

해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성 -  
II. 물리화학적 요인이 잘피 및 부착생물에 미치는 영향

정 미 희\* · 윤 석 현

국립수산과학원 수산해양종합정보과

Ecological Characteristics of the Epiphytes on Seagrass -  
II. Effects of Physico-chemical Factors on Eelgrass (*Zostera marina* L.)  
and Epiphytes

Mi Hee Chung\* and Seok-Hyun Youn

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

**Abstract** - This was the second study on the ecological characteristics of the epiphytes on seagrass leaf. The objective of this study was to understand the variation of epiphytes on seagrass leaf depending on the change of physico-chemical factors such as salinity, nutrients, and etc. This study showed the four results. 1) The eelgrass growth was influenced by water temperature, suggesting the positive correlation between eelgrass growth and water temperature. 2) The epiphytes growth on seagrass leaves did not show the correlation with water temperature, but negatively correlated with salinity. 3) The eelgrass growth decreased when the concentraion of nitrogen increased. 4) However, loads of epiphytes increased when the concentration of total nitrogen (TN), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), and nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) were high. This increase of epiphytes growth could be suggested in the cause-effect pathway of nutrient enrichment leading to seagrasses loss.

**Key words** : seagrass, eelgrass, epiphytes, epiphytic algae, nutrients, cause-effect pathway

서 론

해초생태계 내에서 부착조류 군집은 bottom-up (물리 화학적 요인과의 관계) 영향과 top-down (섭이 및 섭식) 영향에 대한 연구에 매우 이상적인 생태계로 알려져 있으며, 특히 bottom-up 영향은 영양염의 이용과 부착 기질인 해초의 성장에 따른 부착생물의 군집 변화를 의미하기 때문에 해초 생태계를 이해하기 위해 필수적인 연구로 이해되어지고 있다 (Peterson *et al.* 2007).

이처럼 해초 생태계를 구성하는 구성요소 중 하나인 부착조류를 포함하는 부착생물의 계절적, 지역적 분포를 결정할 수 있는 요인은 영양염류의 이용성 (Penhale and Thayer 1980; Smith and Penhale 1980), 그리고 이들에 대한 포식 (grazing) 강도 (Orth and van Montfrans 1984)와 수온, 빛의 양 (Hellebust 1970) 등으로 알려져 있다. 이와 함께, 부착규조류의 군집은 해초의 수명을 결정하는 해초의 길이 또는 너비 등에 의해 영향을 받기도 한다 (정 등 2010).

부착생물에 영향을 미치는 여러 요인 중 하나인 영양염 중 질산염은 부족할 경우 식물플랑크톤을 비롯한 광합성 식물의 성장을 제한하는 요인으로 알려져 있으며 (Bougis 1976), 따라서 질산염이 부착생물에 미치는 영향

\* Corresponding author: Mi Hee Chung, Tel. 051-720-2234, Fax. 051-720-2225, E-mail. aloisia@nfrdi.go.kr

에 대한 많은 연구가 수행되어지고 있다(예, Williams and Ruckelshaus 1993; Coleman and Burkholder 1994, 1995; Cambridge *et al.* 2007; Frankovich *et al.* 2009; Apostolaki *et al.* 2012). 특히, 부착조류는 식물플랑크톤보다 영양염의 양에 더 민감하게 반응하는 것으로 알려진 바 있다(Phillips *et al.* 1978). 하지만, 이들 대부분의 연구는 인공적으로 질산염 공급을 하여 이에 따른 부착생물의 양적 변화에 대한 비교 연구이며, 자연 상태의 수주의 영양염과 부착생물의 관계를 이해하고자 하는 연구는 이미 해외에서는 2000년 이전에 생태 기초 연구로 시행되었던 반면, 국내의 경우 영양염과 부착생물과의 관계에 대한 연구는 드문 실정이다.

따라서 1차 연구에서는 건중량, 유기물량, 잎의 넓이 및 길이 등의 측정을 통해 잘피의 성장과 부착생물의 건중량, 유기물량 그리고 부착조류의 엽록소량(엽록소 a, 엽록소 c, 카로티노이드)을 측정하여 이들의 상관관계를 살펴봄으로써 생물학적 상호작용에 대해 이해하고자 하였다(정과 윤 2011). 2차 연구인 본 연구에서는 자연 상태에서 해초가 서식하는 수주의 이화학적 요인(수온, 염분 및 영양염)이 부착생물 및 부착조류의 성장에 미치는 영향에 대한 이해를 시도하였다.

재료 및 방법

1. 해초 및 부착생물의 채집시기, 채집방법 및 측정방법

연구해역은 전라남도 여수시 돌산읍 울림리로, 1998년 7월에서 1999년 7월까지 총 13개월에 걸쳐 연구가 진행되었으며, 부착규조류 조사를 위한 채집은 1998년 7월에서 1998년 12월까지 6개월 동안 이루어졌다. 이는 해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성 I. 잘피의 성장에 따른 부착생물 군집의 변화(정과 윤 2011)의 시기 및 정점이 동일하다(Fig. 1). 잘피의 채집은 매월 간조시 지상부 약 1cm 상부만을 무작위적으로 60여 개체를 채집하였으며, 각 실험 내용에 따라 10개체씩 따로 지퍼백에 넣어 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 이때 부착규조류 관찰을 위한 잘피는 4% 포르말린으로 고정하여 운반하였다. 잎의 면적은 너비와 길이를 이용하여 계산되었으며 건중량, 유기물량, 엽록소양, 규조류 각의 수 모두 계산된 잎의 면적으로 환산되어졌다(정 등 2010; 정과 윤 2011).

2. 수주의 물리화학적 요인

수온, 염분은 염분계 (YSI MODEL 33, S-C-T METER)

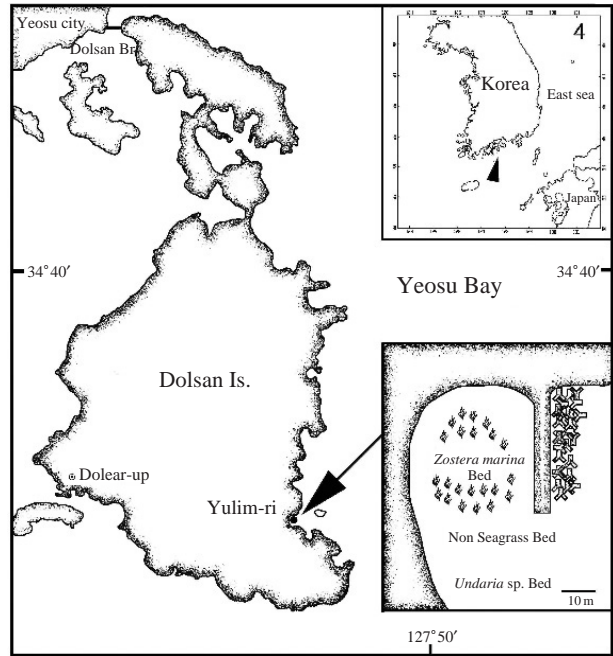


Fig. 1. The map of eelgrass (*Zostera marina* L.) sampling site.

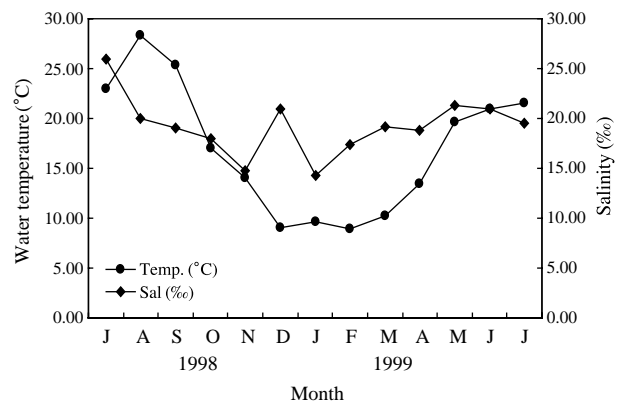


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature and salinity in Yulim from July 1998 to July 1999.

를 이용하여 13개월 동안 현장에서 측정하였다.

용존성 영양염류인 질소 화합물, 인산염 인 그리고 규산염은 각각 채수하여 현장에서 전처리 후 냉동 운반하여 실험실에서 Strickland and Parsons (1972)의 방법에 의해 UV-visible spectrophotometer (Hewlett Packard 8452A)를 이용하여 측정하였다.

3. 부착생물, 부착조류 그리고, 부착규조류의 구분

부착동물은 제거하지 않고 측정한 총 건중량과 총 유기물량을 부착생물의 현존량으로, 광합성 색소인 엽록소

a의 측정값을 부착조류의 현존량이라고 서술하였다(정과 윤 2011). 또한 부착규조류는 정 등(2010)의 방법을 이용하여, 전자현미경으로 각(frustule)을 계수하였다.

## 결 과

### 1. 물리·화학적 요인의 연변화

잡피 서식지의 수온은 8.5~28.3°C로서 겨울철에 낮고 여름에 높은 전형적인 온대해역의 수온을 나타내고

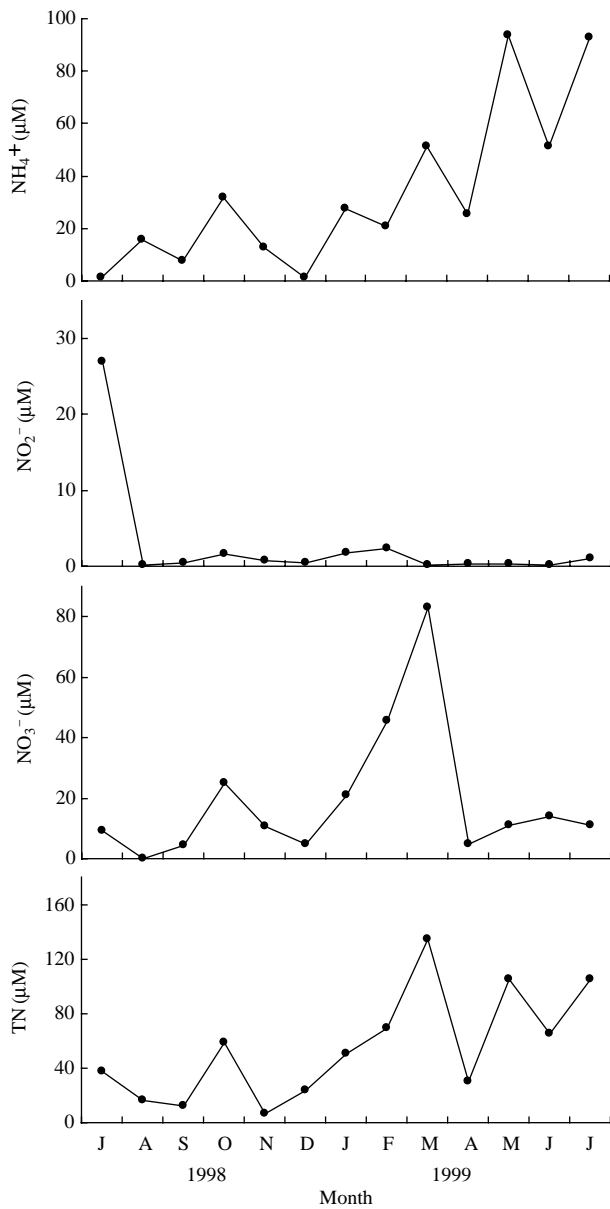


Fig. 3. Seasonal variations of dissolved nitrogen in Yulim, from July 1998 to July 1999.

있었다. 염분은 14.3~26.0로 각 달마다 변화가 심하였는데 1998년 12월을 제외하고는 여름에는 염분이 높고 겨울에는 염분이 낮게 측정되어 여름철 수분의 건조현상은 큰 반면 강우의 영향은 거의 없었던 것으로 나타났다(Fig. 2).

서식지의 암모니아(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)의 양은 매달 증가와 감소가 규칙적으로 반복되는 현상을 나타냈으며 전반적으로 1998년에서 1999년으로 갈수록 증가하는 현상을 보였다. 1.14~93.61 μM로 1998년 7월과 1999년 5월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었다. 아질산염(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)은 26.99 μM로 1998년 최고치를 나타낸 이후 0.09~2.37 μM의 변화량을 나타내었다. 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)은 0.03~83.09 μM로 1998년 8월과 1999년 3월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었으며, 감소와 증가의 폭이 다른 질산화물에 비해 크게 나타났다. 총질산염(Total Nitrogen, TN)은 6.62~134.26 μM로 변화의 폭이 질산염과 마찬가지로 크게 나타났으며 1998년 11월과 1999년 3월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었다(Fig. 3).

인산염(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)은 0.08~3.44 μM로 1998년 7월과 10월

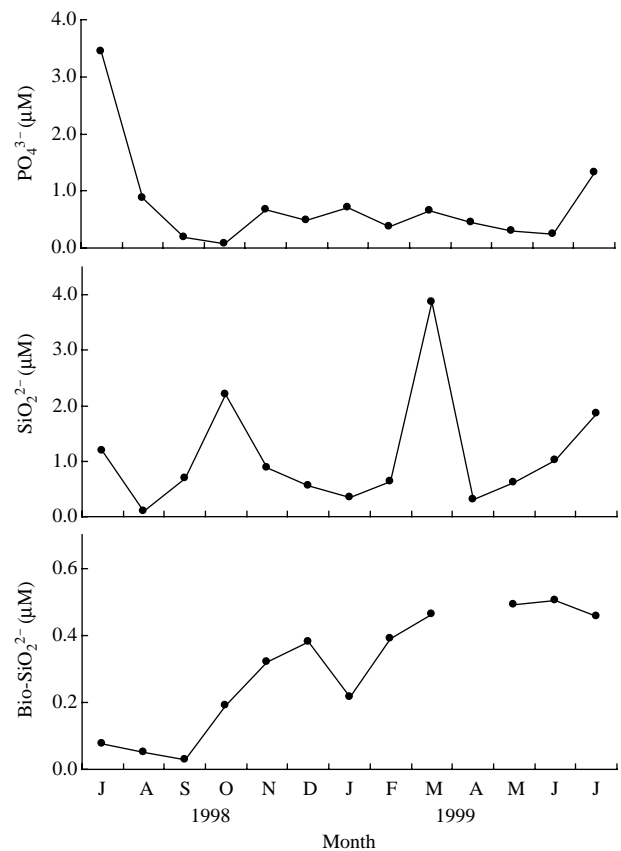


Fig. 4. Seasonal variations of dissolved phosphate, dissolved silicate and biological silicate in Yulim from July 1998 to July 1999.

에 각각 최고치와 최저치를 나타내었다. 주로 여름과 겨울에 높은 값을 나타내고 있으며 봄과 가을에 낮은 값을 나타내었다(Fig. 4).

용존성 규산염 ( $\text{SiO}_2^{2-}$ )은  $0.10 \sim 3.87 \mu\text{M}$ 로 1998년 8월과 1999년 3월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었으며 1999년 3월 이후 급격한 감소를 보였다. 입자성 규산염은  $0.03 \sim 0.50 \mu\text{M}$ 로 1998년 9월과 1999년 6월에 각각 최저치와 최고치를 나타내었으며 전반적으로 용존성 규산염과 반대의 순환을 보이고는 있으나 상관성은 나타나지 않았다(Fig. 4).

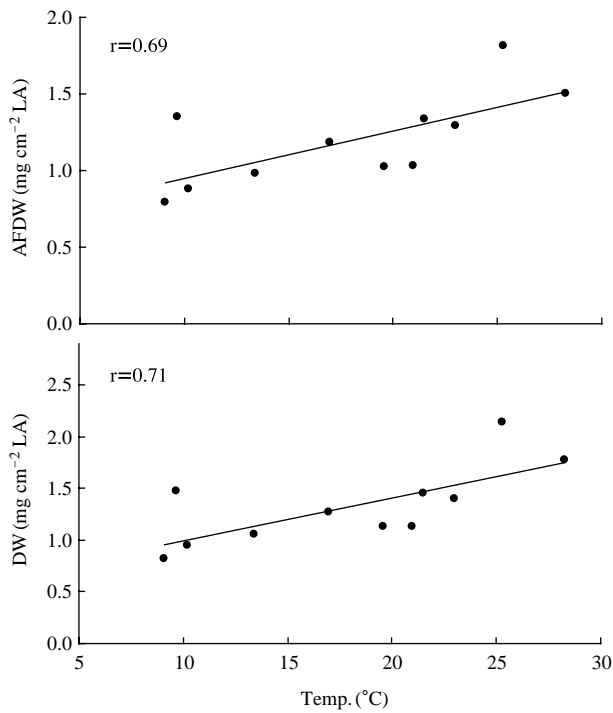


Fig. 5. Relationships between ash free dry weight and dry weight of epiphytes free eelgrass and water temperature.

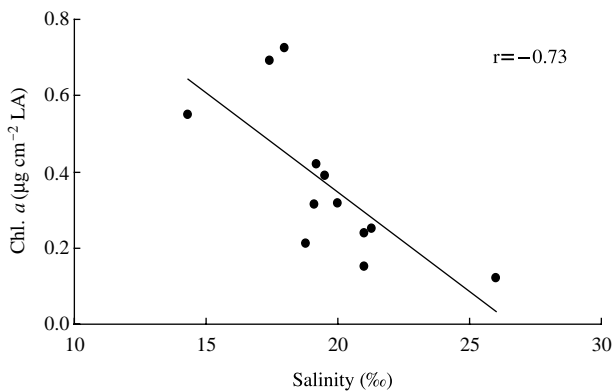


Fig. 6. Relationship between Chl. a of epiphytic algae and salinity.

2. 물리·화학적 요인이 잘피, 부착생물, 부착조류의 성장에 미치는 영향

서식지의 수온과 잘피의 현존량과의 상관관계를 분석한 결과 수온과 유기물량 ( $r=0.69, p<0.05$ ), 그리고 수온과 건중량 ( $r=0.71, p<0.05$ ) 모두가 정상관관계의 특성을 보여 수온이 높을수록 잘피의 현존량이 증가한 것으로 나타났다(Fig. 5). 그러나, 잘피의 현존량과 염분과는 어떠한 유의성도 보이지 않음으로써 잘피의 성장에는 서식지의 염분보다는 수온이 영향이 큰 것으로 나타났다.

부착동물, 부착조류 모두를 포함한 부착생물의 건중

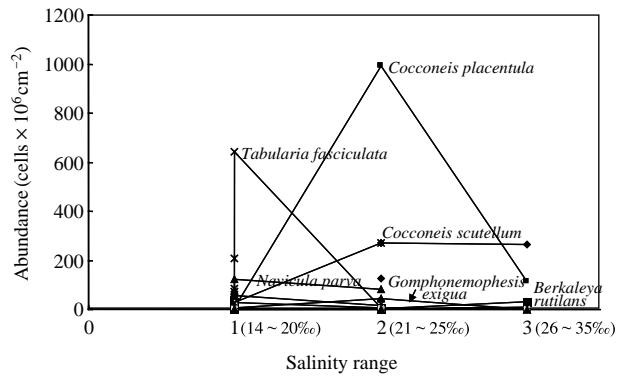


Fig. 7. Variance of epiphytic diatom biomass as salinity range.

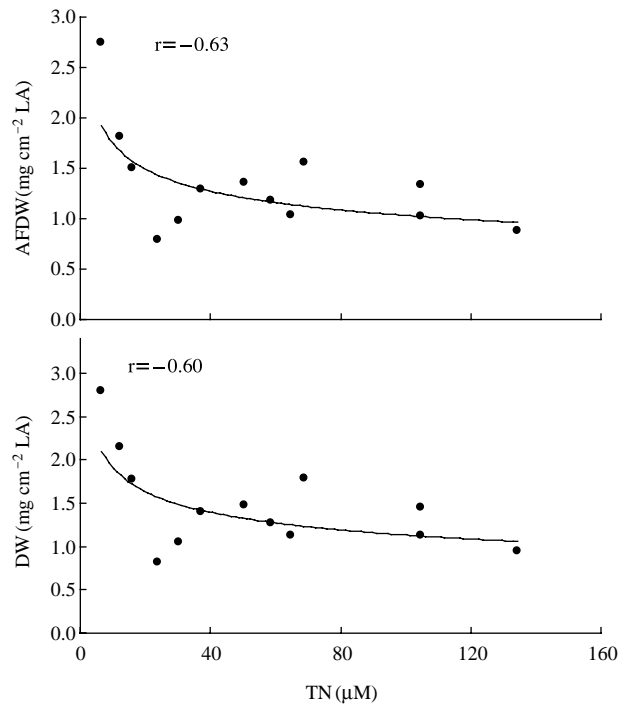
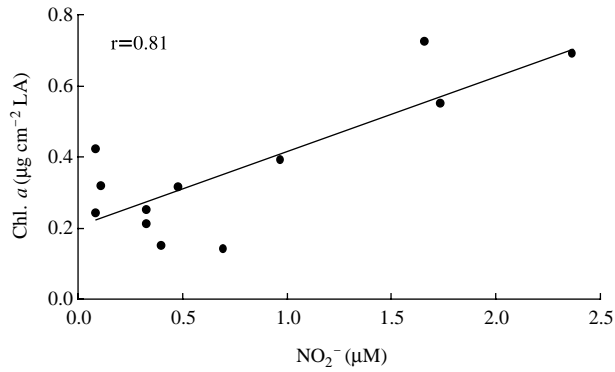
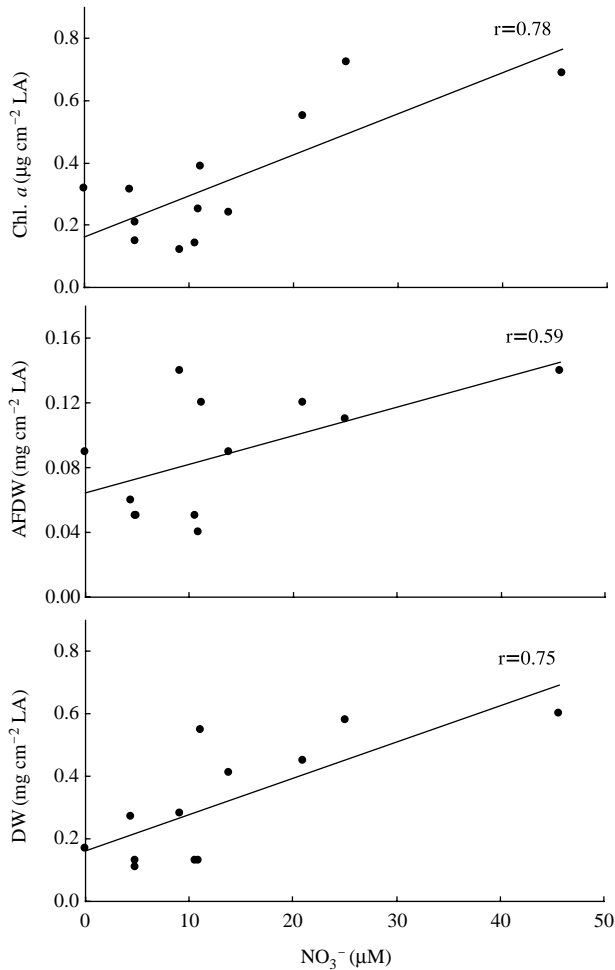


Fig. 8. Relationships between ash free dry weight and dry weight of epiphytes free eelgrass and TN of water column.

량, 유기물량 그리고 엽록소량과 수주의 수온, 염분과의 상관관계를 분석한 결과 유일하게 엽록소량과 염분만이 상관성 있게 나타났으며, 역상관관계 ( $r=-0.73, p<0.01$ )



**Fig. 9.** Relationship Chl. *a* of epiphytic algae and  $\text{NO}_2^-$  of water column.

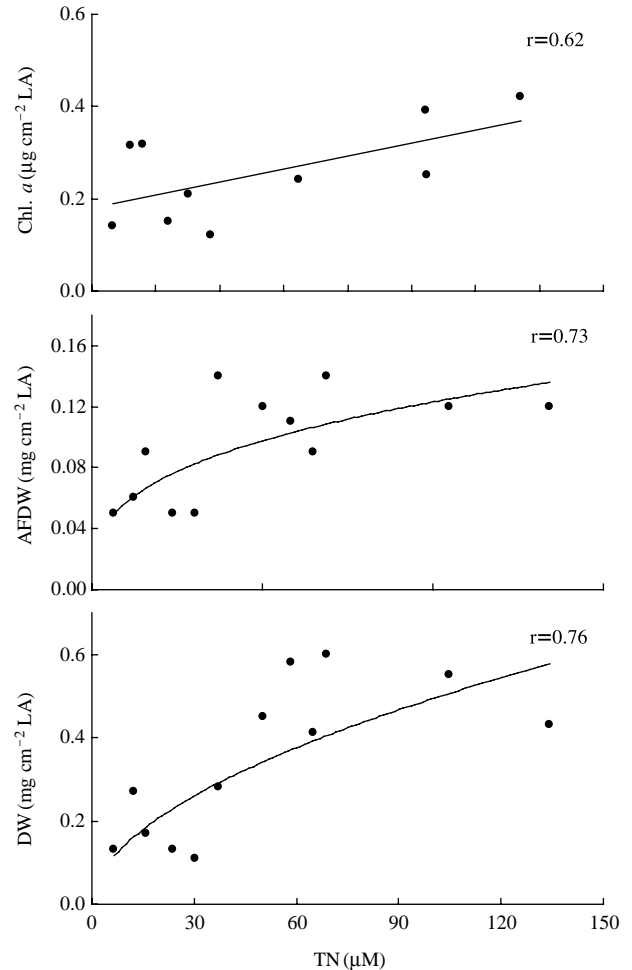


**Fig. 10.** Relationships between standing crop of epiphytes and epiphytic algae and  $\text{NO}_3^-$  of water column.

를 보임으로써 잘피와는 달리 수주의 염분이 부착조류의 성장에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다(Fig. 6).

염분에 따른 규조 종들의 출현양상을 볼 때 *Tabularia fasciculata*는 전 염분 범위에서 출현하긴 하지만, 14~15의 범위일 때 현존량이 크게 나타났다. *Cocconeis placentula*는 21~25의 염분 범위에서 현존량이 크게 나타났으며, *Cocconeis scutellum*은 14~15의 염분범위를 제외하고 나머지 두 범위에서 크게 나타났다. 이 외에 *Gomphonemopsis exigua*는 21~25의 범위에서, *Berkeleya rutilans*는 26~35일 때 현존량이 크게 나타났다(Fig. 7).

수주의 영양염과 잘피의 현존량과의 관계를 파악하기 위한 분석에서 총질산염과 유기물량 ( $r=-0.63, p<0.05$ ), 그리고 총질산염과 건중량 ( $r=-0.60, p<0.05$ ) 모두가 역상관관계를 보임으로서, 총 질산염의 농도가 높아질수록 잘피의 성장이 멈추어서 끝녹음 현상이 진행되는 것으로 나타났다(Fig. 8).



**Fig. 11.** Relationships between standing crop of epiphytic algae and epiphytes and TN of water column.

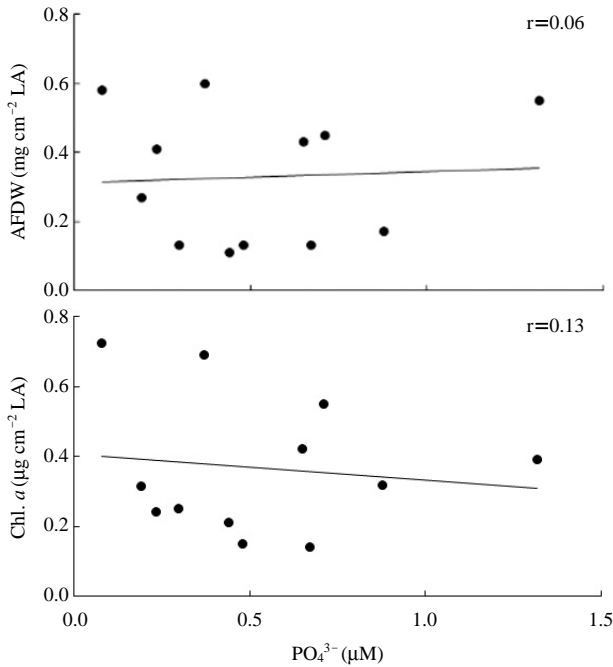


Fig. 12. Relationships between standing crop of epiphytes and epiphytic algae and  $\text{PO}_4^{3-}$  of water column.

영양염과 부착생물 및 부착조류의 현존량과의 관계를 살펴보면, 아질산염과는 부착조류의 엽록소  $a$ 만이 상관성 ( $r=0.81, p<0.01$ )이 있는 것으로 나타났다(Fig. 9). 질산염은 부착조류의 엽록소  $a$  ( $r=0.78, p<0.01$ ), 부착생물의 건중량 ( $r=0.75, p<0.01$ ) 및 유기물량 ( $r=0.59, p<0.05$ )과 양의 상관관계를 보임으로써 질산염이 부착생물의 성장에 중요한 요인임을 알 수 있었다(Fig. 10). 총질산염과는 부착조류의 엽록소  $a$  ( $r=0.62, p<0.05$ ), 그리고 부착생물의 건중량 ( $r=0.76, p<0.01$ ) 및 유기물량 ( $r=0.73, p<0.01$ ) 모두와 상관성이 있는 것으로 나타나 수주의 총질산염이 부착생물의 현존량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 11).

그러나 인산염은 부착생물 ( $r=0.06, p>0.05$ ) 및 부착조류의 현존량 ( $r=0.13, p>0.05$ )과 유의성을 보이지 않으므로써 부착생물의 성장에 질산염 계열의 영양염이 주된 영향 인자인 것으로 나타났다(Fig. 12).

## 고 찰

기존의 많은 연구들은 해초에 부착하는 조류들이 일반 조류들과 마찬가지로 빛의 양, 수온, 영양염의 양 등에 상당한 영향을 받고 있는 것으로 설명하고 있다. 이러한 영향 요인 중 수온에 있어서 허 등(1998)의 연구를 살

펴보면 수온과 부착조류가 음의 상관관계를 나타내고 있었으나, 본 연구에서는 수온이 증가함에 따라 잘피의 현존량은 증가한 반면, 부착생물, 또는 부착조류의 현존량이라 할 수 있는 엽록소  $a$ 와는 어떠한 유의성도 나타나지 않았다. 이러한 이유는 식물플랑크톤과 같은 미세조류는 온대지역에서 겨울철보다 약 5~10월까지 풍부하게 나타나고 미세부착조류인 규조류의 경우 수온이 증가함에 따라 지수적으로 증가하지만(정과 윤 2011), 육안적으로 관찰가능한 대형조류들은 한여름을 전후하여 생장률이 현저하게 감소하는 것으로 볼 때, 잘피에 부착하는 조류를 구성하는 주요 분류군에 따라 수온에 대한 반응이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 미세조류를 섭이하는 부착동물들은 미세조류의 현존량이 많아지는 계절에 그 풍부성이 커지기 시작하며, 따라서, 허 등(1998)의 연구가 서실, 지누아리 등과 같은 상대적으로 대형인 부착조류를 중심으로 이루어져 일반 해조류 군집의 변동과 비슷한 양상을 나타낸 반면, 본 연구는 전체 부착생물 및 부착조류를 연구 재료로 사용하여 부착동물 및 미세 조류의 현존량이 크게 나타남으로써 온도와의 상관성이 나타나지 않는 것으로 생각된다.

연안에 일반적으로 서식하는 대형조류와는 달리, 하구역을 포함한 연안해역에서 염분의 변화는 규조류 군집의 특징을 결정짓는 주요 인자로 알려져 있다(Snoijs 1999). 본 연구에서 나타난 주요 부착규조류를 3가지 염분 범위로 나타냈을 때 *Tabularia fasciculata*는 전 염분 범위에서 출현하긴 하지만, 14~15의 범위일 때 현존량이 크게 나타났다. *Tabularia* sp.는 기수 저서종으로 주로 식물부착성인 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 과거 같은 속으로 여겨졌던 담수에 주로 서식하는 *Syndra* 속과 비슷하게 저염수에 성장을 많이 하는 것으로 알려져 있다(Round et al. 1990). *Cocconeis placentula*, *Cocconeis scutellum*, *Gomphonemopsis exigua*, *Berkeleya rutilans*는 염분 15 이상에서 높은 현존량을 나타내고 있었다. 그러나 염분 26 이상의 범위보다 그 이하에서 더 많은 종수 및 현존량이 나타난 결과는 이 해역에 서식하는 잘피에 부착하는 규조류의 종 조성이 주로 기수종과 해산종이 섞여 있기는 하지만, 염분 25 이하에서 서식이 용이한 종들로 구성되어 있는 것을 보여준다. 이러한 결과는 염분에 따른 엽록소  $a$ 의 분포에도 영향을 미치고 있는데(Fig. 5) 주로 낮은 염분범위에서 서식하는 *Tabularia fasciculata*, *Gomphonemopsis exigua*, *Berkeleya rutilans*, *Cocconeis placentula*가 조사기간 동안 제1우점종 및 제2우점종으로 출현이, 염분과 엽록소  $a$ 의 역상관계 원인 중 하나인 것으로 생각되어진다(정과 윤 2011). 총질산염이 증가할 경우 잘피의 건중량 및 유기물량

은 감소하는 경향을 보인 반면 (Fig. 7) 부착조류의 엽록소 *a*, 그리고 부착생물의 건중량 및 유기물량은 증가하였으나, 부착조류의 값이 최대를 나타낼 때 무기질산염도 최고치를 나타내었다는 결과는 Gacia *et al.* (1999)의 결과와 일치할 뿐만 아니라 해초군집 내에서 해수에 용존되어 있는 영양염의 증가가 해초에 부착하는 부착생물의 양을 증가시키는 결과 (Chetelat *et al.* 1999)와도 일치하였다. 이는 가장 최근 연구결과인 질소 흡수 실험에서 확인된 것과 같이 질소 계열의 영양염이 풍부할 경우 부착조류의 양은 증가하며, 이와 반대로 해초의 성장은 감소한다는 결과를 뒷받침해주고 있다 (Apostolaki *et al.* 2012). 그러나, 수피의 인이 증가할 경우 미세 홍조류는 증가하는 반면 규조류의 현존량은 감소하고, 질소와 인이 함께 증가할 경우에는 감소 경향이 완화되기는 했으나, 규조류의 현존량은 여전히 감소하는 현상을 보였다는 결과 (Frankovich *et al.* 2009)로 볼 때 본 연구에서 엽록소 *a*에 영향을 미친 부착조류는 미세홍조류일 가능성이 큰 것으로 여겨지며 이러한 결과는 여수 울림의 부착생물이 주로 석회홍조류 또는 규조류와 같이 무기물을 많이 함유한 부착조류임인 것으로 분석된 이전의 결과와도 일치한다 (정과 윤 2011). 그러나, 본 연구의 해석은 연안으로 인의 감소가 크게 눈에 띄지 않았으며, 특히 인과 부착생물 및 부착조류의 현존량과의 관계에 유의성이 없는 것으로 나타남으로써 (Fig. 12), 인에 의한 부착조류의 성장보다는 질소가 부착조류 성장에 더 큰 영향을 미쳤을 것으로 예상되어진다.

해초생태계 내에서 부착생물의 성장은 영양염의 증가와 해초의 성장감소의 지표로 작용할 수 있다는 여러 결과 (Lapointe *et al.* 2004; Ralph *et al.* 2006; Apostolaki *et al.* 2012)와 비교해 볼 때 본 연구에서 나타난 질산염과 질피의 현존량 그리고 부착생물의 현존량의 그래프 경향은 영양염의 증가로 인한 부착생물의 증가가 질피의 성장을 방해하는 요인임을 유추할 수 있게 해준다.

이러한 이유는 부착생물의 그늘효과 (shading effect) 때문으로서 잎 표면에 부착생물이 부착함으로써 광합성에 필요한 빛과 잎으로 흡수되는 영양염 등이 줄어드는 것이 원인이라 할 수 있다 (Tomasko and Lapointe 1991; Lepoint *et al.* 2007). 질피의 성장이 멈춰지거나 끝녹음 현상이 일어나는 것이 주변의 영양염을 증가시키는 원인이 될 수 있으며 이러한 현상이 부착생물의 현존량이 많아지게 하는 원인이 될 수 있으나 현재까지 연구된 해외의 여러 연구를 살펴보면 증가된 영양염은 부착생물의 양이 적을 때 질피의 성장을 도와주지만, 이때 부착생물의 현존량이 늘게 되면 이들의 그늘효과가 질피의 성장의 방해요소가 되는 것을 확인할 수 있다 (Williams and

Ruckelshaus 1993; Frankovich and Fourqurean 1997; Cambridge *et al.* 2007; Balata *et al.* 2010). 이러한 결과를 통해 질피 서식지의 영양염 증가는 부착생물의 증가를 또 이러한 증가는 질피의 성장을 멈추게 하는 원인-영향 과정 (cause-effect pathway)을 확인할 수 있었다.

그러나 질피, 부착생물 및 부착조류의 현존량에 영향을 미칠 수 있는 질산염, 아질산염 그리고 총질산염의 최대 및 최저 농도에 대한 이해는 보다 정밀한 배양 실험을 통해 이루어짐으로써 현장 결과를 입증할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 기존의 부착조류의 결과와는 달리 수온과는 큰 상관관계를 나타내지 않았으며, 염분과는 음의 상관관계를 나타낸 부착조류의 현존량 결과로 볼 때, 향후 해초 앞에 서식하는 부착조류의 연구 시, 대형조류 (macroalgae), 미세조류 (microalgae), 기타 부착생물 등으로 나누어 연구하는 방향 설정이 필요할 것으로 여겨진다.

## 적 요

이 연구는 해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성에 대한 두 번째 연구로서 해초가 서식하는 연안 환경의 물리화학적 요인 변화에 따른 부착조류를 포함한 부착생물의 변화양상을 이해하고자 하는데 목적이 있다. 결과를 살펴보면, 1) 질피는 수주의 온도와 정상관관계를 보임으로써 질피의 성장이 온도에 의해 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었으며, 2) 부착생물은 수온과는 상관관계를 보이지 않은 반면 수주의 염분과는 역상관관계를 보였다. 이는 염분 25 이하 범위에서 서식이 용이한 미세규조 종들의 증가로 인한 것으로 보인다. 이는 영양염의 결과와도 일치하였는데, 3) 질피의 성장과 총질산염 (TN)과는 역상관관계를 보임으로써 수주에 총질산염이 낮을 때 질피의 성장이 좋았으며, 4) 부착생물의 현존량과 인산염과는 유의성이 나타나지 않은 반면, 수주의 질산염, 아질산염 그리고 총질산염과는 정상관관계를 나타냄으로써 부착생물의 성장에 질산염 계열의 영양염의 영향이 큰 것으로 나타났다. 영양염과 질피의 성장, 그리고 부착생물의 현존량과의 상관관계 결과들을 종합해 보면 부착생물의 현존량 증가는 영양염의 증가로 인한 것이며, 이는 질피의 성장을 감소시키는 원인-영향 과정과 깊은 관계가 있음을 나타내고 있다.

## 사 사

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

## 참 고 문 헌

- 정미희, 윤석현, 윤원득. 2010. *Zostera*속 해초에 부착하는 규조류의 부착 특성과 해초 종별 군집 변화. 한국해양학회지-바다. 15:184-191.
- 정미희, 윤석현. 2011. 해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성 -I. 잘피 (*Zostera marina* L.)의 성장에 따른 부착생물의 군집변화. 환경생물. 29:362-372.
- 허성희, 광석남, 남기환. 1998. 광양만 잘피와 착생해조류의 계절 변동. 한국수산학회지. 31:56-62.
- Apostolaki ET, S Vizzini and I Karakassis. 2012. Leaf vs. epiphyte nitrogen uptake in a nutrient enriched Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. Aquat. Bot. 96:58-62.
- Balata D, L Piazza, U Nesti, F Bulleri and I Bertocci. 2010. Effects of enhanced loads of nutrients on epiphytes on leaves and rhizomes of *Posidonia oceanica*. J. Sea Res. 63:173-179.
- Bougis P. 1976. Marine plankton ecology. N.H. publishing co. Netherlands. 355pp.
- Cambridge ML, JR How, PS Lavery and MA Vanderklift. 2007. Retrospective analysis of epiphyte assemblages in relation to seagrass loss in a eutrophic coastal embayment. Mar. Ecol. Prog. Ser. 346:97-107.
- Chetelat J, FR Pick, A Morin and PB Hamilton. 1999. Periphyton biomass and community composition in rivers of different nutrient status. Canadian J. Fish. Aquat. Sci. 56:60-69
- Coleman VL and JM Burkholder. 1994. Community structure and productivity of epiphytic microalgae on eelgrass (*Zostera marina* L.) under water-column nitrate enrichment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 179:29-48.
- Coleman VL and JM Burkholder. 1995. Response of microalgal epiphyte communities to nitrate enrichment in an eelgrass (*Zostera marina*) meadow. J. Phycol. 31:36-43.
- Frankovich TA, AR Armitage, AH Wachnicka, EE Gaiser and JW Fourqurean. 2009. Nutrient effects on seagrass epiphyte community structure in Florida Bay. J. Phycol. 45:1010-1020.
- Frankovich TA and JW Fourqurean. 1997. Seagrass epiphyte loads along a nutrient availability gradient, Florida Bay, USA. Mar. Ecol. Prog. Ser. 159:37-50.
- Gacia E, MM Littler and DS Littler. 1999. An experimental test of the capacity of food web interactions (fish-epiphytes-seagrasses) to offset the negative consequences of eutrophication on seagrass communities. Estur. Coast. Shelf Sci. 48: 757-766.
- Hellebust JA. 1970. Light; Plants. pp.125-158. In Marine Ecology (Kinne O eds.). Wiley-Interscience, New York.
- Lapointe BE, PJ Barile and WR Matzie. 2004. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: discrimination of local versus regional nitrogen sources. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 308:23-58.
- Lepoint G, J Jacquemart, JM Bouquegneau, V Demoulin and S Gobert. 2007. Field measurements of inorganic nitrogen uptake by epiflora components of the seagrass *Posidonia oceanica* (Monocotyledons, Posidoniaceae). J. Phycol. 43: 208-218.
- Orth RJ and J van Montfrans. 1984. Epiphyte-eelgrass relationships with an emphasis on the role of micrograzing: A review. Aquat. Bot. 18:43-69.
- 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 Frankovich 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.
- Phillips GL, D Eminson and B Moss. 1978. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. Aquat. Bot. 4:103-126.
- Ralph PJ, DA Tamasko, KA Moore, S Seddon and CMO Macinnis. 2006. Human Impacts on Seagrasses: Eutrophication, Sedimentation and Contamination. pp.567-593. In Seagrasses: Niology, Ecology and Conservation (Larkum AWD, RJ Orth and CM Duarte eds.). Springer, Dordrecht.
- Round FE, RM Crawford and DG Mann. 1990. The diatoms: biology & morphology of the genera. Cambridge University press. Cambridge. 747p.
- 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.
- Snoijs P. 1999. Diatoms and environmental change in brackish waters. pp.298-333. In The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences (Stoermer EF and JP Smol eds.). Cambridge University Press, New York.
- Strickland JDH and TR Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 310p.
- Tomasko DA and BE Lapointe. 1991. Productivity and biomass of *Thalassia testudinum* as related to water column nutrient availability and epiphyte levels: field observations and experimental studies. Mar. Ecol. Prog. Ser. 75:9-17.
- Williams SL and MH Ruckelshaus. 1993. Effects of nitrogen availability and herbivory on eelgrass (*Zostera marina*) and its epiphytes. Ecology 74:904-918.

Received: 10 August 2012

Revised: 9 September 2012

Revision accepted: 12 September 2012