

NOTE

해수에 잠긴 인공기질 표면에 먼저 부착된 박테리아가 규조류의 부착에 미치는 영향

강정훈 · 조병철 · 심재형 · 최중기¹
서울대학교 해양학과 및 해양연구소, ¹인하대학교 해양학과

An Effect of Pre-attached Bacteria on Attachment of Diatoms to Artificial Surfaces Immersed in Seawater

JUNG HOON KANG, BYUNG CHEOL CHO, JAE HYUNG SHIM AND JOONG KI CHOI¹

Department of Oceanography and Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

해수에 잠긴 인공기질 표면에 부착한 박테리아가 규조류의 후속부착에 미치는 영향에 대해 상반된 견해가 있다. 그러나 자연조건의 해수에서 인공기질 표면에 먼저 부착한 해산 박테리아가 규조류의 후속부착에 어떤 영향을 주는지에 대해서는 아직 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 해산 박테리아를 일정 시간별로 미리 부착시킨 여러 재질을 이용하여 실험하였다. 첫번째 실험에서는 유리 슬라이드에 미리 해산 박테리아를 0~133 시간별로 부착시키고 해수에 일정기간 노출시킨 후 규조류의 부착수도를 조사하였다. 규조류의 부착은 먼저 부착된 박테리아의 수도와 관련이 없었으며($p > 0.05$), 무처리 슬라이드에 가장 많은 수의 규조류가, 가장 높은 수도의 박테리아가 부착된 표면에는 가장 적은 수의 규조류가 부착하였다. 두번째 실험에서는 유리와 아크릴 슬라이드를 이용하여 해산 박테리아를 6 일 동안 먼저 부착시킨 것과 한천(agar)을 입힌 슬라이드 그리고 대조구로서 무처리 슬라이드를 해수 중에 함께 노출시켰다. 박테리아가 가장 높은 수도($5.4 \pm 0.02 \times 10^5$ cells cm^{-2})로 부착된 아크릴 슬라이드에서는 무처리 슬라이드보다 적은 수의 규조류가 부착하였으나, 박테리아가 $2.5 \pm 1.0 \times 10^5$ cells cm^{-2} 로 부착된 유리 슬라이드에서는 무처리 슬라이드와 차이가 없었다. 반면 점액질을 모사한 표면에 부착한 규조류의 수도와 이입계수는 다른 표면들에 비해 평균 2 배 이상 높게 나타났다. 따라서 해산 박테리아의 부착이 규조류 후속부착의 선결요건이 아닌 것으로 판단된다.

Controversial observations on the effect of pre-attached bacteria on the attachment of diatoms to artificial surfaces immersed in seawater have been made. Furthermore, it is not known whether or not pre-attached bacteria on artificial surfaces influence attachment of diatoms in natural seawater. In this study, we used various surfaces to which marine bacteria were pre-attached for different incubation periods. In the first experiment, glass slides were initially attached by marine natural bacteria with different exposure time (0—133 hr) and then immersed into seawater for a certain time period. The attachment of diatoms was not affected by the abundance of pre-attached bacteria ($p > 0.05$). The maximum abundance of attached diatoms was found on control surfaces, and the minimum abundance on surfaces where attached bacterial abundance was highest. In the second experiment, glass slides and acryl slides, either attached by marine natural bacteria for 6 days or coated by agar, were immersed in seawater. Untreated slides were also employed. On the surfaces of acryl slides with the most abundant attached bacteria ($5.4 \pm 0.02 \times 10^5$ cells cm^{-2}), abundances of attached diatoms were less than those on untreated slides. On the surfaces of glass slides with bacterial abundance of $2.5 \pm 1.0 \times 10^5$ cells cm^{-2} , however, abundances of attached diatoms were not different from those of untreated slides. On the agar-coated slides, the immigration rate and immigration coefficient were on average > 2 folds compared to other surfaces, indicating high rates of diatom attachment on mucilage simulated surfaces. Therefore, it seems that pre-attachment of bacteria is not prerequisite for the attachment of diatoms on artificial surfaces.

서 론

해수환경 내에 설치된 인공기질 표면에 부착·출현하는 생물 오손군집(biofouling community)의 발달순서는 박테리아 및 규조류—다세포해조류—따개비류, 홍합류 및 다모류—해면류, 말미잘류 및 해초류(ascidian)로 요약된다(Shim and Jung, 1987). 초기에 부착하는 박테리아와 규조류 그리고 이들의 대사산물은 해양동물의 유생과 대형 생물의 부착을 촉진시킨다(Caron and Sieburth, 1981; Meenakumari and Nair, 1994). 그러나 초기단계를 형성하는 1차 생물막(primary biofilm)의 주 구성생물인 박테리아와 규조류의 부착에서 먼저 부착된 박테리아가 규조류의 부착을 촉진시키는지, 아니면 독립적으로 일어나는지에 대해서는 논란이 있다(Hoagland *et al.*, 1993). 인공표면을 해수에 노출시키면 용존유기물(dissolved organic matter)이 즉시 흡착되어 표면성질이 바뀐다는 증거가 제시되어 있고(Baier, 1980; Callow, 1993), 곧이어 나타나는 박테리아의 부착이 규조류의 부착을 유도하는 것으로 언급된 사례가 있다(Mitchell and Kirchman, 1984). 반면 먼저 부착된 박테리아가 규조류의 부착과 무관한 것으로 알려지기도 하였다(Kawamura *et al.*, 1988). 그러나 Kawamura의 실험은 한 균주의 박테리아에 대해 식물플랑크톤 한 종(*Synedra* sp.)만을 대상으로 수행된 결과여서, 실제 현장에서의 타당성 확인이 요구된다.

규조류의 표면 부착기작에서 우상형 규조류(pennate diatoms)의 경우는 점착성 중합체(adhesive polymer)를 분비함으로써 인공기질 표면에 부착하는 것으로 알려져 있다(Ohgai *et al.*, 1984; Cooksey and Cooksey, 1992). 이 점착성 중합체를 가장 중요한 성분은 산성 다당류(acid polysaccharide)이며, 이 성분을 통해 인공기질 표면을 인식하고 부착하게 된다(Wetherbee *et al.*, 1998). 해수에 잠긴 인공기질 표면은 당단백질과 박테리아의 분비물이 흡착됨으로써 규조류가 유체역학적 수단으로 표면에 도달하여 부착하기에 적합한 환경조건으로 변화한다(Baier, 1981). 규조류는 이와 같이 점착성 산성 다당류를 분비하여 인공기질 표면에 부착하는 것으로 알려져 있다(Hoagland *et al.*, 1993). 위와 같은 기작으로 규조류가 인공기질 표면에 부착할 때, 기질 표면의 성질에 따라 규조류의 부착상태가 어떻게 변하는지 규명할 필요가 있다. 본 연구는 해산 박테리아를 상이한 수도로 먼저 부착시킨 인공기질 표면에서 규조류의 표면부착반응을 확인하고, 실제 해양환경에서 여러 종류의 표면들에 대한 규조류의 초기 부착양상을 중 수준에서 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

첫번째 실험은 인공기질 표면에서 먼저 부착된 박테리아가 규조류의 부착에 미치는 영향을 조사하기 위한 것으로, 1996년 5월에 인천항만 내에서 채취한 해수를 실험실 내에서 1.0 μm Nuclepore 여과지로 여과한 후, 일정 시간간격으로 유리 슬라이드(25 mm \times 75 mm)를 넣어 각기 다른 시간 동안 박테리아를 유리 슬라이드에 부착시켰다. 최종적으로 0, 26, 51, 111, 133 시간 동안 박테리아가 부착된 유리 슬라이드를 준비하였다. 이상 5가지의 유리 슬라이드(n=15)를 채수한 곳으로 옮겨 동시에 현

장 해수에 넣어 규조류가 부착하도록 하였다. 47 시간이 지난 후 유리 슬라이드들을 해수로부터 동시에 빼내 3%의 포르말린(formalin)으로 고정된 후, DAPI(4', 6'-Diamidino-2-phenylindole)로 염색하여 표면형광현미경(epifluorescence microscope)으로 규조류를 계수하였다. 단순회귀분석법을 이용하여 먼저 부착된 박테리아의 수도와 규조류 후속부착의 관계를 분석하였다.

두번째 실험은 표면재질에 따른 규조류의 부착양상을 조사하기 위한 것으로, 무처리 표면과 박테리아를 먼저 부착시킨 표면, 그리고 한천(agar)으로 처리한 표면의 세 가지 상이한 표면을 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드 각각에 조성하여 총 6 종류(n=18)의 표면재질을 만들었다. 박테리아가 규조류의 부착에 미치는 영향을 재확인하기 위해, 1.0 μm 여과지로 여과된 해수에 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드를 동일하게 6 일간 노출시켜, 첫번째 실험에서 보다 많은 수의 박테리아가 부착되도록 하였다. 또한 규조류의 부착은 다른 형태의 표면보다 규조류가 분비한 점액질이 형성된 표면에 더 활발하게 나타날 것이라는 가정하에 Stevenson(1983)의 방법에 따라 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드 표면에 한천을 붓으로 얇게 칠하여 규조류의 점액질을 모사하였다. 인천항만에서 가까운 곳에 위치한 해양경찰부두에서 해수 200 l를 채수하여 아크릴 수조에 채우고, 중수준에서의 표면에 대한 부착경향을 조사하였다. 채수시의 자연 현존량보다 많은 양의 규조류를 분포시키고자 채수장소에서 부착능력이 있는 *Pseudo-nitzschia* 속의 연쇄상 군체의 규조류를 대상으로 하여 망목크기가 20 μm 인 네트로 여러 번 채집하였다. 이를 아크릴 수조에 부어 골고루 섞은 뒤, 다양하게 처리한 기질표면들을 자연광 하에서 24 시간 동안 노출시켰다. 24 시간이 경과한 뒤, 4%의 포르말린으로 20 분간 고정하여 실험실에서 검경한 뒤, 하루 동안 부착한 세포수(cells $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$)로 환산하여 이입률을 구하였다(Stevenson, 1983). 규조류의 이입능력을 알려 주는 이입계수(immigration coefficient)는 이입률과 주변수에 출현한 규조류의 수도[(cells $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) \cdot (cells ml^{-1}) $^{-1}$]로 구하였고 이를 통해 규조류의 부착능력을 확인하였다.

결 과

첫번째 실험에서 준비한 유리 슬라이드에 부착한 박테리아의 개체수는 0~ 4.3×10^5 cells cm^{-2} 이었다(Fig. 1A). 5 종류의 상이한 수도의 박테리아가 부착된 유리 슬라이드를 현장 해수에 47 시간 동안 노출시킨 결과 부착 규조류의 수는 평균 20~310 cells cm^{-2} 이었다(Fig. 1B). 먼저 부착시킨 박테리아의 수도와 후속 부착한 규조류의 수도를 단순회귀분석한 결과, 유의성 있는 관계는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 박테리아를 부착시키지 않은 유리 슬라이드에는 규조류가 평균 312 ± 276 cells cm^{-2} 로 가장 많이 부착하였고, 가장 많은 박테리아(4.3×10^5 cells cm^{-2})가 부착된 표면에서는 규조류가 평균 21 ± 36 cells cm^{-2} 로 가장 적게 부착하였다(Fig. 1B). 한편 51 시간과 111 시간 동안 박테리아를 먼저 부착시킨 표면에 부착한 규조류 수도는 미처리 표면에서의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 박테리아가 먼저 부착되어 있어도 규조류의 부착은 증가되지 않았으며, 어떤 경우에는 오히려 감소되었다.

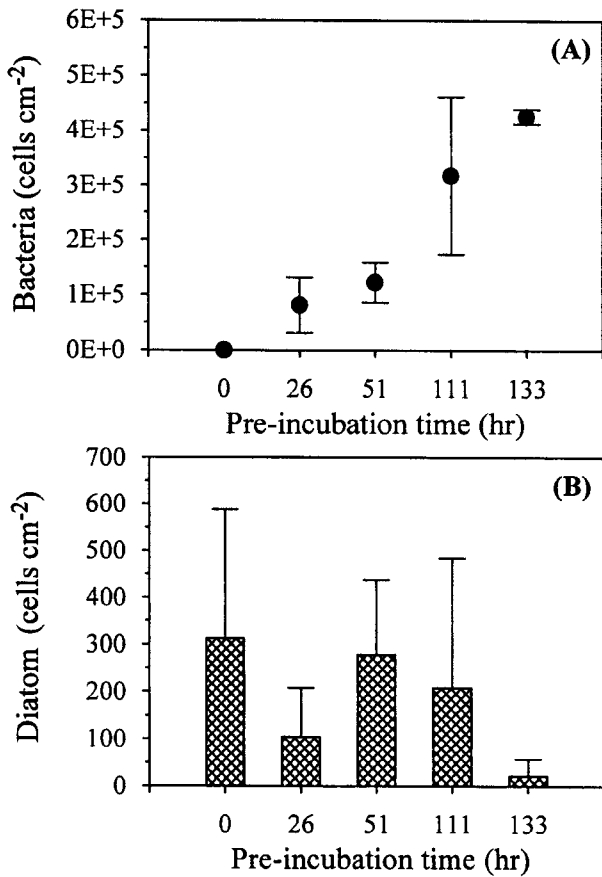


Fig. 1. Effects of bacterial colonization on attachment of diatoms to glass slides. (A) Attachment of marine bacteria to glass slides immersed in 1.0 μm filtrate of seawater. (B) Attached diatoms on each bacteria-colonized surface for 47 hr exposure. Bars indicate the range of standard deviation (n=3).

두번째 실험에서는 6 일 동안 박테리아를 먼저 부착시켰으며, 그 수도는 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드에서 각각 평균 $2.5 \pm 1.0 \times 10^5$ 와 $5.4 \pm 0.02 \times 10^5$ cells cm⁻²로 나타났다. 박테리아가 아크릴 슬라이드에 더 많은 수도로 부착한 것은 Choi et al.(1996)의 결과와 일치한다. 인천항만 인근에서 채취한 해수 200 l를 아크릴 수조에 담아 자연광 하에서 하루 동안 노출시켰다. 그 결과, 대조구 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드에 부착한 규조류 수도는 각각 평균 $5,680 \pm 309$ 와 $6,058 \pm 672$ cells cm⁻² d⁻¹, 박테리아를 6 일 동안 먼저 부착시킨 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드에서는 각각 평균 $5,196 \pm 635$ 와 $2,635 \pm 307$ cells.cm⁻² d⁻¹, 한천으로 표면 처리한 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드에서는 각각 평균 $13,470 \pm 1487$ 과 $15,009 \pm 1027$ cells cm⁻² d⁻¹의 값을 나타냈다(Fig. 2). 위의 결과에서도 첫번째 실험과 같이 박테리아가 먼저 부착된 슬라이드에서 규조류의 부착 수도가 대조구에 비하여 유사하거나 오히려 낮게 나타났다. 아크릴 수조 내의 총 수도는 네트로 여러 번 채집하여 수조에 첨가한 결과 22,390 cells ml⁻¹로 나타났으며, 우점종으로 나타난 *Pseudo-nitzschia pungens*의 수도는 22,280 cells ml⁻¹로 99.5%를 차지하였다. 이외에 *Cylindrotheca closterium*과 *Amphora* sp.가 각각 80 cells ml⁻¹, 30 cells ml⁻¹로 나타나 0.4%와 0.1%를 차지하였다.

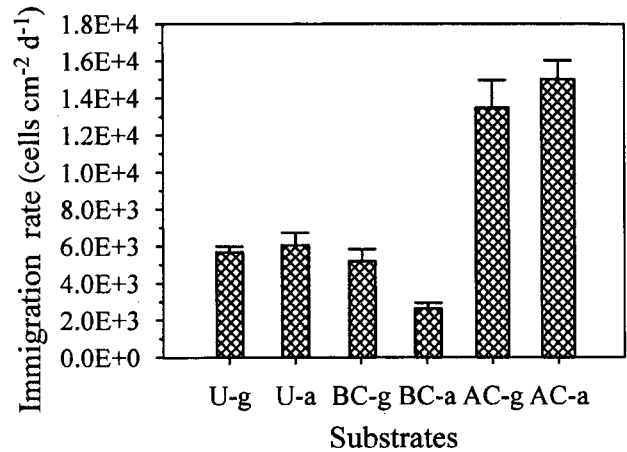


Fig. 2. Immigration rates of diatoms attached to various surfaces. U-g=untreated glass slide, U-a=untreated acryl slide, BC-g=bacteria-coated glass slide, BC-a=bacteria-coated acryl slide, AC-g=agar-coated glass slide, AC-a=agar-coated acryl slide. Bars indicate the range of standard deviation (n=3).

부착능력을 의미하는 이입계수(immigration coefficient)를 보면, 모든 형태의 표면에서 97% 이상의 부착점유율을 나타낸 *P. pungens*의 경우, 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드의 무처리 표면에서 각각 평균 0.25, 0.27로, 박테리아를 먼저 부착시킨 표면에서는 0.23, 0.12 그리고 한천으로 처리된 표면에서는 0.56, 0.68로 나타났다(Fig. 3A). 부착 점유율 3% 이하를 유지한 *C. closterium*은 유리 슬라이드와 아크릴 슬라이드의 무처리 표면에서는 각각 평균 0.56, 2.48, 박테리아를 먼저 부착시킨 표면에서는 0.24, 0.88의 값을 나타냈다(Fig. 3B).

토 의

Mitchell and Kirchman(1984)의 자료에 따르면, 해양 박테리아가 개척종(pioneering species)으로서 먼저 표면에 부착한 뒤 다당류(polysaccharides)를 분비하여 새롭게 조성된 환경을 규조류가 양성적으로 화학감지(positive chemoreception) 하여 규조류의 특이 단백질과 박테리아가 내놓은 다당류와 결합함으로써 규조류의 부착이 일어난다. 따라서 박테리아가 먼저 부착하여 수적으로 증가하게 되면 규조류 부착도 이에 따라 증가할 것이라고 예상 할 수 있다. 본 연구에서는 표면에 먼저 부착된 박테리아의 수도 차이에 따른 규조류의 부착증가 경향은 관찰되지 않았으며(p>0.05), 부착 규조류의 수도가 오히려 감소한 경우도 있었다. 따라서 Mitchell and Kirchman(1984)에 의한 제안과 달리, 본 연구는 규조류의 부착이 먼저 부착된 박테리아와 무관함을 지시한다. 즉, 이 결과는 박테리아가 먼저 부착하여 형성한 표면환경을 규조류가 인식하여 후속적으로 부착하는 것이 아님을 지시하고 있다.

해양수생환경에서 박테리아가 먼저 부착하는 이유는 해수 내에 존재하는 박테리아 수도($\approx 10^6$ bacteria ml⁻¹)가 일반적으로 규조류의 수도($\approx 10^3$ diatoms ml⁻¹)보다 많다는 사실과 관련이 있어 보인다(Cuba and Blake, 1983). 실제로 동일한 수역에서 분철에 얻어진 박테리아의 부착속도(18,000 cells cm⁻² d⁻¹)(Choi

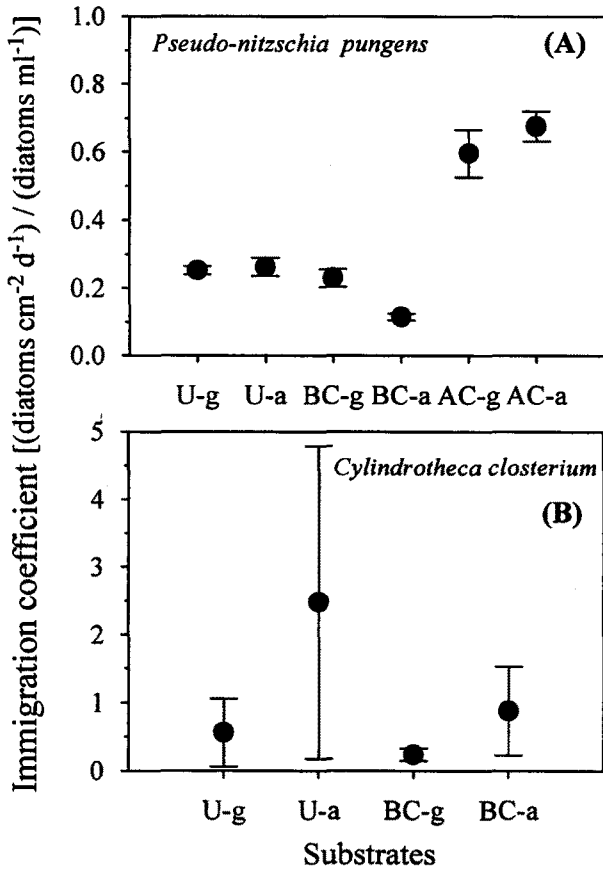


Fig. 3. Immigration coefficients of diatoms attached to various surfaces. *Pseudo-nitzschia pungens* and *Cylindrotheca closterium* comprised > 97% and < 3% of the abundance of attached diatoms, respectively, in all kinds of test slides. Abbreviations are same as in Fig. 2. Bars indicate the range of standard deviation (n=3).

et al., 1996)는 규조류의 부착속도($575 \text{ cells cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (심 등, 1998)에 비해 약 31 배 빨랐다. 따라서 해양수생환경 내의 인공 기질 표면에서 박테리아가 부착한 뒤 규조류의 부착이 관찰되는 것(Hudon and Bourget, 1981)은 박테리아가 규조류에 비해 빠른 속도로 부착하여 수도가 증가함으로써 외관상 순차적인 형태를 띄기 때문으로 보여진다.

본 연구결과 중 주목할 점은 먼저 부착된 박테리아가 가장 많은 수도를 보인 133 시간에 가장 적은 수의 규조류가 부착된 것과, 대조구에서 가장 많은 수의 규조류가 부착되었다는 사실이다. 또한 두번째 실험결과에서도 유리 슬라이드에 비해 먼저 부착된 박테리아 수도가 2 배 많은 아크릴 슬라이드에 부착한 규조류 수도가 유리슬라이드에 비해 2 배 적게 나타났다. 이는 박테리아의 부착 수도가 일정수준(예: $4.3 \times 10^5 \text{ bacteria cm}^{-2}$) 이상 일 경우에 오히려 규조류의 부착을 저해함을 나타내고 있는 것으로 여겨지며, 이에 대한 계속적인 연구가 요구된다. 한편, 먼저 부착된 박테리아의 균주에 따라 규조류의 부착이 서로 다르게 나타난 결과가 제시되었다(Venugopalan et al., 1994). 7 종류의 박테리아 균주(strain) 중에서 네 종류의 균주가 각각 먼저 부착된 표면에서는 부착 규조류의 수가 대조구와 유사하였고, 다른 두 종류의 균주에서는 대조구보다 적게 부착하였으며, 나머

지 한 균주에서만 대조구보다 2 배 이상 많이 부착하였음이 보고되었다. 즉, 규조류의 부착을 증가시키는 균주가 많이 부착하거나, 그와 같은 여건이 조성되면 박테리아의 부착이 규조류 부착을 증가시키는 경향이 나타날 가능성이 있는 것으로 보여진다.

두번째 실험은 첫번째 실험에서 부착규조류의 수도가 낮은 값으로 나타나, 주변수의 종 급원(species pool)을 증가시켜 경향을 보고자 하였는데, 박테리아를 먼저 부착시킨 두 가지 표면과 무처리 표면을 비교시, 부착규조류의 수도는 서로 유사하거나 무처리 표면에서 더 크게 나타나 첫번째 실험과 유사한 결과를 보였다. 한편 한천으로 처리된 표면에서 보인 이입 및 이입계수가 다른 처리를 한 유리 와 아크릴 슬라이드보다 2 배 이상 높게 나타났다. Cooksey and Cooksey(1995)에 따르면, 규조류의 표면 부착은 수동적 과정(passive process)이 아닌 능동적 과정(active process)이라고 하였다. 규조류가 표면 인식을 능동적으로 하는 능력이 있다면, 최초 표면을 인식하여 부착이 일어나기까지의 과정은 무처리 표면과 박테리아가 형성한 표면환경보다도 규조류가 점액질을 분비하여 조성된 표면에서 보다 빠르게 나타날 것이라고 추정할 수 있다. 즉, 다른 표면보다 점액질로 조성된 표면에서 능동적인 부착이 보다 활발하게 나타날 것이라는 점이다. 본 연구결과에 따르면 무처리 표면과 박테리아 부착표면보다도 한천으로 처리된 표면에 부착한 수도가 높게 나타났으며, 이는 규조류가 표면에 부착할 때 능동적인 형태로 표면을 인식한다는 주장과 일관성이 있다. 두번째 실험에서 능동적인 부착 경향을 주도한 것으로 판단된 종은 6 가지의 표면에서 모든 경우에 97% 이상의 부착 점유율을 나타낸 *Pseudo-nitzschia pungens*로, 종 수준에서의 이입계수를 보면 *P. pungens*는 표면성질의 차이에 따른 부착의 특성을 분명히 나타냈다. 즉 *P. pungens*는 한천으로 처리된 표면에 강한 선호도를 나타냈고, 아크릴 슬라이드의 경우 박테리아가 먼저 부착된 표면에서 무처리표면에 비해 낮은 선호도를 보인 것으로 나타났다. 3% 이내의 부착 점유율을 나타낸 *C. closterium*은 이입계수로 판단시 표면성질 차이에 따른 부착특성은 뚜렷하지 않았다. Stevenson (1983)에 따르면, 규조류의 종에 따라 한천으로 처리된 슬라이드와 무처리 슬라이드 중 한천으로 처리된 표면에 상대적으로 높은 수도로 부착한 규조류와 무처리 표면에 높은 수도로 부착한 규조류, 때로는 두 가지 표면에 유사한 수도로 부착한 규조류가 있었으며, 따라서 종조성에 따라 표면 부착특성이 다름을 언급하였다. 현재까지의 연구결과는 제한적이지만, 규조류의 능동적 인식에 의한 부착 가능성을 지지하고 있다. 따라서 이러한 규조류의 능력이 다양한 부착규조류 종들에서도 일반적으로 나타나는가를 규명할 필요가 있다.

요약하면, 연구기간 중 경기만에 출현한 박테리아의 경우 인공기질표면에서 규조류의 부착을 유도하는 경향은 나타나지 않았으며, 오히려 먼저 부착된 박테리아의 수가 가장 많았던 표면이 가장 낮은 규조류의 부착수도를 나타내어 규조류 부착의 저해를 나타냈다. 또한 규조류는 무처리 표면과 박테리아가 부착하여 형성한 표면환경보다 규조류의 점액질(mucilages)을 모사한 기질표면(mucopolysaccharide)을 더 잘 인식하여 부착하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 초기 생물막에서 박테리아에

의해 형성된 점액질이 규조류 부착에는 부적절함을 지시하고 있으며, 앞으로 점액질의 조성과 부착과의 관계에 대한 연구가 필요함을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 수행되었습니다(KOSEF 94-0703-05-01-2). 시료분석에 도움을 준 서울대학교 해양학과 최동한, 강석원에게 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 심재형, 강정훈, 조병철, 김용서, 1998. 해수에 잠긴 인공기질표면에서 미세조류의 부착과 성장: I. 부착 및 천이. 한국해양학회지-바다, **3**: 249-260.
- Baier, R.E., 1980. Substrata influences on adhesion of microorganisms and their resultant new surface properties. In: Adsorption of Microorganisms to Surfaces, edited by Bitton, G. and K.C. Marshall, John Wiley & Sons, New York, pp. 59-104.
- Baier, R.E., 1981. Initial events in microbial film formation. In: Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study, edited by Costlow, J.D. and R.C. Tipper, Naval Institute Press, Annapolis (Maryland), pp. 57-62.
- Callow, M.E., 1993. A review of fouling in freshwaters. *Biofouling*, **7**: 313-327.
- Caron, D.A. and J.M. Sieburth, 1981. Disruption of the primary fouling sequence on fiberglass-reinforced plastic submerged in the marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**: 268-273.
- Choi D.H., J.H. Shim and B.C. Cho, 1996. Bacterial colonizations of glass and acryl surfaces immersed in coastal seawater. *Yellow Sea*, **2**: 51-57.
- Cooksey, B.W. and K.E. Cooksey, 1992. Can diatoms sense surfaces?: state of our knowledge. *Biofouling*, **5**: 227-238.
- Cooksey, K.E. and B.W. Cooksey, 1995. Adhesion of bacteria and diatoms to surfaces in the sea: a review. *Aquat. Microb. Ecol.*, **9**: 87-96.
- Cuba, T.R. and N.J. Blake, 1983. The initial development of a marine fouling assemblage on a natural substrate in a subtropical estuary. *Bot. Mar.*, **26**: 259-264.
- Hoagland, K.D., J.R. Rosowski, M.R. Gretz and S.C. Roemer, 1993. Diatom extracellular polymeric substances: function, fine structure, chemistry and physiology. *J. Phycol.*, **29**: 537-566.
- Hudon, C. and E. Bourget, 1981. Initial colonization of artificial substrate: community development and structure studied by scanning electron microscopy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**: 1371-1384.
- Kawamura, T., Y. Nimura and R. Hirano, 1988. Effects of bacterial films on diatom attachment in the initial phase of marine fouling. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **44**: 1-5.
- Meenakumari, B. and N.B. Nair, 1994. The effects of slime film on barnacle settlement In: Recent Developments in Biofouling Control, edited by Thompson, M.F., R. Nagabhushanam, R. Sarojini and M. Fingerman, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 3-9.
- Mitchell, R. and D. Kirchman, 1984. The microbial ecology of marine surfaces. In: Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study, edited by Costlow, J.D. and R.C. Tipper, E & F, N, Spon Ltd., London, pp. 49-56.
- Ohgai, M., T. Matsui, T. Okuda and H. Tsukahara, 1984. Fine structure of adhesive parts of diatoms and their adhesive mechanism. *J. Shimonoseki-Univ. Fish.*, **33**: 27-35.
- Shim, J.H. and M.S. Jurng, 1987. Development and succession of marine fouling organisms on artificial substrata. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 257-270.
- Stevenson, R.J., 1983. Effects of current and conditions simulating autogenically changing microhabitats on benthic diatom immigration. *Ecology*, **64**: 1514-1524.
- Venugopalan, V.P., T.S. Rao, C.A. Sargunam and K.V.K. Nair, 1994. Some observations on the biological and biochemical aspects of biofilm development in Kalpakkam coastal waters. In: Recent Developments in Biofouling Control, edited by Thompson, M.F., R. Nagabhushanam, R. Sarojini and M. Fingerman, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 11-20.
- Wetherbee, R., J.L. Lind, J. Burke and R.S. Quatrano, 1998. The first kiss: establishment and control of initial adhesion by raphid diatoms. *J. Phycol.*, **34**: 9-15.

1998년 4월 27일 원고 접수

1998년 9월 18일 수정본 채택