동물에 속하는 조식동물들의 대부분은 복족류 (Gastropods; 20종) 로 나타났으며 그 외, 8종의 다관류

(군부류, Polyplacophorans) 가 출현하였다 (Table 13). 그러나, 서식밀도에 있어서는 단각류, 등각류 및 바다대벌레류 (Caprellids) 등을 포함하는 갑각류가 전체 출현 개체 수의 86.77%를 차지하는 최 우점군으로 나타났으며, 그 다음으로 연체동물문과 극피동물문에 속하는 종들이 각각 1,236 inds./6m² (11.10%) 와 236 inds./6m² (2.12%) 의 서식밀도를 나타내었다. 생체량에 있어서는 단일개체의 중량이 높은 극피동물문에 속하는 성게류가 11,712.20 gWWt/6m²로 최 우점적인 무리로 나타났으며, 다음으로 연체동물문에 속하는 무리들 (5,390.86 gWWt/6m²) 과 갑각류에 속하는 무리들 (27.02 gWWt/6m²) 의 순으로 나타났다 (Table 13).

해중립 해역과 갯녹음 해역에서 출현한 조식동물들은 각각 32종과 29종으로 이들 해역간의 조식동물 종 다양성에서는

Table 13. Species list and biomass (gWWt/6m²) of the herbivores sampled from Dang Sa Province, eastern coast of Korea

Species / Time	2008					2009					Total		
	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.		Dec.	
Phylum Arthropoda													
Crustacea													
Amphipoda													
Amphipoda spp.	1.48	0.19	1.60		1.60	2.36	1.44	2.44	4.68	2.60	1.92	20.31	
<i>Caprella</i> spp.	0.12	0.02	0.32			0.12	0.20	0.32	1.16	0.16	0.16	2.58	
Isopoda													
<i>Cymodoce japonica</i>			0.02	0.36		1.76					0.16	2.30	
<i>Cymodoce</i> sp.						1.20	0.20	0.32				1.72	
<i>Idotea metallica</i>				0.12								0.12	
Phylum Echinodermata													
Echinoidea													
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>		762.00	299.72		155.84						77.00	1,294.56	
<i>Strongylocentrotus nudus</i>	1,536.40	1,473.80	1,908.92		1,264.76	928.36	0.00	928.96	523.28	1,317.08	231.40	10,112.96	
<i>Temnopleurus hardwicki</i>						7.88	147.28	146.04	2.52	0.88		304.60	
<i>T. toreumaticus</i>											0.08	0.08	
Phylum Mollusca													
Gastropoda													
<i>Acmaea pallida</i>	87.84		71.12	16.48		0.12	31.88				0.12	207.56	
<i>Aplysia kurodai</i>											548.04	548.04	
<i>Calliostoma multiliratum</i>			0.12									0.12	
<i>C. unicum</i>			3.56	6.08		21.04	16.44	9.64	13.04	0.72	4.04	74.56	
<i>Cantharidus bisbalteatus</i>	1.96		0.48	0.76	5.88		4.68	2.96	1.76	3.16		21.64	
<i>C. japonicus</i>				2.84		8.60		2.32	1.56	2.28	5.20	22.80	
<i>C. jessoensis</i>			0.04									0.04	
<i>Columbellopsis bella</i>									4.24	10.64	3.16	18.04	
<i>Homalopoma amussitatum</i>						2.28						2.28	
<i>H. nocturnum</i>		1.20					15.80	3.76	3.68	2.56	2.28	29.28	
<i>Homalopoma sangarensense</i>	0.16			0.28	0.88							1.32	
<i>Lirularia iridescens</i>			0.48									0.48	
<i>Macroschisma dilatata</i>	874.40	224.52										1,098.92	
<i>Norditis discus hannai</i>	338.48	205.12	84.68					141.36	35.36	137.56	103.08	86.32	1,131.96
<i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i>						250.44	238.60	125.96	9.52	173.60	203.68	1,001.80	
<i>O. rusticus rusticus</i>			0.08									0.08	
<i>Patelloida pygmaea</i>	0.24		0.08	0.12		0.12		0.20	0.16	0.20		1.12	
<i>Tugali decussata</i>	593.20	577.16										1,170.36	
<i>Turbo cornutus</i>									0.28			0.28	
<i>T. excellens</i>			0.06	0.64	1.00			0.36				2.06	
Polyplacophora													
<i>Acanthochitona achates</i>	3.12			3.04		0.08	0.12					6.36	
<i>A. defilippi</i>			0.08									0.08	
<i>Cryptoplax japonica</i>	0.80	1.12	0.32		2.00	0.24						4.48	
<i>Ischnochiton comptus</i>		0.68	0.64			5.56	0.72					7.60	
<i>Lepidozona coreanica</i>	0.08				33.44							33.52	
<i>Lepidozona</i> sp.			0.04									0.04	
<i>Rhyssoplax kurodai</i>			2.32	2.04						1.00	0.08	5.44	
<i>Tonicella zotini</i>			0.60									0.60	
Total	3,438.28	3,249.64	2,374.60	64.04	1,432.72	1,228.40	598.72	1,258.64	703.44	1,617.96	1,163.64	17,130.08	

Table 14. Summarized comparison of herbivore community characteristics in Dang Sa Province, eastern coast of Korea, from April 2008 to December 2009

Character	Schematic Result
Species diversity	Forest ground > Barren ground
Density (Crustaceans)	Forest ground > Barren ground
Biomass	Forest ground < Barren ground

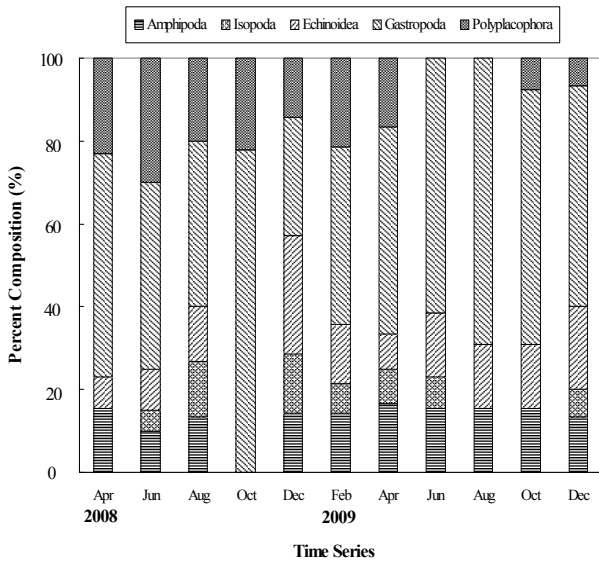


Fig. 5. Temporal variation of the number of herbivore species, represented by the relative percent composition ($/1.5m^2$), in Dang Sa Province (Sampling site). Each bar represents the data pooled relative value of samples belong to the taxa for 2 line transects and 3 depths samplings from April 2008 to December 2009 with underwater quadrat (50 cm \times 50 cm).

큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 조사해역 전체의 서식밀도에 있어서 가장 우점적으로 나타난 갑각류의 서식밀도에 있어서는 해중림 해역과 갯녹음 해역 사이에 차이가 커서 해중림 해역의 경우 7,120 inds./6m², 갯녹음 해역의 경우 4,008 inds./6m²로 해중림 해역에서의 갑각류 서식밀도가 갯녹음 해역의 서식밀도보다 약 2배에 달하고 있다. 또한, 생체량에 있어서는 갯녹음 해역에서의 생체량이 9,248.48 gWWt/6m²로 해중림 해역의 7,886.60 gWWt/6m²보다 다소 높게 나타났으며, 보다 세부적인 사항으로 갯녹음 해역에서는 성게류의 생체량이 해중림 해역의 그 것보다 상대적으로 높은 반면, 해중림 해역에서는 복족류의 생체량이 상대적으로 높게 나타났다. 이상의 결과를 전체적인 양상으로 축약하여 비교하면 종 다양성과 서식밀도에 있어서는 해중림 해역이 갯녹음 해역보다 높고, 생체량에 있어서는 갯녹음 해역이 해중림 해역보다 높게 나타나고 있다 (Table 14).

조식동물 군집은 전체 조사기간을 통해 크게 1개의 그룹과 3개의 정점 (갯녹음 해역의 2008-04, 2008-10 및 해중림 해역의 2009-10) 으로 구분될 수 있었다 (Fig. 6).

3. 대형 해조류 군락과 조식동물과의 상관성

조사해역의 대형 해조류와 조식동물의 종 다양성 (출현 종수) 변화는 통계적으로 서로 유의한 상관성을 나타내지는 않았

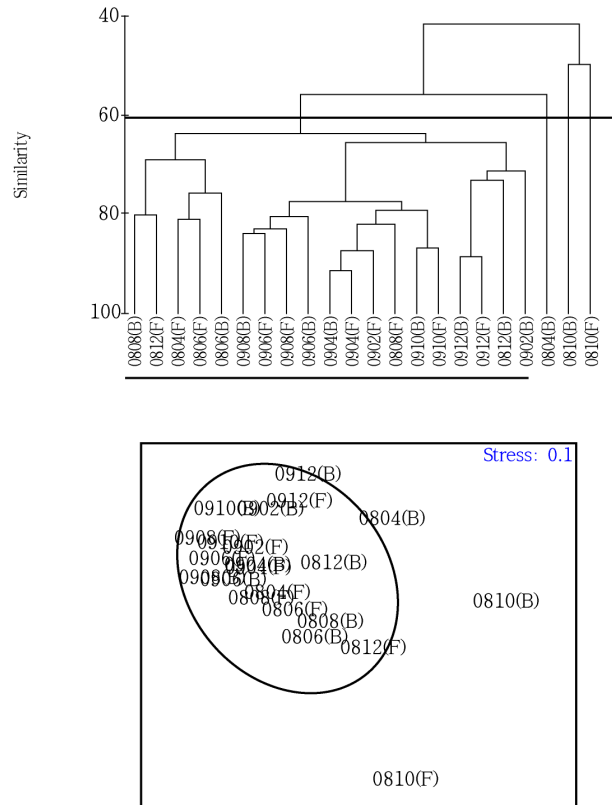


Fig. 6. Dendrogram (upper) and nMDS (lower) showing the group of samples (characteristics of herbivores) in the study site (Dang Sa Province, eastern coast of Korea) from April 2008 to December 2009.

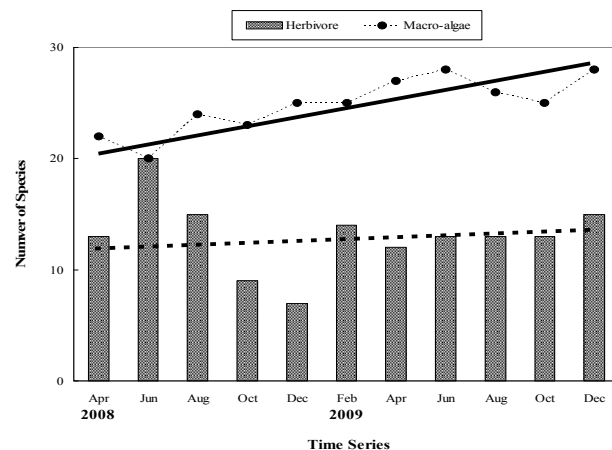


Fig. 7. Trend of species diversity (number of species) variation in the macro algae and herbivores in Dang Sa Province, southern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

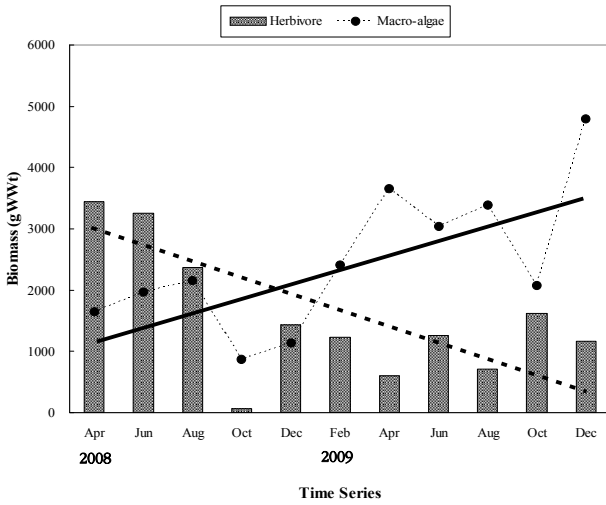


Fig. 8. Trend of biomass variation in the macro algae and herbivores in Dang Sa Province, eastern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

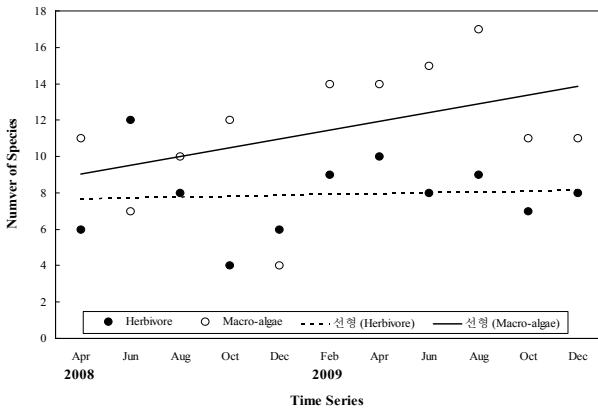


Fig. 9. Trend of species diversity (number of species) variation in the macro algae and herbivores in the barren ground, Dang Sa Province, eastern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

다 ($p > 0.05$, Fig. 7). 그러나, 대형 해조류와 조식동물 모두에 있어서 시간의 경과에 따라 점진적으로 종 다양성이 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 증가의 정도는 조식동물 군집보다는 해조류 군락 내에서 크게 나타났다 (Fig. 7). 생체량의 변화에 있어서도 대형 해조군락과 조식동물 군집과는 전체적으로 서로 무관한 변화양상을 나타내어 통계적으로 유의한 상관성을 보이지 않았으며 ($p > 0.05$, Fig. 8), 해조군락의 생

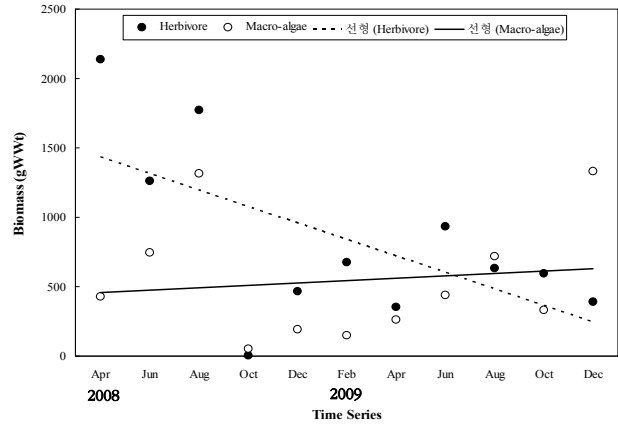


Fig. 10. Trend of biomass variation in the macro algae and herbivores in the barren ground, Dang Sa Province, eastern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

체량은 시간의 경과에 따라 증가하는 반면 조식동물의 생체량은 감소하는 경향을 나타내었다.

해조군락과 조식동물과의 상관성에 대하여 갯녹음 해역과 해중립 해역을 구분하여 분석한 결과, 먼저 종 다양성의 변화에 있어 갯녹음 해역에서는 통계적 유의성은 나타나지 않았으나 ($p > 0.05$) 해조류의 종 다양성이 증가함에 따라 조식동물의 종 다양성도 다소 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 9). 반면, 생체량의 변화에 있어서 갯녹음 해역의 경우, 해조류의 생체량은 시간의 경과에 따라 다소 증가하는 경향을 보이지만 조식동물의 생체량은 도리어 감소하는 경향을 보였으며 이러한 상반되는 경향성 사이에도 통계적으로 유의한 상관성을 나타내지 않았다 ($p > 0.05$, Fig. 10). 해중립 해역의 경우도 앞서 기술된 갯녹음 해역의 경우와 유사하게 해조군락과 조식동물 군집 사이에 종 다양성과 생체량 변화 사이에 통계적으로 유의한 상관성은 나타나지 않았으며, 두 변수 간의 전체적인 경향성은 갯녹음 해역과 유사하게 나타났다 (Figs. 11, 12).

고찰

지금까지의 조사와 분석을 통한 검증 결과, 당초 저자들이 설정하였던 가설 ‘조식동물의 군집구조 변화는 이들의 주된 먹이가 되는 주변 해조군락의 천이과정과 유의한 상관성을 가지고 있다.’는 기각되었다. 따라서, 우리나라 동해 연안 울산 당사해역의 대형 해조류 군락구조는 시간의 경과에 따라 주변에 공생 (sympatric) 하는 대형 조식동물 군집구조와는 무관한 천이과정을 거쳐 가고 있음을 알게 되었다 (Figs. 7, 8). 이러한 경향은 조사 해역에 세분화된 갯녹음 해역과 해중립 해역에

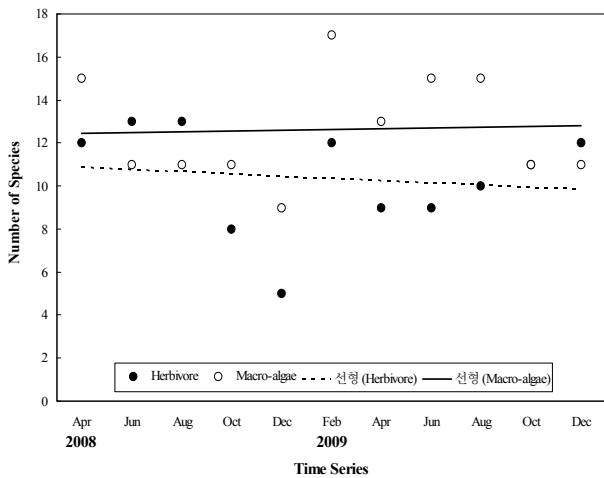


Fig. 11. Trend of species diversity (number of species) variation in the macro algae and herbivores in the forest ground, Dang Sa Province, eastern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

서도 동일한 현상으로 향후 조식동물과 해조류와의 상관관계를 밝히고자 함에 있어서 보다 정지(靜密)한 방법론적 접근이 우선되어야 함을 보여주고 있다. 그러나 조식동물과 해조류와의 상관성 유무에 대한 연구결과들은 현재까지도 많은 논란의 여지를 갖고 있다. 먼저, 해조류와 조식동물 사이에는 유의한 상관성이 존재한다는 주장에 대하여 Underwood and Jernakoff (1981)는 호주 New South Wales 해안에서의 관찰 결과를 근거로 엽체형성 해조류가 많은 곳에는 조식성 복족류의 밀도가 높고, 그렇지 못한 곳에서는 조식성 복족류의 밀도가 극단적으로 낮음을 제시한 바 있다. 그러나 Lee *et al.* (1998)은 제주 연안 8개 정점에 대한 현장 조사 결과, 자연적인 해중림이 상대적으로 잘 발달하여 있는 지역일지라도 조식동물인 성게의 크기나 생체량에는 유의한 차이가 없음을 밝히면서, 성게류가 해조류뿐만 아니라 다른 다양한 먹이원을 섭식하고 있다는 증거라는 주장을 한 바 있다. 그 직접적인 근거로는 성게류의 위내용물 분석결과 해조류뿐만 아니라 해면류, 태형동물류, 미소 갑각류, 부착성 저서조류, 개흙질이나 모래알갱이 등이 발견되었음을 제시하였다. 따라서, 저자들은 섭이한 음식물의 상대적 양으로 판단할 때 성게에 의한 해조류 섭식 정도는 매우 낮기 때문에 성게류가 갯녹음 현상을 야기하는 주된 섭식자는 아닐 수도 있음을 시사하였다. 또한, Hagerman (1966)은 조식동물을 포함한 저서 무척추동물들이 해조류 그 자체가 아닌 해조 엽상체 표면의 다양한 후생동물들을 섭식하고 있다는 결과를 제시한 바도 있다. 그러므로, 특정 해조류 또는 특정 조식동물에 대한 연구결과가 아닌 해조류 군락 전체

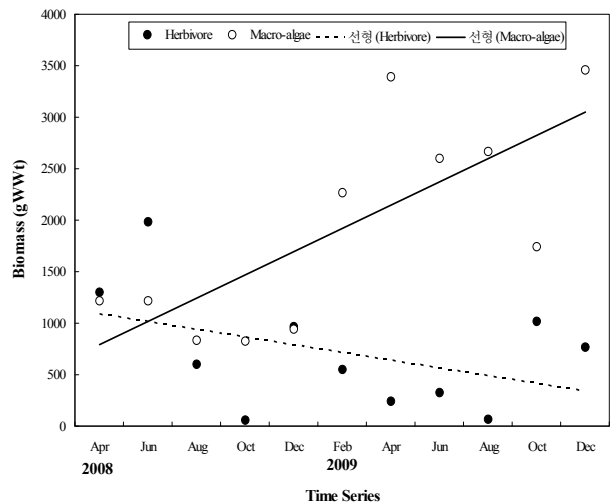


Fig. 12. Trend of biomass variation in the macro algae and herbivores in the forest ground, Dang Sa Province, eastern coast of Korea. Black (macro-algae) and dotted line (herbivores), which were calculated with regression equation ($P < 0.05$), are added to explain the trend only.

와 조식동물 군집 전체의 상관성에 대한 이론적 통일성을 위해서는 앞으로 더 많은 실험적 연구결과들의 축적이 필요할 것으로 생각된다.

특정 해역에 있어서 조식동물과 해조류 군락과의 상관성은 주로 대형 조식동물들(예, 성게류와 고둥류 등)이 대형 해조류만을 주된 먹이로 섭식활동을 하고 있다는 주관적인 가정에서 시작되는 경우가 흔하다. 저자들 역시 조사해역에서 출현한 200종의 대형 무척추동물 중 37종을 조식동물로 분류, 분석하였으나 엄밀한 의미에서 각 종의 조식여부에 대한 과학적이며 객관적인 증거를 갖고 있지는 못하다. 과학적이며 객관적인 증거 부족의 근거는 Lee *et al.* (1998)의 성게류 위내용물 분석결과에서도 분명히 나타나고 있다고 생각된다. 특정 종에 대한 조식성(herbivory)여부의 판단은 그리 단순한 것이 아니며 많은 해양생물들은 보다 복잡적이며 잡식성의 섭식형(feeding type)을 나타내는 경우가 많다. 그러나, Leinaas and Christie (1996)은 대서양 동부 연안의 다시마류에 의해 형성된 바다숲이 회복되어 가는 천이과정과 주변의 백화지역(barren state)의 안정성에 있어서 성게(*Strngylocentrotus droebachiensis*) 밀도가 어떠한 영향을 미치는지에 대한 현장실험을 수행하였으며 그 결과, 성게 밀도를 심각하게 낮추게 되면 바다숲을 구성하는 다시마류의 군락이 빠른 시간 내에 번성하게 되지만, 성게 밀도를 조금만 낮추게 되면 다시마류가 아닌 기회주의적 해조류들(예, 소형 홍조류나 녹조류들)이 번무하게 된다는 사실을 밝히게 되었다. 따라서, 이들의 연구 결과에서는 성게류(*S. droebachiensis*)

가 대형 다시마류에 대해서는 가장 중요한 일차적인 조식동물 임이 확인되었다. 조식동물로 추정되는 다양한 저서 무척추동물들과 대형 갈조류와의 상관관계에 대해서 Vasquez *et al.* (1997) 은 그 당시까지 보고된 다양한 연구결과들을 분석해 본 결과 성게류나 고동류의 조식정도는 동일한 종 또는 동일한 해역일지라도 실제 조식동물들이 서식하는 서식지의 파랑의 세기 등에 의해서 시-공간적으로 매우 다양한 정도의 차이를 나타내고 있다는 사실을 주장하였다.

조식동물과 해조군락 사이의 상관관계에 대한 또 다른 해석으로 Padilla (1985) 는 ‘특정 해조류가 엽상체 (thallus) 를 갖고 있다고 해서 이들이 조식동물의 주된 먹이가 될 것이며 따라서 주변에 서식하는 조식동물의 밀도나 생체량이 해당 해역에 서식하는 해조류 군락구조에 영향을 미칠 것이라는 예측은 불합리’함을 주장한 바 있다. Padilla (1985) 는 자신의 주장 근거로 조식동물의 조식압은 먹이가 되는 해조류의 체 (體) 조성 물질과 조식동물의 섭식기구 (feeding apparatus) 그리고 섭식모드 (feeding mode) 등에 따라 매우 다양할 수 있음을 제시하였다. 또한, Hagerman (1966) 은 대서양에 서식하는 해조류 (*Fucus serratus*) 의 엽체 표면에 단각류와 같은 미소 갑각류를 포함한 164종의 소형 후생동물들이 서식하고 있음을 밝힘으로서 단순한 조식성 저서동물이 실제로는 조식성이 아니라 해조류 엽체 표면에 부착해 있는 다양한 후생동물을 섭식하는 잡식성일 가능성을 제기 한 바 있다. 해조류 엽체 표면에 존재하는 많은 후생동물의 서식 현상은 본 연구결과와도 일치하는 것으로, 서식밀도 기준, 자연상태의 해조군락이 잘 발달된 해중립 해역에서 미소 갑각류인 단각류가 최 우점종으로 출현하고 있다 (Table 12). 또한, Yoo *et al.* (2007) 은 우리나라 동해안 강원도에서 채집된 조식동물을 대상으로 실험실 사육실험을 통하여 우리가 흔히 대표적인 조식동물로 알고 있는 성게류나 군소류 이외에 높은 밀도를 갖는 (예. 본 연구에서의 단각류 등, Table 14) 많은 수의 종들이 해조류를 먹이로 하고 있다는 사실을 제시하였다. 그러므로, 향후 해조류-조식동물의 상관성에 대한 연구에서는 성게류나 고동류 등과 같은 대형 조식동물뿐만 아니라 단각류와 같은 소형 조식동물에 대한 보다 정밀한 표본채집과 분석과정이 반드시 필요하다고 생각된다.

조사 결과 중 해조류의 전체적인 생체량이 상대적 고 수온기인 봄-여름철에 높게 나타나고 저 수온기인 가을-겨울철에 높게 나타나는 현상 (Figs. 7, 8) 은 대형의 온대성 다년생 갈조류인 감태의 출현에 기인하고 있는 것으로 생각된다. 즉, 많은 종류의 해조류들이 수온상승과 함께 소멸해 가는 봄-여름철에 설정된 방형구 내에 감태표본이 채집될 경우 이는 해당 조사시기의 전체 해조류 생체량 증가에 크게 기여할 것이기 때문이다. 이러한 상대적 고 수온기의 해조류 생체량 증가는 Koh

et al. (1989) 의 연구결과에서도 나타나는데, Koh *et al.* (1989) 은 동해안 오향리에 서식하는 해조류의 경우 최대 생체량이 고수온 시기인 6월에 나타난 반면 최소 생체량은 저수온 시기인 12월에 나타남을 밝힌 바 있다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물연구원 (해역별 갯녹음 발생동태조사, RP-2010-PM-001) 의 지원에 의해 수행되었습니다. 자료의 분석 및 수집을 위해 노력해주신 자원조성사업단 직원 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- Bray, J.R. and Curtis, J.T. (1957) An ordination of the upland communities of southern Wisconsin. *Ecological Monograph*, **27**: 325-349.
- Brosnan, D.M. (1992) Ecology of tropical rocky shores: plant-animal interactions in tropical and temperate latitudes. *In*: Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos. (ed. by John, D.M., Hawkins, S.J. and Price, J.H.). The Systematics Association Special Vol. 46, pp. 101-131, Oxford University Press, New York.
- Cubit, J.D. (1984) Herbivory and the seasonal abundance of algae on a high intertidal rocky shore. *Ecology*, **65**: 1904-1917.
- Hagerman, L. (1966) The macro- and microfauna associated with *Fucus serratus* L., with some ecological remarks. *Ophelia*, **3**: 1-43.
- Koh, C.H., Oh, S.H., Sung, N.K., Ahn, I.Y. and Kang, Y.C. (1989) Algal zonation and seasonality in subtidal area of an wave-exposed coast at Oori, east coast of Korea. *Journal of Korean Society of Phycology*, **4**: 171-182.
- Lee, G.W., Son, C.H. and Jeong, S.C. (1988) Marine algal flora and grazing effect of sea urchins in the coastal waters of Cheju Island. *Journal of Aquaculture*, **11**: 401-401.
- Leinaas, H.P. and Christie, H. (1996) Effects of removing sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*): stability of the barren state and succession of kelp forest recovery in the east Atlantic. *Oecologia*, **105**: 524-536.
- Padilla, D.K. (1985) Structural resistance of algae to herbivores. *Marine Biology*, **90**: 103-109.
- Underwood, A.J. and Jernakoff, P. (1981) Effects of interactions between algae and grazing gastropods on the structure of a low-shore intertidal algal community. *Oecologia*, **48**: 221-233.
- Vasquez, Z.A. and Buschmann, A.H. (1997) Herbivore-kelp interactions in Chilean subtidal communities: a review. *Revista Chilena de Historia Natural*, **70**: 41-52.
- Yoo, J.W., Kim, H.J., Lee, H.J., Lee, C.G., Kim, C.S.,

Hong, J.S., Hong, J.P. and Kim, D.S. (2007) Interaction between invertebrate grazers and seaweeds in the east coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **12**: 125-132.

Yoo, J.W., Son, Y.S., Lee, C.G., Kim, J.S., Han, C.H.,

Kim, C.S., Moon, Y.B., Kim, D.S. and Hong, J.S. (2004) Distribution pattern of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in relation to predation pressure in Hosan, the east coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **9**: 40-49.