

해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성 -
I. 잘피 (*Zostera marina* L.)의 성장에 따른 부착생물의 군집 변화

정 미 희 · 윤 석 현*

국립수산과학원 수산해양종합정보과

Ecological Characteristics of the Epiphytes on Seagrass -
I. Variations of the Epiphytic Community and Biomass Related
to the Host Plant *Zostera marina* (eelgrass)

Mi Hee Chung and Seok-Hyun Youn*

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

Abstract - The relationships among total epiphytes, algal epiphytes and eelgrass (*Zostera marina* L.) were studied at eelgrass meadows from July, 1998 to July, 1999 in Yulim-ri, Yeosu, Korea. Epiphytic diatoms on eelgrass leaves were observed from July to December 1998. From the results of this study, we inferred the following three (3) conclusions : 1) As eelgrass grew older, biomass of epiphytes increased, according to relationships between the leaf length and area of eelgrass and biomass (DW, AFDW and Chl. *a*) of epiphytes. 2) According to the ratio of dry weight, ash-free dry weight and Chlorophyll of epiphytes, the algae with calcareous or siliceous skeletons, such as coralline algae or diatoms, were dominated in the epiphytic algae community. 3) The autotrophic index (AI) calculated from AFDW and Chl. *a* of epiphytes varied from 151 to 375. However, the period of autotrophic community was shorter than heterotrophic community and the value of AI was high. From these results, we inferred that heterotrophic community, including detritus or microorganisms were dominated in the most of research period.

Key words : eelgrass, epiphytes, epiphytic algae, Autotrophic Index (AI)

서 론

해초생태계는 세계 연안역에 가장 일반적인 생태계 중 하나이다. 특히, 초지가 분포하는 연안역은 중요한 어류의 생육장으로서 자리하고 있을 뿐만 아니라 기초생산자로서의 중요한 역할 이외에도 다양한 부착조류의 착생(着生) 장소를 제공하고 파랑을 약화시켜 안정된 환경을 만

들고, 퇴적물의 축적을 돕고, 강한 빛을 막아주며, 또한 많은 동물들의 은신처 역할을 하고 있다(Nybakken 1982).

이 생태계를 구성하는 요소 중 하나인 부착생물의 계절적, 지역적 분포를 결정할 수 있는 요인은 온도, 빛의 양(Hellebust 1970), 영양염류의 이용성(Penhale and Thayer 1980; Smith and Penhale 1980)과 같은 환경요인과의 관계, 그리고 부착생물에 대한 포식(grazing)강도(Orth and van Montfrans 1984), 기질이 되는 해초의 종별 특성(정 등 2010) 등의 생물학적 관계이다.

전 세계적으로 해초생태계 내의 부착생물과 해초와의

*Corresponding author: Seok-Hyun Youn, Tel. 051-720-2233, Fax. 051-720-2266, E-mail. shyoun@nfrdi.go.kr

관계에 대한 연구의 역사는 오래되었으며 (Orth and Montfrans 1984; Bendell 2006; Peterson *et al.* 2007) 현재 까지도 꾸준한 연구가 진행 중에 있을 뿐만 아니라 해초에 부착하는 생물에 대한 연구들을 분석하여 해초와 부착 생물 군집의 상호 작용에 대한 고찰이 진행된 바 있으며 (Michael *et al.* 2008), 국내 논문으로는 유일하게 해초에 부착하는 규조류에 관한 연구를 다룬 Chung and Lee (2008)의 논문이 언급된 바 있다.

국내에서는 Miki (1932, 1933)의 해초의 분류학적 연구를 시작으로 하여, 어류 및 무척추동물과 관련하여 수행된 연구(허와 광 1998; 허와 안 1998)와 부착조류에 대한 생태학적 연구(허 등 1998; Chung and Choi 1999; Chung and Lee 2008; Kwak 2009; 정 등 2010), 그리고 국내에서 처음으로 부착조류의 광합성에 대한 연구(Oh *et al.* 2009)가 있으나, 연안 해초 생태계에서 중요한 일차 생산자로서의 역할을 하고 있는 부착조류와 이를 포함한 부착생물의 성장 및 해초의 관계에 대한 연구는 매우 미진한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 갈피(*Zostera marina* L.)의 성장과 부착생물 및 부착조류의 관계 그리고 부착 생물간의 군집의 변화에 대해 알아보고자 하였다. 이에 따라 건중량, 유기물량, 잎의 넓이 및 길이 등의 측정을 통해 갈피의 성장을 조사하였으며 부착생물은 건중량, 유기물량 그리고 부착조류의 엽록소량(엽록소 *a*, 엽록소 *c*, 카로티노이드), 계수를 통한 부착규조류의 현존량을 측정하였고, 이들의 상관관계를 분석함으로써 기질과 부착생물, 그리고 부착생물 간의 관계를 이해하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 채집시기 및 정점

연구해역은 전라남도 여수시 돌산도에 위치한 울림리로 1998년 7월에서 1999년 7월까지 총 13개월에 걸쳐 연구가 실시되었다. 본 연구지역은 인공 방파제에 의해 외양과 단절되어 있기 때문에 파도의 영향을 적게 받으며, 비교적 파랑의 영향이 적은 곳에 주로 서식하는 갈피(*Zostera marina* L.) 군집이 발달하였다(Fig. 1). 이 해역은 남해안의 특성상 조석간만의 영향을 많이 받으며, 저조시에 갈피는 대기에 노출되어 건조의 영향을 받는다. 갈피가 서식하는 방파제 안쪽의 수심은 최대수심이 약 3.0 m이며 갈피가 서식지 전체에 걸쳐 고르게 분포되어 있지 않고, 국지적으로 군집(patch)을 형성하고 있는 것이 특징이며, 방파제가 연결되지 않은 곳은 미역

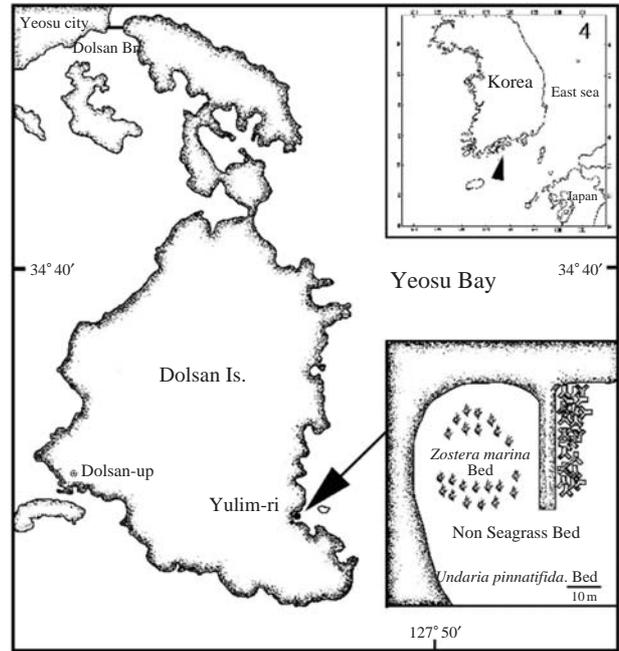


Fig. 1. The map of eelgrass (*Zostera marina* L.) sampling site.

(*Undaria pinnatifida*)이 군집을 형성하고 있었으나, 미역 군집지와 갈피의 군집사이에는 약 10 m의 무초지(無草地)가 존재하여 군집간의 영향은 적었다.

2. 실험방법

갈피의 채집은 매 월 간조시 이루어졌으며, 무작위적으로 약 60개체를 채집하였다. 이 때 저조시 갯벌이 완전히 드러나 건조된 갈피를 채집하지 않기 위해 수심 약 0.1~1.0 m에서 채집하였으며, 퇴적물에 서식하는 생물의 영향을 방지하기 위해 지상 1 cm 윗 부분의 줄기부분을 잘라 채집하였다. 채집한 시료는 실험내용에 따라 10개체씩 지퍼백에 담아 냉장 보관하여 실험실로 운반하였으며, 냉장 보관 상태에서 실험을 실시하였다. 갈피는 자체제작된 도구(정 등 2010)를 이용하여 부착생물을 제거한 뒤 잎의 길이, 면적, 건중량과 유기물량을 측정하였으며 잎의 면적은 아래와 같은 수식으로 계산하였다.

$$\text{잎의면적 (Area)} = \text{잎의너비 (width)} \times \text{잎의길이 (length)} \times 2$$

일차생산을 하는 모든 조류들은 공통적으로 엽록소 *a*를 가지고 있으며, 각 분류군별로 특정 색소를 가지고 있기 때문에 이러한 색소 분석은 미세 조류의 분류군별 상대적 풍부도를 알아보기 위해서도 매우 유용하다. 특히, 카로티노이드 계열의 색소 분석을 통해 규조류와 홍조

류의 풍부도를 측정할 수 있기 때문에 부착조류 색소 분석시 일반적으로 측정해오고 있다 (Pinckney and Micheli 1998).

부착조류의 색소량 분석은 엽록소 *a*와 엽록소 *c* 그리고 카로티노이드 3가지를 측정하였으며 잘피 10개체에 서 제거한 부착조류를 GF/F 여과지에 거른 후 Parsons *et al.* (1984)의 방법을 이용하여 측정하여 잘피 잎의 단위면적 (Leaf Area, LA)당 엽록소의 양으로 환산하였다.

$$\mu\text{g Chl. } a \text{ cm}^{-2} \text{ LA} = \frac{\text{Ca} \times \text{volume of extract (mL)}}{\text{Area of substrate (cm}^2\text{)}}$$

Ca; 측정된 엽록소 *a*의 양 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

잘피 10개체에서 개체별로 제거한 부착생물을 거른 GF/F 여과지와 부착생물이 제거된 잘피 (Epiphytes Free Eelgrass, EpiFE) 10개체를 각각 70°C에서 24시간 건조하여 건중량 (Dry Weight, DW)을 측정하였다. 이 시료를 450°C에서 1시간 태운 후의 양을 무기물량 (Ash Dry Weight, ADW)으로서 측정하고 건중량에서 무기물량을 뺀 값을 유기물량 (Ash Free Dry Weight, AFDW)으로 하였으며 잘피 잎의 단위 면적 (Leaf Area, LA)당 무게로 계산하였다.

이 때 계산되어진 부착생물의 엽록소 *a*와 유기물량을 이용하여 독립영양지수 (Autotrophic Index, AI)를 함께 구하였다 (APHA 1995).

$$\text{독립영양지수 (AI)} = \frac{\text{부착생물유기물량 } (\mu\text{g, AFDW})}{\text{부착조류엽록소량 } (\mu\text{g, Chl. } a)}$$

부착규조류를 위한 채집은 1998년 7월에서 1998년 12월까지 6개월 동안 이루어졌으며, 계수 및 동정은 정등 (2010)에 의한 방법과 동일하게 실시하였으며, 계통분류는 Round *et al.* (1990)이 제안한 체계를 이용하였다.

3. 부착생물과 부착조류의 구분

일반적으로 부착하여 서식하는 부착생물 (seagrass epiphytes)은 부착조류 (epiphytic algae)와 부착성 동물 (epiphytic fauna) 및 기타 부착성 생물 모두 포함한다 (Frankovich and Zieman 1994). 따라서, 연구목적에 따라 부착생물과 부착성 동물 및 부착조류는 구분되어져 사용되어야 할 필요성이 있으며, 본 논문에서는 부착성 동물을 제거하지 않고 측정된 총 건중량과 총 유기물량은 부착생물 (epiphytes)의 현존량으로, 그리고 광합성 색소인 엽록소 *a*를 사용하여 측정된 값은 부착조류 (epiphytic algae)의 현존량이라고 서술하였다. 이러한 기술 방법은 해초의 부착생물 (seagrass epiphytes)을 크게 식물상 (epiphytic

algae or flora)과 동물상 (epiphytic invertebrates, fauna or epifauna) 그리고 박테리아와 유기체설물로 나누어 설명한 Harlin (1980)의 방법과도 일치한다.

4. 통계 분석

잘피, 부착생물, 부착조류 및 규조류의 변화는 One-way ANOVA를 사용하여 분석하였으며, 잘피와 부착생물, 그리고 부착생물간의 상호관계는 Pearson's correlation analysis를 통해 수행하였다. 통계적 분석에 있어서 유의수준은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였으며 통계프로그램은 SPSS 10.0를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 잘피의 형태 변화와 부착생물과의 관계

부착생물을 제거한 뒤 측정된 잘피의 잎의 면적과 길이는 월별 변화양상이 뚜렷하였다. 잎의 면적은 25.4~152.2 cm^2 이었으며 잎의 길이는 27.9~152.2 cm 로 1998년 7월에 최고치를 1998년 10월에 최저치를 나타내었다. 잎의 길이 및 면적은 1998년 7월 이후 감소현상을 보이다가 10월에 최저치를 나타낸 이후 1999년 2월까지 꾸준한 증가추세를 보였다. 이후 1999년 4월까지 2개월 동안 감소현상을 보였으나 1999년 7월까지 다시 증가추세를 보임으로써 일 년 동안 두 번의 증감 형태를 보였다 (Fig. 2). 잎의 길이의 변화는 거제도에서 채집되었던 잘피와는 달리 그 변화 폭이 컸으나 7월에 최대 성장을 했

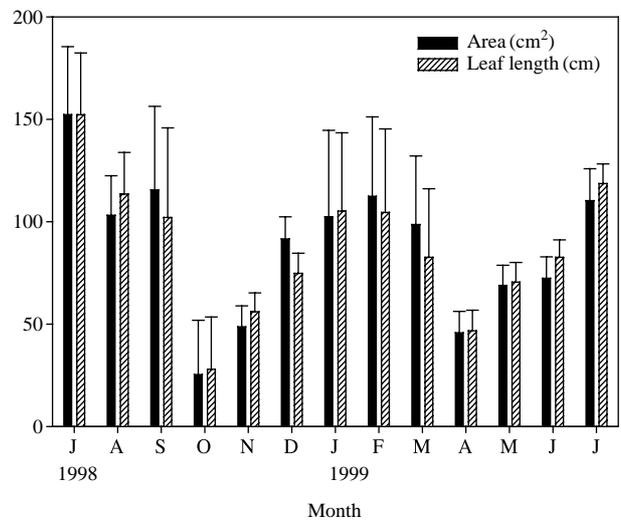


Fig. 2. Seasonal variation of leaf area and length of *Z. marina* from July, 1998 to July, 1999.

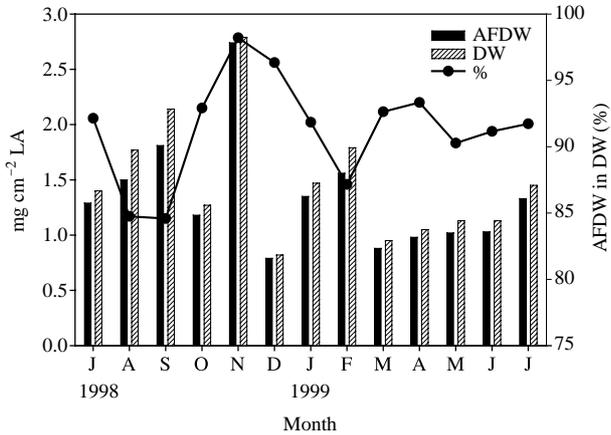


Fig. 3. Seasonal variations of ash free dry weight and dry weight of epiphytes free eelgrass and percentage of ash free dry weight in dry weight from July, 1998 to July, 1999.

다는 점에서는 일치하였다(정 등 2010). 잘피 잎의 건중량은 $0.82 \sim 2.79 \text{ mg cm}^{-2}$ 유기물량은 $0.79 \sim 2.74 \text{ mg cm}^{-2}$ 로 1998년 11월에 최고치를 12월에 최저치를 나타내었으며, 형태변화와는 달리 눈에 띄는 순환을 보이지 않았다. 잘피의 유기물량은 전체 건중량의 80% 이상을 차지하였으며 1998년 11월 97.2%, 1998년 9월 84.6%로 각각 최고치와 최저치를 나타내었다(Fig. 3).

부착생물이 부착하여 살아가는 기질이 되는 잎의 면적 및 길이와 부착생물과의 성장과는 밀접한 상관관계를 보였다. 잘피 잎의 면적과 건중량, 유기물량과의 상관계수는 $0.67 (p < 0.05)$, $0.72 (p < 0.01)$ 였으며 건중량과는 지수적 관계, 유기물량과는 선형적 관계를 나타내었다. 잘피 잎의 길이와 건중량, 유기물량과의 상관계수는 $0.70 (p < 0.01)$, $0.75 (p < 0.01)$ 로서 건중량과는 지수적으로 유기물량과는 선형적으로 나타났다(Fig. 4). 또한, 부착조류의 현존량이라 할 수 있는 엽록소 *a*는 잘피 잎의 면적이 넓어질수록 지수적으로 증가하는 관계($r=0.73, p < 0.01$)를 나타내었다(Fig. 5).

잘피 잎의 면적이 넓어질수록 부착생물 및 부착조류의 현존량이 증가한다는 본 연구의 결과는 잘피의 수명이 길어질수록, 즉 잎의 길이가 길어지고 너비가 넓어져 잎의 총 면적이 커질수록 부착생물의 현존량이 많아짐을 의미한다. 이는 해초 종의 특성에 따라 부착생물의 다양성이 달라질 수 있으며 같은 종일 경우 해초 잎의 수명에 따라 생물의 다양성 및 현존량이 달라질 수 있다는 보고와도 일치한다(Borowitzka and Lethbridge 1989; Trautman and Borowitzka 1999). 그러나, 부착생물의 유기물량과 해초의 유기물량과는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않음으로써 잘피의 외형적 성장이 부착생물의 성장에 주

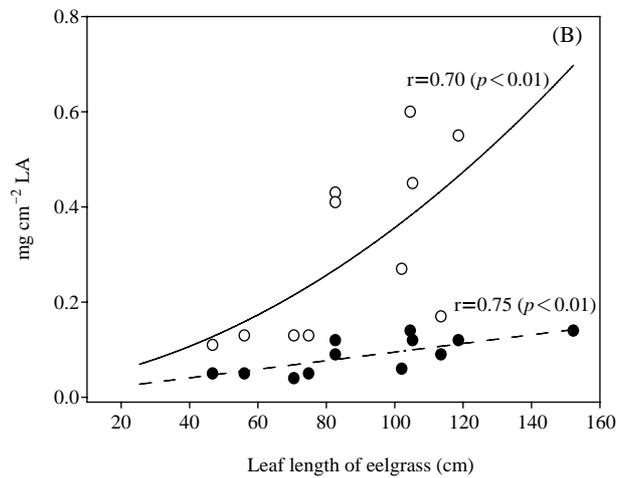
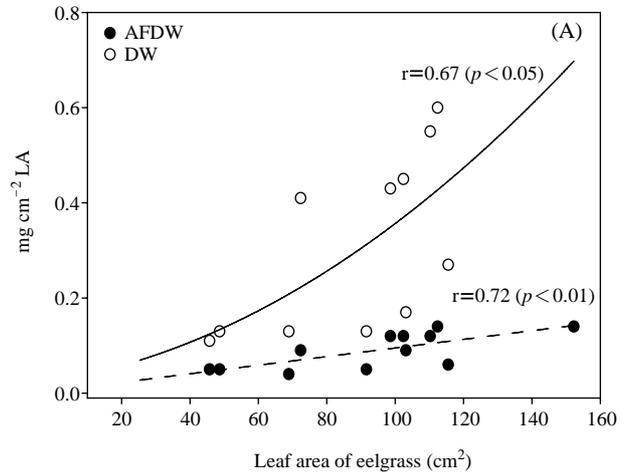


Fig. 4. Relationships between biomass of epiphytes and leaf area (A) and between biomass of epiphytes and leaf length (B) of epiphytes free *Z. marina*.

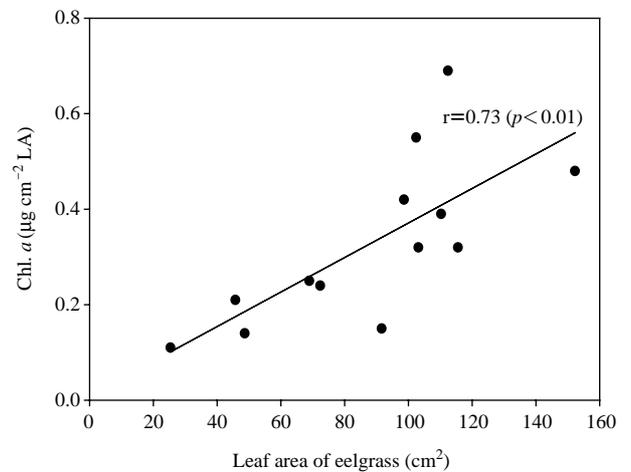


Fig. 5. Relationship between Chl. *a* of epiphytic algae and leaf area of eelgrass.

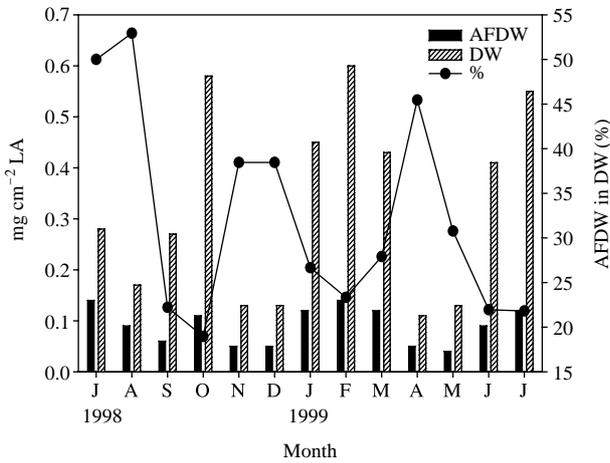


Fig. 6. Seasonal variations of ash free dry weight and dry weight of epiphytes and percentage of ash free dry weight in dry weight in Yulim-ri from July, 1998 to July, 1999.

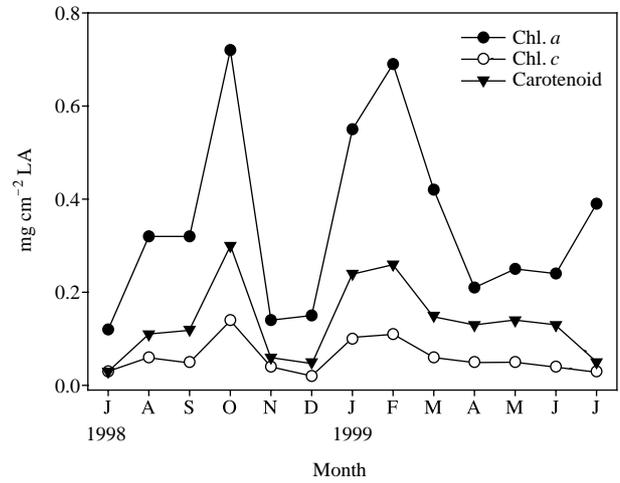


Fig. 7. Seasonal variations of Chl. a, Chl. c and carotenoid of epiphytic algae on seagrass leaf tissues.

된 영향을 끼치고 있는 것으로 나타났다.

2. 부착생물 및 부착조류, 부착규조류 현존량 변화

부착생물의 건중량은 일년에 약 3번의 정점 (peak)을 보이고 있으며 1998년 10월, 1999년 2월과 7월에 높은 값을 나타내었다. 변화량은 0.11~0.60 mgDW cm⁻² LA이었으며 1999년 2월과 4월에 각각 최고치와 최저치를 나타내었다. 유기물량 또한 3번의 순환을 보였으며 그 범위는 0.04~0.14 mgDW cm⁻² LA로 1998년 7월과 1999년 2월에 최고치를 그리고 1999년 4월에 최저치를 나타내었다 (Fig. 6).

엽록소 양으로 측정된 부착조류의 현존량은 1998년 10월과 1999년 2월 연 중 두 번의 순환을 보였다. 엽록소 a는 0.12~0.72 μg cm⁻² LA, 엽록소 c는 0.02~0.14 μg cm⁻² LA, 카로티노이드는 0.03~0.30 μg cm⁻² LA로 1998년 10월과 1998년 7월에 각각 최고치와 최저치를 나타내었다 (Fig. 7). 1998년 10월과 1999년 1월, 2월의 엽록소량이 높게 나타남으로써 1차 생산자의 성장이 컸으며, 특히 엽록소 a, c, 카로티노이드가 가장 높았던 1998년 10월에는 1998년 7월에서 12월까지 계수된 규조류 중 985 × 10⁶ frustules cm⁻² LA로 가장 높은 규조류수를 보임으로써, 이 시기에 규조류의 기여도가 높았을 것으로 사료된다 (Fig. 8).

부착규조류의 현존량은 33 × 10⁶~985 × 10⁶ frustules cm⁻² LA로 12월에 최저치를 10월에 최고치를 나타내었다 (Fig. 6). 이러한 경향은 가을에 최고치를 겨울에 낮은 현존량을 보였던 거제도에서 채집된 *Z. marina* (정 등 2010)에 부착하는 규조류의 현존량의 변화와 유사하였

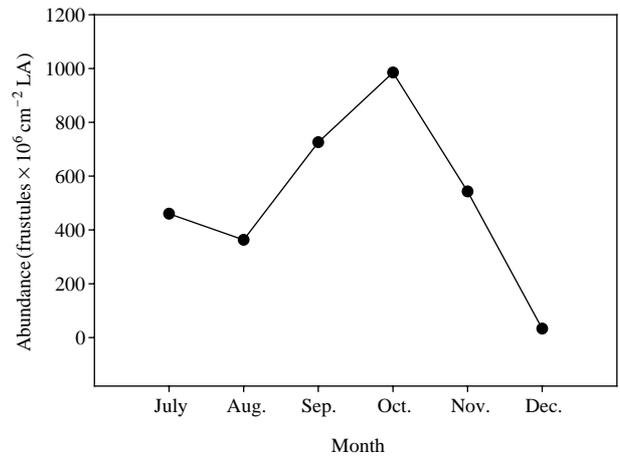


Fig. 8. Abundance of epiphytic diatoms on leaves of *Zostera marina* in Yulim-ri from July to December, 1998.

다. 그러나 2003년 진동만의 잘피에 부착하는 부착규조류의 수는 43,153~14,593 cells m⁻²으로 본 조사보다 매우 적은 양이었으며, 특히, 가을에 높은 세포수를 보였던 본 논문과는 달리 가을에 가장 적은 값을 보였다 (Kwak 2009). 이러한 차이는 본 연구에서는 각 개체의 모든 잎에서 규조류를 모아 전자현미경으로 관찰하여 규조 각을 계수한 반면 Kwak (2009)은 각 개체의 세 번째 잎에서 규조류를 모아 광학현미경으로 세포수를 관찰하는 방법상의 차이 때문으로 생각된다.

동정된 부착 규조의 종수는 총 64종이었으며, 조사기 기별로 부착한 규조종수는 37~53종으로 9월에 최고 종수를 나타내었다 (Table 1). 우점종은 *Tabularia faciculata* (7월), *Tabularia faciculata* (8월), *Berkeleya rutilans* (9월),

Table 1. Epiphytic diatoms on leaf tissues of eelgrass from Yulim-ri, Dolsan Island on the southern coast of Korea

Species	Month					
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Class FRAGILARIOPHYCEAE						
Subclass FRAGILARIOPHYCIDAE						
Order FRAGILARIALES						
Family Fragilariaceae						
<i>Fragilaria hyalina</i> (Kützing) Grnow 1862			+	+		
<i>F. elliptica</i> Schumann 1858			+	+		
<i>Tabularia barbata</i> (Kützing) Williams 1986	+	+	+	+	+	
<i>T. facssciculata</i> (Agardh) Williams 1986	+	+	+	+	+	+
<i>T. parva</i> (Kützing) Williams 1986	+	+	+	+	+	+
Order RHABDONEMATALES						
Family Rhabdomenataceae						
<i>Rhabdonema adriaticum</i> Kützing 1844	+	+	+	+		+
Order STRIATELLALES						
Family Striatellaceae						
<i>Grammatophora marina</i> (Lynbye) Kützing 1844			+	+	+	+
<i>G. oceanica</i> (Ehrenberg) Grunow 1881			+			+
Class BACILLARIOPHYCEAE						
Subclass BACILLARIOPHYCIDAE						
Order MASTOGLOIALES						
Family Mastogloiaceae						
<i>Mastogloia smithii</i> Thwaites 1856	+	+	+	+	+	+
Order CYMBELLALES						
Family Rhoicospheniaceae						
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-bertalot 1980				+		
<i>Gomphonemopsis exigua</i> (Kützing) Medlin 1986	+	+	+	+	+	+
Family Cymbellaceae						
<i>Cymbella brehmii</i> Hustedt 1912			+	+		
<i>C. gracilis</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	+	+	+	+		
<i>C. lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner 1878	+	+	+	+	+	+
<i>C. sp. 1</i>	+					
Order ACHNANTHALES						
Family Achnathaceae						
<i>Achnanthes brevipes</i> Agardh 1824	+	+	+	+	+	+
<i>A. brevipes</i> var. <i>angustata</i> (Grev.) Cleve 1895			+		+	
<i>A. delicatula</i> Agardh 1824			+	+	+	+
<i>A. longipes</i> Agardh 1824			+	+	+	+
<i>A. pusilla</i> Grunow 1880	+	+	+	+	+	
<i>A. taeniata</i> Grunow 1880	+	+	+	+	+	
<i>A. sp. 2</i>				+		
Family Cocconeidaceae						
<i>Cocconeis heteroidea</i> Hantzsch 1863	+	+	+	+	+	+
<i>C. placentula</i> Ehrenberg 1838	+	+	+	+	+	+
<i>C. pseudomarginata</i> Gregory 1855	+	+	+	+	+	+
<i>C. pseudomarginata</i> var. <i>intermedia</i> Grunow 1867	+	+	+	+		
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg 1838	+	+	+	+	+	+
<i>C. scutellum</i> var. <i>posidoniae</i> Stefano 2000	+	+	+	+	+	+
<i>C. stauroneiformis</i> (Ranenhorst) Okuno 1957	+	+	+	+	+	+
<i>C. sp. 1</i>	+					
Order NAVICULALES						
Family Berkeleyaceae						
<i>Berkaleya rutilans</i> (Trent.) Grunow 1868	+	+	+	+	+	+
Family Amphipleuraceae						
<i>Amphipleura pellucida</i> Kützing 1844	+	+	+	+	+	+
Family Diploneidaceae						
<i>Diploneis crabo</i> (Ehrenberg) Ehrenberg ex Cleve 1894	+	+	+	+	+	+
<i>D. ovalis</i> (Hilse) Glevé 1894	+	+	+	+	+	+

Table 1. Continued

Species	Month					
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family Naviculaceae						
<i>Navicula gregaria</i> Dolkin 1861	+	+	+	+	+	+
<i>N. perminuta</i> Grunow in Van Heurck 1880	+	+	+	+	+	+
<i>N. radiosa</i> Kützing 1844	+	+	+	+	+	+
<i>N. sp. 1</i>	+		+			
<i>N. sp. 2</i>	+		+			
<i>Haslea ostrearia</i> Grunow 1868	+	+	+	+	+	
Order THALASSIOPHYSALES						
Family Catenulaceae						
<i>A. ovalis</i> Kützing 1844	+	+	+	+	+	+
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1880	+		+	+		
Order BACILLARIALES						
Family Bacillariaceae						
<i>Bacillaria paxillifer</i> (Müller) Hendey 1951	+	+	+			
<i>Hantzschia spectabilis</i> (Ehrenberg) Hustedt 1959	+		+	+	+	
<i>Nitzschia bifuccata</i> Cleve 1900	+	+	+	+		
<i>N. constricta</i> Grunow 1880	+	+		+	+	+
<i>N. dissipata</i> (Kützing) Grunow 1862	+	+		+		
<i>N. filiformis</i> (Wm. Smith) Van Heurck 1896	+	+	+	+	+	+
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow 1880	+	+	+	+	+	+
<i>N. gracilis</i> Grunow 1884	+	+	+	+	+	+
<i>N. laevissima</i> Grunow in Cleve et Müller 1882				+	+	
<i>N. obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i> Grunow in van Heurck 1881	+	+	+			
<i>N. paleacea</i> Grunow 1884		+	+	+	+	+
<i>N. panduriformis</i> Gregory 1857	+	+	+	+	+	+
<i>N. pussila</i> (Kützing) Grunow 1862	+	+	+	+	+	+
<i>N. fonticola</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881	+	+	+	+	+	+
<i>N. sigmoidea</i> W. Smith 1853	+	+	+	+	+	+
<i>N. sp. 1</i>	+					+
<i>N. sp. 4</i>	+					
<i>Denticula</i> sp.	+	+	+	+	+	+
Order Surirellaneae						
Family Auriculaceae						
<i>Auricula decipiens</i> Grunow 1894	+	+	+	+		+
Class COSCINODISCAOPHYCEAE						
Subclass THALASSIOSIROPHYCIDAE						
Order THALASSIOSIRALES						
Family Skeletonemaceae						
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve 1873		+	+	+		
Family Stephanodiscaceae						
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>marina</i> Tanimura 2004	+					
Subclass COSCINODISCOPHYCIDAE						
Order COSCINODISCALES						
Family Heliopeltaceae						
<i>Actynoptychus heliopelta</i> Grunow in Van Heurck 1883	+					

Table 2. Dominant epiphytic diatom species on leaf tissues of eelgrass from Yulim-ri, Dolsan Island on the southern coast of Korea

	Dominant species (%)		
Jul.	<i>Tabularia fasciculata</i> (22.5)	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (15.3)	<i>Cocconeis placentula</i> (11.2)
Aug.	<i>Tabularia fasciculata</i> (14.5)	<i>Cocconeis placentula</i> (12.7)	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (8.1)
Sep.	<i>Berkeleya rutilans</i> (35.3)	<i>Tabularia fasciculata</i> (9.3)	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (9.3)
Oct.	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (18.7)	<i>Berkeleya rutilans</i> (12.3)	<i>Cocconeis placentula</i> (10.1)
Nov.	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (14.9)	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (12.1)	<i>Berkeleya rutilans</i> (11.0)
Dec.	<i>Navicula perminuta</i> (16.6)	<i>Berkeleya rutilans</i> (11.5)	<i>Gomphonemopsis exigua</i> (8.6)

Gomphonemopsis exigua (10월), *Gomphonemopsis exigua* (11월), *Navicula perminuta* (12월)로 천이되었다 (Table 2). 부착 초기 우점종인 *Cocconeis* 속의 우점이 관찰되지 않은 것과 7월 동정된 종 중 2010년 국내 미기록종으로 보고된 *Cyclotella atomus* var. *marina*가 포함되어 있는 것이 특징이며 (Chung et al. 2010), *Cocconeis pseudomarginata* var. *intermedia*와 *C. scutellum* var. *posidoniae*가 현재 국내 미기록 종으로 국내 기록을 진행 중에 있다 (정 2003).

3. 부착생물간의 관계

부착조류의 현존량인 엽록소 *a*와 부착생물의 총 현존량인 건중량, 유기물량과의 상관관계는 매우 높은 것으로 나타났으며, 상관계수는 각각 0.82 ($p < 0.01$), 0.83 ($p < 0.01$)으로 나타났다 (Fig. 9). 건중량에 대한 유기물량의 기여도와 부착조류의 현존량 그리고 유기물량과의 상관관계를 구한 결과 상관계수가 -0.72 ($p < 0.01$), -0.65 ($p < 0.01$)로 역상관관계가 나타났으나 (Fig. 10) 건중량에 대한 무기물량의 기여도와 부착조류의 엽록소 *a* 및 카로티노이드는 각각 0.65 ($p < 0.01$), 0.68 ($p < 0.01$)로 정상 상관관계를 나타냈다 (Fig. 11).

부착생물의 현존량 (건중량, 유기물량)과 부착조류의 현존량 (엽록소 *a*)의 관계와 건중량에 대한 유기물량의 기여도 및 엽록소 *a*와 유기물량과의 상관관계 그리고, 건중량에 대한 무기물량의 기여도 및 부착조류의 엽록소 *a*와 카로티노이드와의 상관관계 값을 고려할 때, 잘피의 부착생물은 부착동물의 외피와 석회홍조류의 외각을 이루고 있는 탄산칼슘 또는 규산질의 영향을 받고 있는 것으로 예상되어졌다. 일반적으로, 탄산칼슘으로 된 외피를 가지는 부착동물 (예; 고동류, 따개비류)이나 석회홍조류가 번성할 때는 전체 건중량에 기여하는 무기물량이 유기물량보다 많아질 수 있다. 그러나 석회홍조류의 광합성 보조색소인 카로티노이드와 함께 엽록소 *a*의 양과 건중량에 대한 무기물량의 기여도 (%) 간에 높은 상관성을 보임으로써, 부착동물에 의한 것보다는 석회홍조류 또는 규조류와 같이 무기물을 많이 함유한 부착조류가 높은 밀도로 부착하고 있음을 유추할 수 있었다. 이러한 결과는 미세부착조류는 일반적으로 탄산질이나 또는 규산질의 외각을 가진 생물, 즉 석회조류, 유공충, 그리고 규조류가 우점된다는 보고와 유사한 결과를 보였다 (Johansen 1981; Woelkerling 1988).

부착생물의 유기물량 (AFDW)과 부착조류의 현존량 (엽록소 *a*)을 이용한 독립영양 지수 (AD)의 측정값은 1998년 7월 측정된 1,166.67의 매우 높은 값을 제외하고는

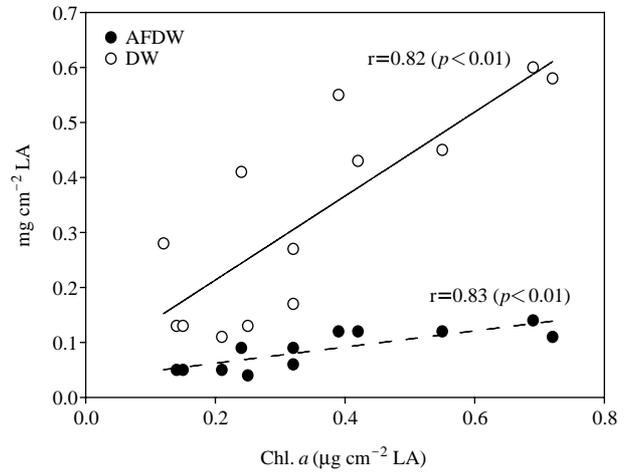


Fig. 9. Relationships between Chl. *a* of epiphytic algae and biomass of epiphytes.

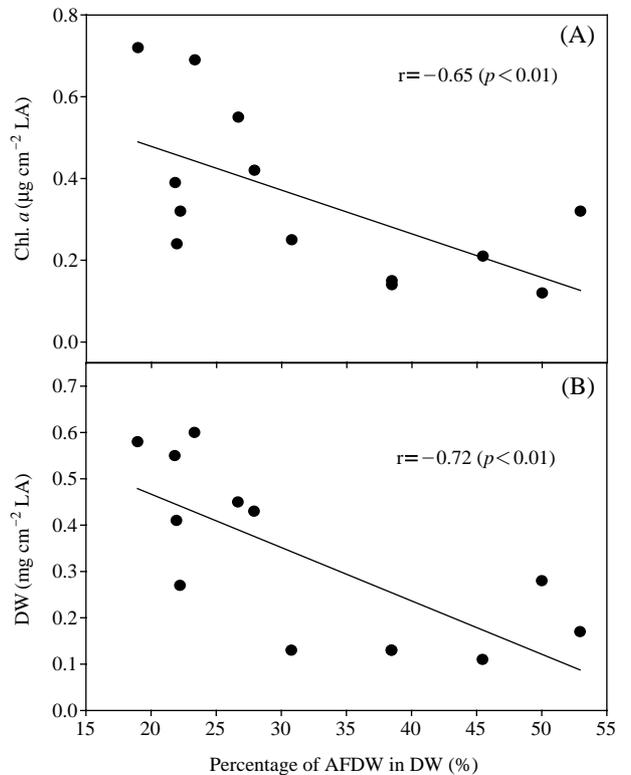


Fig. 10. Relationships between Chl. *a* of epiphytic algae and percentage of ash free dry weight in dry weight (A) and between epiphytes and percentage of ash free dry weight in dry weight (B).

151.99~375.00의 범위였으며 1998년 10월과 1999년 6월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었다 (Fig. 12). 독립영양지수의 개념은 수질을 평가하기 위해 Weber (1973)가 처음 제안하였으며, 현재는 유기물질이 포함된 생물

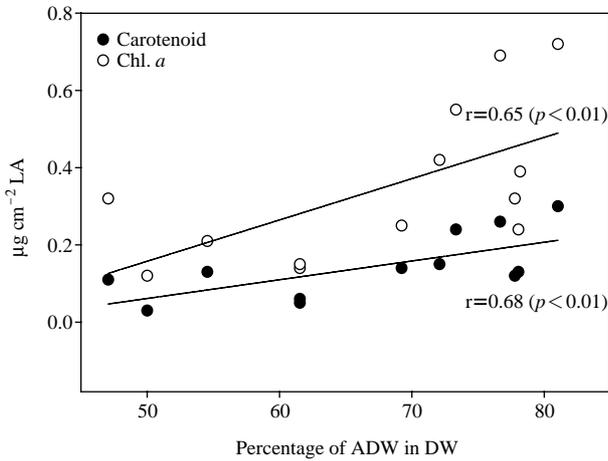


Fig. 11. Relationships between Chl. *a* and carotenoid of epiphytic algae and percentage of ash dry weight in dry weight of epiphytes.

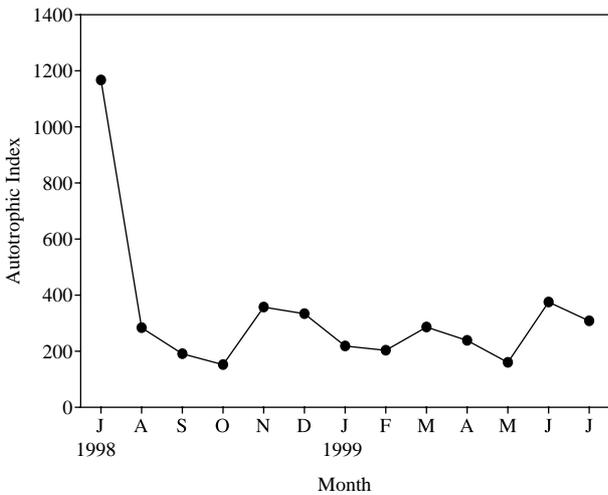


Fig. 12. Seasonal variation of AI of epiphytes in Yulim-ri from July, 1998 to July, 1999.

군집 (조류, 균류, 박테리아) 내에서 일차생산자와 소비자 간의 관계를 규명하는데에 주로 사용되며, 주로 담수의 부착생물에 주로 사용되어지고 있다 (Weber 1973; Boisson and Perrodin 2006; Lei 2006). 일반적으로 독립영양지수 (Autotrophic index, AI)는 부착생물군집에서 영양적 특성을 나타내주는 하나의 지수로서 정상적인 값은 50~200으로 그 이상이 넘으면 중속영양적 특성을 지니고 있는 것으로 정의되고 있다 (APHA 1995). 또한, 킹 조지 섬의 “Matias stream”에서 측정된 AI의 범위는 약 60~60×10³으로서 2개월을 제외하고는 중속영양적인 특성이 나타남으로써 주로 유기물질과 미생물 등의 중속영양생물의 현존량이 독립영양생물보다 많은 것으로 나타났다

(Pizarro and Vinocur 2000). 이러한 기존의 결과와 본 연구의 결과를 비교해 볼 때 해초 부착생물의 군집이 주기적으로 독립영양군집이 나타나기는 하지만 독립영양지수 값이 큰 것으로 나타나 주로 유기물질 또는 미생물군집을 위주로 한 중속영양군집이 우점을 하고 있는 것으로 판단되었다. 해초의 부착생물과 관련하여 AI 지수를 사용한 문헌은 매우 드물었으나, Frankovich and Fourqurean (1997)은 열대성 해초 *Thalassia testudinum*에 부착하는 생물에 대하여 AI를 사용하였는데, 이 때 사용한 지수는 APHA (1995) 및 본 논문에서 사용한 수식의 역수를 사용하였다 ($AI = \frac{\mu\text{g Chl. } a}{\text{mg epiphyte (AFDW)}}$). 이는 부착성 동물에 대한 부착조류의 상대적 기여도를 알아보기 위한 것으로서 0.02~0.68 $\mu\text{g mg}^{-1}$ 의 범위를 보여 주고 있다. 현재 Peterson *et al.* (2007)은 영양염이 많이 투입되었을 때 엽록소 *a*의 양이 늘고 AI의 역수가 증가함을 보고한 바 있으며, 2000년대 초반부터 현재까지 이 지수는 주로 인공적이거나 자연적인 부착기질과 부영양화와 관련된 연구 (예: Azim *et al.* 2001; Pizarro *et al.* 2002; Boisson and Perrodin 2006)에 이용되어지고 있다.

본 논문에서는 건중량 및 유기물질량, 그리고 엽록소 양 등의 현존량을 기준으로 하여 기질인 해초와 부착생물, 그리고 부착조류와 기타 부착생물간의 관계를 알아보고자 하였다. 그러나 이들의 관계는 서식하고 있는 수환경과도 밀접한 관계를 가지고 있으며, 특히 수피의 영양염 및 염분, 온도 등에 의해 부착생물의 현존량은 크게 달라질 수 있다 (Penhale and Thayer 1980; Smith and Penhale 1980). 따라서, 본 연구 결과와 함께 서식해역의 환경요인 변화에 따른 부착생물 군집의 변화에 대한 후속연구는 해초에 부착하는 부착생물 군집 변화에 대한 종합적인 결과를 얻는 기회가 될 것이다.

적 요

본 논문은 잘피의 성장과 부착생물과의 관계, 그리고 부착생물간의 관계를 이해하고자 실시된 연구로서 여수시 돌산읍 울림리에서 1998년 7월에서 1999년 7월까지 총 13개월 동안 실시되었다. 연구 결과를 토대로 다음과 같은 세 가지 결론을 얻을 수 있었다. 1) 잘피 잎의 면적과 부착생물의 현존량과는 정상관관계를 나타냄으로써 부착가능 면적이 넓어지게 되면 부착생물의 현존량이 증가함을 확인할 수 있었다. 이것은 해초의 외적인 성장이 증가할수록 부착생물이 부착할 수 있는 시간적 가능성이 증가할 뿐만 아니라 부착이 가능한 면적이 확대되

는 기회를 제공해 줄 수 있다. 2) 부착생물의 건중량에 대한 무기물량 및 유기물량의 비율과 엽록소 양과의 상관관계를 살펴볼 때, 부착조류의 경우 석회홍조류나 규조류와 같이 무기물의 비율이 높은 조류의 현존량이 녹조류나 갈조류와 같은 조류보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 3) 독립영양지수 (AI, Autotrophic Index)를 통해 살펴본 부착생물의 군집은 약 2개월의 종속영양군집 이후 1개월의 독립영양군집이 나타나는 현상을 보였으나, 독립영양생물을 위주로 한 군집의 유지기간이 짧고 지수의 값이 높은 것을 고려할 때, 유기물질 또는 미생물 등을 위주로 한 종속영양생물의 군집이 우점한다고 유추할 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원의 (하구어장 실효성 평가 및 관리전략개발) 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 정미희. 2003. 해초부착구조의 생태 및 분류학적 연구. 한양대학교 이학박사학위논문. 150pp.
- 정미희, 윤석현, 윤원득. 2010. *Zostera*속 해초에 부착하는 규조류의 부착 특성과 해초 종별 군집 변화. 한국해양학회지-바다. 15:184-191.
- 허성희, 광석남. 1998. 광양만 잘피밭에 서식하는 줄망둑 (*Asentrogobius pflaumii*)의 식성. 한국어류학회지. 10: 24-31.
- 허성희, 광석남, 남기완. 1998. 광양만 잘피와 착생해조류의 계절 변동. 한국수산학회지. 31:56-62.
- 허성희, 안용탁. 1998. 광양만 잘피밭에 서식하는 게류 군집의 계절변동. 한국수산학회지. 31:535-544.
- APHA-AWWA-WPCF. 1995. Standard method of the examination of water and waste water. 19th. Washington, D. C.
- Azim ME, MA Wahab, AA van Dam, MCM Beveridge, A Milstein and MC Verdegem. 2001. Optimization of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implications for periphyton-based aquaculture. Aquaculture Res. 32:749-760.
- Bendell BE. 2006. Interactions amongst invertebrates, epiphytes, and seagrasses in tropical intertidal meadows. Ph. D thesis. James Cook University. 231pp.
- Boisson JC and Y Perrodin. 2006. Effects of road runoff on biomass and metabolic activity of periphyton in experimental streams. Journal of Hazardous Materials. A132:148-154.
- Borowitzka MA and RC Lethbridge. 1989. Seagrass epiphytes. pp. 458-499. In Biology of seagrasses-A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region (Larkum AWD, AJ McComb and SA Shepherd eds.). Elsevier. Netherlands.
- Chung MH and CI Choi. 1999. Epiphytic diatom community on eelgrass (*Zostera marina* L.). J. Natural Science and Technology. Hanyang Univ. 1:145-149.
- Chung MH and KS Lee. 2008. Species composition of the epiphytic diatoms on the leaf tissues of three *Zostera* species distributed on the southern coast of Korea. Algae. 23:75-81.
- Chung MH, WD Youn and JB Lee. 2010. Morphological description of *Cyclotella atomus* var. *marina* (Bacillariophyceae): newly reported in Korean waters. Algae. 25:57-64.
- Frankovich TA and JC Zieman. 1994. Total epiphyte and epiphytic carbonate production on *Thalassia testudinum* across Florida Bay. Bull. Mar. Sci. 54:679-695.
- Frankovich TA and JW Fourqurean. 1997. Seagrass epiphyte loads along a nutrient availability gradient, Florida Bay, USA. Mar. Ecol. Prog. Ser. 159:37-50.
- Harlin MM. 1980. Seagrass epiphytes. pp. 117-151. In Handbook of Seagrass Biology: An Ecosystem Perspective (Phillips RC and CP McRoy eds). STPM press. New York.
- Hellebust JA. 1970. Light; Plants. pp. 125-158. In Marine Ecology (Kinne O. ed.). Wiley-Interscience. New York.
- Johansen HW. 1981. Coralline algae, a first synthesis. CRC press. Boca Raton.
- Kwak SN. 2009. Seasonal variations in species composition and biomass of epiphytic algal community in an eelgrass (*Zostera marina*). Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety. 15:173-177.
- Lei Zheng. 2006. Algae. pp. 1-21. In Concepts and approaches for the bioassessment of non-wadeable streams and rivers (Flotemersch JE, JB Stribling and MJ Paul eds.). EPA. Washington.
- Michael TS, HW Shin, R Hanna and DC Spafford. 2008. A review of epiphyte community development: Surface interactions and settlement on seagrass. J. Environ. Biol. 29:629-638.
- Miki S. 1932. On seagrass new to Japan, Bot. Mar. 46:774-788.
- Miki S. 1933. On the seagrass in Japan. (I) *Zostera* and *Phyllospadix*, with special reference to morphological and ecological characters. Bot. Mar. 47:842-862.
- Nybakken JW. 1982. Marine biology: an ecological approach. Harper & Row Publ. New York.
- Oh MH, DW Kang, TH Kim, YH Moon, BY Moon, IK Chung and CH Lee. 2009. Effects of epiphytic load on the photosynthetic performance of a seagrass, *Zostera marina*, monitored in vivo by chlorophyll fluorescence imaging. J. Plant Biol. 52:171-175.
- Orth RJ and J van Montfrans. 1984. Epiphyte-eelgrass relation-

- ships with an emphasis on the role of micrograzing: A review. *Aquat. Bot.* 18:43-69.
- Parsons TR, M Yoshiaki and CM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford.
- Penhale PA and GW Thayer. 1980. Uptake and transfer of carbon and phosphorus by eelgrass (*Zostera marina* L.) and its epiphytes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 42:113-123.
- Peterson BJ, TA Frakovich and JC Zieman. 2007. Response of seagrass epiphyte loading to field manipulations of fertilization, gastropod grazing and leaf turnover rates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 349:61-72.
- Pinckney JL and F Micheli. 1998. Microalgae on seagrass mimics: Does epiphyte community structure differ from live seagrasses?. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 221:59-70.
- Pizarro H and A Vinocur. 2000. Epilithic biomass in an outflow stream at Potter Peninsula, King George Island, Antarctica. *Polar Biol.* 23:851-857.
- Pizarro H, A Vinocur and G Tell. 2002. Periphyton on artificial substrata from three lakes of different trophic status at Hope Bay (Antarctica). *Polar Biol.* 25:169-179.
- Round FE, RM Crawford and DG Mann. 1990. The diatoms : Biology & morphology of the genera. Cambridge University press. Cambridge.
- Smith WO and PA Penhale. 1980. The heterotrophic uptake of dissolved organic carbon by eelgrass (*Zostera marina* L.) and its epiphytes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 48:233-242.
- Trautman DA and MA Borowitzka. 1999. Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two seagrasses with differing leaf morphology. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 179:215-229.
- Weber CI. 1973. Biological monitoring of the aquatic environment. pp. 46-60. In *Biological methods for the assessment of water quality* (Cairns JJr and KL Dickson eds.). American Society for Testing and Materials. Philadelphia. USA.
- Woelkerling W. 1988. The coralline red algae: an analysis of the genera and subfamilies of nongeniculate Corallinaceae. British Museum (Natural History) and Oxford University press. London.

Manuscript Received: November 8, 2011
Revision Accepted: November 17, 2011
Responsible Editor: Hak Young Lee