



해양 생태계 부착 미세조류 채집을 위한 소재 비교 연구

박재영 · 기장서*

상명대학교 융합공과대학 생명공학과
(03016) 서울 종로구 홍지문2길 20

Comparison of Materials for Collection of Adhesive Microalgae in Marine Ecosystems

Jaeyeong Park and Jang-Seu Ki*

Department of Biotechnology, College of Convergence Engineering, Sangmyung University,
Seoul 03016, Korea

Abstract : Marine microalgae have different collection methods depending on their habitat. In the case of adhesive microalgae, it is difficult to separate organisms from the substrate surface, and contamination is likely to occur during the sampling process. In this study, we analyzed the collection efficiency of adhesive microalgae using three artificial fiber materials (nylon, blend fabric, and viscose rayon). Each fiber showed different fiber diameter and pore characteristics (nylon 26.09 μm , blend fabric 56.6 μm , viscose rayon 101.3 μm). In addition, attached organisms were collected on the surface of artificial substrates at Bukseong Port in Incheon using each tested fiber material. After that, we investigated the population and species composition. The highest number of cells was found in nylon, which was 8 times higher than in the least collected viscose rayon material. In addition, we identified 24 microalgal species from the substrate, demonstrating that the species composition differed from that of surface water. The number of collected microalgae species varied depending on the fiber materials, with nylon containing all the adhesive microalgae. In contrast, only a few microalgae were observed in other fibers. These results suggest that, of the tested fibers, nylon material may be suitable for collecting adhesive microalgae. As a result, this study may be useful for future research on adhesive microalgae.

Key words : Adhesive microalgae, Artificial substrates, Nylon, Phytoplankton

1. 서 론

미세조류는 현미경적 크기로, 대부분 광 독립영양을 하여 수서 생태계의 에너지 순환에 중요한 역할을 한다. 이들은 생태학적으로 부유성과 부착성으로 구분된다. 부유성 생물은 흔히 표영계에 광이 풍부하게 들어오는 유광층대에 서식하며 해류에 의해 이동된다. 반면, 부착생물은 빛이 풍부한 기질에 한정되어 고정적으로 부착하여 서식

하는 특성이 있다. 특히 이들의 분포는 부유성 생물보다 제한적이며 수생태계의 건강성을 평가할 수 있다(김과 신 2007; 전 등 2015). 이런 점에서 부유성 생물과 부착성 생물의 구분은 서식환경의 차이를 이해함에 있어 중요하다(Reynolds 2006).

대표적인 부유성 미세조류는 중심형 돌말류(Centric diatom), 와편모조류, 편모조류 등이 있다(심 1994). 중심형 돌말류는 외형적으로 둥근 모양을 하고 있어 높은 표면적을 이루며 물 분자에 대한 표면 저항력을 증가시켜 부유하게 된다. 또한 와편모조류 및 편모조류는 운동기관

*Corresponding author. E-mail: kijis@smu.ac.kr

인 편모가 존재하여 해수 속에 부유생활을 한다. 반면, 부착 미세조류는 수중에 존재하는 기질에 붙어 살아가며 대표적인 생물로 우상형 돌말류(Pennate diatom)가 있다(박 등 2022). 이들의 특징은 세포 내부에 다당류성 고분자물질인(Extracellular Polymeric Substance, EPS)을 생성하여 틈새(fissure)를 통해 외부로 방출한다. 이들이 분비한 EPS는 기질에 접착하게 하는 역할을 하면서 생물막을 형성한다. 또한 상위 영양단계에 존재하는 따개비와 같은 부착 생물들이 기질에 부착할 수 있게 유도한다(Callow and Callow 2002).

해양 부착 미세조류의 국내 연구는 암반 및 해조류와 같은 자연기질 뿐만 아니라 항만시설과 같은 인공기질에서 생물상의 규명이 이루어졌으며(박 등 2022), 최근 선체에 부착된 상태의 미세조류들을 수중에서 채집되어 생물상이 밝혀졌다(박 등 2021). 특히 선체를 통해 이동되는 부착 미세조류들은 선박의 피해 및 외래종의 전파 가능성 문제로 전 세계적으로 모니터링 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Edmiston et al. 2021; Meloni et al. 2021). 이런 점에서 항만시설에서 부착 미세조류 연구들은 국내의 생태계 관리 및 보호 차원에서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 하지만 이러한 중요성에도 불구하고 국내 항만시설에 대한 부착 미세조류의 모니터링연구가 부족한 실정이다.

관련 연구가 어려운 이유는 제약된 채집조건 및 채집도구가 한정적이기 때문이다. 해양환경에서 부착 미세조류 연구방법은 간조 때 갯벌에서 일정 구역을 끌개(scraper)로 긁어 채집하거나(이 2003), 수중에서 주로 칫솔, 세척솔(brush), 끌개 및 50 mL 코니칼 튜브(conical tube) 등으로 기질을 긁어 채집한다. 이후 시료의 건조를 방지하기 위해 멸균 해수에 담아 보관하여 실험실로 이동되거나 부착판 또는 포집기(trap)를 연구지역에 설치하여 일정 시간이 지난 후 회수하는 방법으로 부착 미세조류에 대한 연구가 진행되어 왔다(Austin et al. 1981; Biggs 1988; 박 등 2021, 2022). 하지만 수중에서 채집할 경우 유속에 의해 채집 도구에 붙어 있는 부착 미세조류가 이탈되어 소실될 가능성이 있다(박 등 2022). 부착판 및 포집기(trap)를 해양 환경에 가입 후 회수하는 방법은 해류가 기질에 충격을 주어 이로 인해 일시적으로 탈락된 일부 생물종이 부착판에 가입되어 검출되는 한계가 있다. 또한 채집 장치를 해저에 설치할 경우 장치의 부식을 야기할 수 있다(Terry and Edyvean 1981). 이런 점을 극복하기 위해 새로운 채집도구의 필요성이 요구된다.

이런 점을 극복하고자 본 연구에서 3가지 인공섬유 소재를 대상으로 채집 실험하였다. 서로 다른 환경인 수층(water column)과 부착기질(attached substance)에 출현하는 생물의 비교를 통해 비의도적으로 채집되는 부유성 미세조류의 혼입여부를 평가하였다. 더 나아가 소재에 따라

실제 기질 환경에서 채집가능성 및 효율적인 소재를 판단하였다. 따라서 본 연구를 통해 수중에서 기질을 대상으로 부유성 미세조류의 영향이 없이 부착 미세조류를 중점적으로 채집할 수 있는 소재를 발굴하는데 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

채집 소재 및 특성 분석

수중에서 부착 미세조류 채집을 위해 사용할 수 있는 도구로 인공섬유소재인 100% 함량의 나일론(nylon)소재, 20%의 폴리프로필렌(Polypropylene, PP)과 80%의 비스코스 레이온이 혼방된 소재(Blend Fabric, BF), 100% 함량의 비스코스 레이온(Viscose Rayon, VR) 소재를 이용하였다. 3가지 소재의 형태는 실체현미경(S-645 e-scope; DAWINBIO, Seoul, Korea)을 이용하여 관찰하였다. 인공섬유 사이의 공극 및 섬유직경은 광학현미경(Axioskop; Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)을 이용하여 분석하였으며, 분석의 편차를 줄이기 위해 30개씩 측정 후 비교하였다.

채집지 개황

채집실험은 2022년 04월 22일에 인천항 인근 소형 항만시설인 북성포구(GPS: 37°28'57.62"N, 126°36'47.70"E)를 대상으로 실시하였다. 부착기질 선정은 항구에 선박이 정박한 상태를 가정하고자 항만시설에 존재하는 인공 철제구조물을 대상으로 탐색 후 채집하였다(Fig. 1).

채집 방법

채집 전 수온, 염분의 환경자료를 수온염분측정기(YSI Inc, Yellow Springs, Ohio, USA)로 측정하였다. 이후 부착 미세조류와 비교를 위해 표층 해수 1 L를 채수하여 식물플랑크톤 시료를 확보하였다. 부착 미세조류의 채집은 기질에 대해 해수면 기준 1 m 아래에서 10 × 10 cm 방형구를 기질에 부착하였다. 이 후 3 × 3 cm의 크기를 가지는 3가지 소재인 나일론, BF, VR 소재를 이용하여 기질에 수 회 마찰을 일으켜 채집하였다. 채집 후 채집물의 건조를 방지하기위해 멸균 해수와 함께 50 mL 코니칼 튜브에 보관하여 실험실로 이동하였다.

생물 시료의 분석

실험실에서 표층수는 1% 루골용액으로 고정 후 2-3일간 자연 침전법으로 농축하여 최종 부피가 100 mL이 되도록 농축하였다. 부착 미세조류 시료는 50 mL 코니칼 튜브에 담긴 각 채집 소재를 15분간 교반하여 생물들을 완전히 탈락시킨 후 Lugol 용액(L6146, Sigma-Aldrich, Co., Saint Louis, MO, USA) 1%로 고정하였다. 이후 고정된

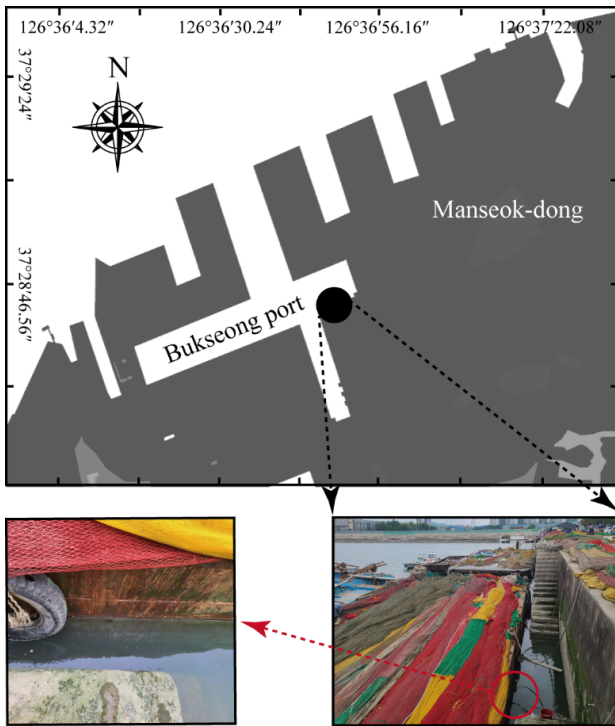


Fig. 1. Sampling site of the adhesive microalgae and phytoplankton. A black dot represents the sampling spot. A red circle shows the attached substrate of the sampling site and the degree of biofouling to the naked eye

시료에 대해 균질화 한 후 1 mL을 분취하여 광학현미경 (Axioskop; Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) × 200에서 3회 반복 계수한 후 평균을 구하여 현존량으로 계산하였다. 생물 종 동정은 학술문헌 및 도감(심 1994; Tomas 1997; Spaulding et al. 2021)을 참고하여 광학 현미경(Axioskop; Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) 400–1000 ×에서 검경하였다. 분류체계는 AlgaeBase (Guiry and Guiry 2023)를 따랐다. 각 소재에 따라 채집된 부착 미세조류의 정성 및 정량적 분석결과를 바탕으로 종 다양성 지수(species diversity)를 Shannon-wiener diversity index 인 $H = -\sum[(pi) \times \log(pi)]$ 로 산출하였다(Shannon and Wiener 1963).

3. 결 과

채집 소재 특성 분석

나일론, BF, VR에 대해 소재 특성을 분석한 결과, 섬유 사이 공극과 섬유 직경의 크기가 상이하였다(Fig. 2). 나일론은 섬유 공극이 9.21–47.76 μm의 범위(평균 26.09 μm), BF는 15.74–283.3 μm (평균 56.6 μm), VR은 30.92–254.5 μm (평균 101.3 μm)의 공극 크기를 가졌다. 직경별로 VR

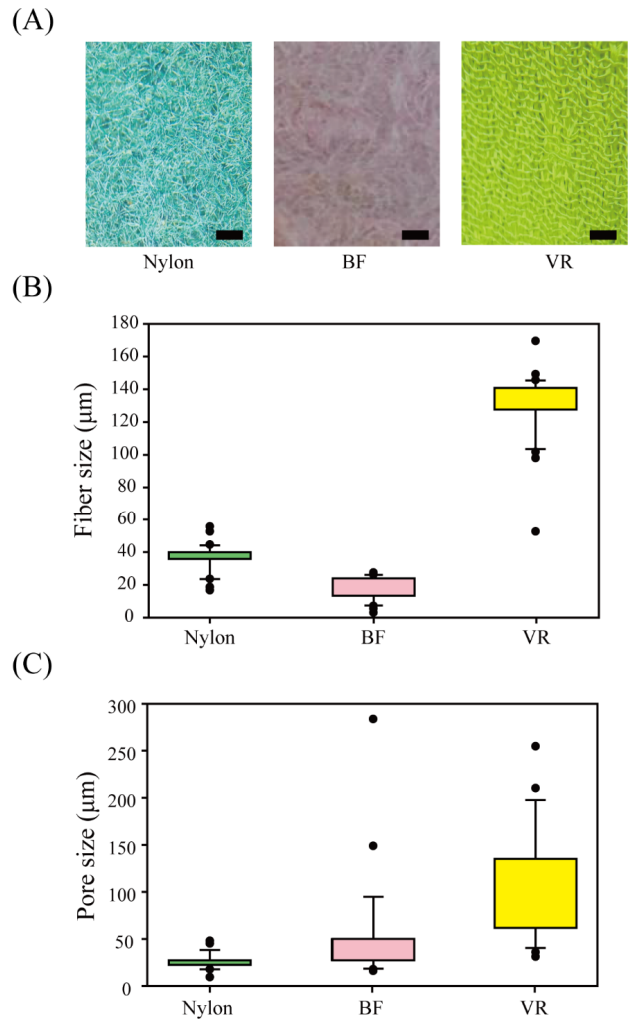


Fig. 2. Pore and fiber size of each material for adhesive microalgae sampling. (A) Tissue images were observed with a stereoscopic microscope with a scale bar of 1,000 μm, (B) fiber size according to the tested materials; and (C) pore size based on materials. Nylon is 100% nylon, BF is a blend of polypropylene (20%) and viscose rayon (80%), and VR is 100% viscose rayon

은 52.49–129.9 μm (평균 101.34 μm)나일론은 9.21–55.53 μm (평균 36.7 μm), BF는 2.91–27.33 μm (평균 18.71 μm)순으로 측정되었다. 각 소재에 따른 크기 특성을 비교한 결과, 공극은 나일론이 가장 적었고, 섬유 직경은 BF 소재가 가장 얇은 것이 확인되었다.

채집지 환경 특성 및 미세조류 현존량

채집 시 환경은 수온 18°C, 염분 30 psu, pH 7.74로 나타났다. 또한 기질은 육안으로 보았을 때 생물의 오손이 존재하였다(Fig. 1).

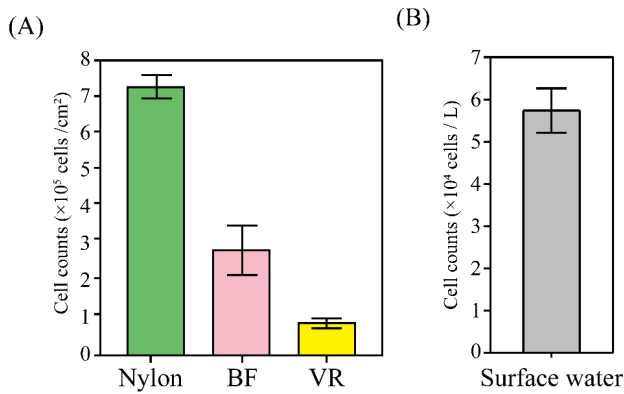


Fig. 3. Cell numbers of the adhesive microalgae and the phytoplankton detected in this study. (A) Cell numbers of the adhesive microalgae from the attached substrate by collecting each material; and (B) abundance of phytoplankton in surface water near the sampling site. Nylon is 100% nylon, BF is a blend of polypropylene (20%) and viscose rayon (80%), and VR is 100% viscose rayon

각 소재에 따라 부착 미세조류 현존량의 차이를 보였다 (Fig. 3A). 나일론의 부착 미세조류의 양은 727,777 cells/cm²로 가장 많은 양이 채집되었다. 그 다음 BF에서 285,555 cells/cm²로 나일론 소재와 비교해보았을 때 약 2.5배 차이가 나타났다. 마지막 VR에서는 87,777 cells/cm²의 부착 미세조류가 계수되었는데, 나일론과 약 8배 차이를 보여 가장 적은 양을 기록하였다. 또한 북성포구의 식물플랑크톤 현존량은 57,500 cells/L로 나타났다(Fig. 3B).

식물플랑크톤과 부착 미세조류 종 조성

본 연구에서 출현한 미세조류는 모두 3 문(Phylum), 5 강(Class), 20 목(Order), 23 과(Family), 28 속(Genus), 36 종(Species)이었다. 수층(water column)과 부착기질(attached substance)에 출현한 종 조성이 확연히 달랐다(Table 1). 수층에서 12 종의 돌말류와 와편모조류가 출현하였다. 돌말류로 7종으로 Coscinodiscophyceae강 및 Mediophyceae강에 속한 것으로 확인되었다. 와편모조류는 *Tripos*,

Table. 1 List of microalgae species present in the surface water column and attached substrate in this study

Class	Taxon position			Surface water	Attached substrate
	Order	Family	Species		
Bacillario- phyceae	Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i> sp.		○
			<i>Cylindrotheca closterium</i>		○
			<i>Hantzschia</i> sp.		○
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia dubia</i>		○
			<i>Nitzschia</i> sp.		○
			<i>Psammodictyon</i> sp.		○
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria islandica</i>		○
			<i>Caloneis</i> sp.		○
			<i>Diploneis</i> sp.		○
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma acuminatum</i>		○
			<i>Gyrosigma</i> sp.		○
			<i>Navicula</i> sp.		○
			<i>Pinnularia rectangulata</i>		○
			<i>Asterionella glacialis</i>		○
	Rhabdonematales	Grammatophoraceae	<i>Grammatophora angulosa</i>		○
			<i>G. marina</i>		○
			<i>Rhizosolenia setigera</i>		○
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis paludosa</i>		○
			<i>E. pseudoduplex</i>		○
			<i>Entomoneis</i> sp.		○
Thalassionematales	Thalassionemataceae	<i>Thalassionema nitzschioides</i>		○	
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>		○	

Table. 1. Continued

Class	Order	Taxon position		Surface water	Attached substrate
		Family	Species		
Coscinodiscophyceae	Asterolamprales	Asterolampraceae	<i>Asteromphalus heptactis</i>	○	
	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i> sp.	○	
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira octagona</i>		○
	Stephanopyxales	Stephanopyxidaceae	<i>Stephanopyxis turris</i>	○	
Mediophyceae	Chaetocerotales	Leptocylindraceae	<i>Leptocylindrus danicus</i>	○	
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i> sp.	○	
	Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira oestrupii</i>	○	
			<i>Thalassiosira</i> sp.	○	
Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Tripos lineatus</i>	○	
			<i>T. pentagonus</i>	○	
	Dinophysales	Oxyphysaceae	<i>Phalacroma oxytoxoides</i>	○	
			<i>Protoperidinium granii</i>	○	
			<i>Protoperidinium</i> sp.	○	
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Trichodesmium</i> sp.		○

Note: ○ are present species in this study

Phalacroma, *Protoperidinium*가 출현하였다(Table 1).

반면, 부착기질에 출현한 종은 24 종으로 수층에 비해 다양했다. 세부적으로 2개의 돌말류 강(Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae)에서 9 목, 12 과, 23 종의 돌말류 및 1 종의 Oscillatoriales 목에 속한 남조류였다. 2개의 돌말류 강에서 가장 다양한 종이 출현한 과는 Bacillariaceae로 *Cylindrotheca*, *Nitzschia*, *Hantzschia*, *Psammodictyon*가 속하였다. 남조류는 *Trichodesmium*이 출현하였다.

채집소재에 따른 부착 미세조류 다양성

본 연구에서 시험한 채집소재에서 부착 미세조류 채집 종수가 상이한 것이 확인되었다(Fig. 4). 나일론에서 본 연구에서 출현한 부착 미세조류가 모두 관찰되었다. 반면, BF와 VR에서 본 연구에서 출현한 부착 미세조류 일부가 관찰되었다. 특히 BF는 13종, VR는 5종, BF와 VR에서 공통적으로 4종이 관찰되었다. 3가지 소재에서 공통적으로 나타난 종은 *Cylindrotheca closterium*, *Entomoneis* sp. *Gyrosigma acuminatum*, *Trichodesmium* sp.였다.

나일론에서 출현한 최우점 종은 3종으로 돌말류 2종(*Asterionella glacialis*, *Navicula* sp.)과 남조류 1종(*Trichodesmium* sp.)이었다. 이들은 8.97%의 비율로 출현하였다(Fig. 5A). BF에 출현한 부착 미세조류는 13종 중 가장 많은 비율을 차지한 종은 2종으로 돌말류인 *Cylindrotheca closterium*, 남조류인 *Trichodesmium* sp.였다(Fig. 5B). VR에서 출현한 생물종은 5종 *Rhizosolenia setigera*

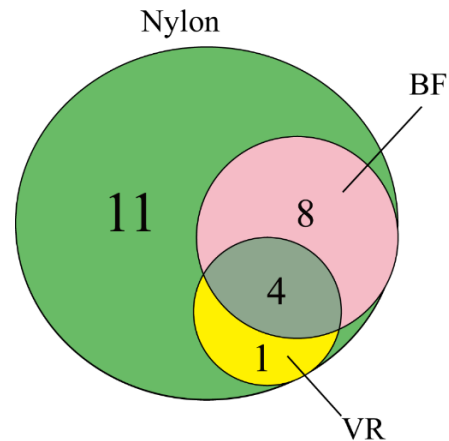


Fig. 4. A Venn diagram of the number of adhesive microalgae detected using each material. The adhesive microalgae that appeared in this study are shown by material. Adhesive microalgae from Nylon included species from blended fiber (BF) and viscose rayon (VR)

가 22.3%의 비율로 최우점 종으로 나타났다(Fig. 5C).

다양성 지수를 산출한 결과 각 소재마다 상이하였다(Fig. 5D). 나일론이 3.017로 가장 높았으며, BF 2.408, VR이 1.606순으로 나타났다. 각 소재에서 산출된 종 다양성의 비교로, 나일론이 VR 대비 약 2배 높은 것으로 확인되었다.

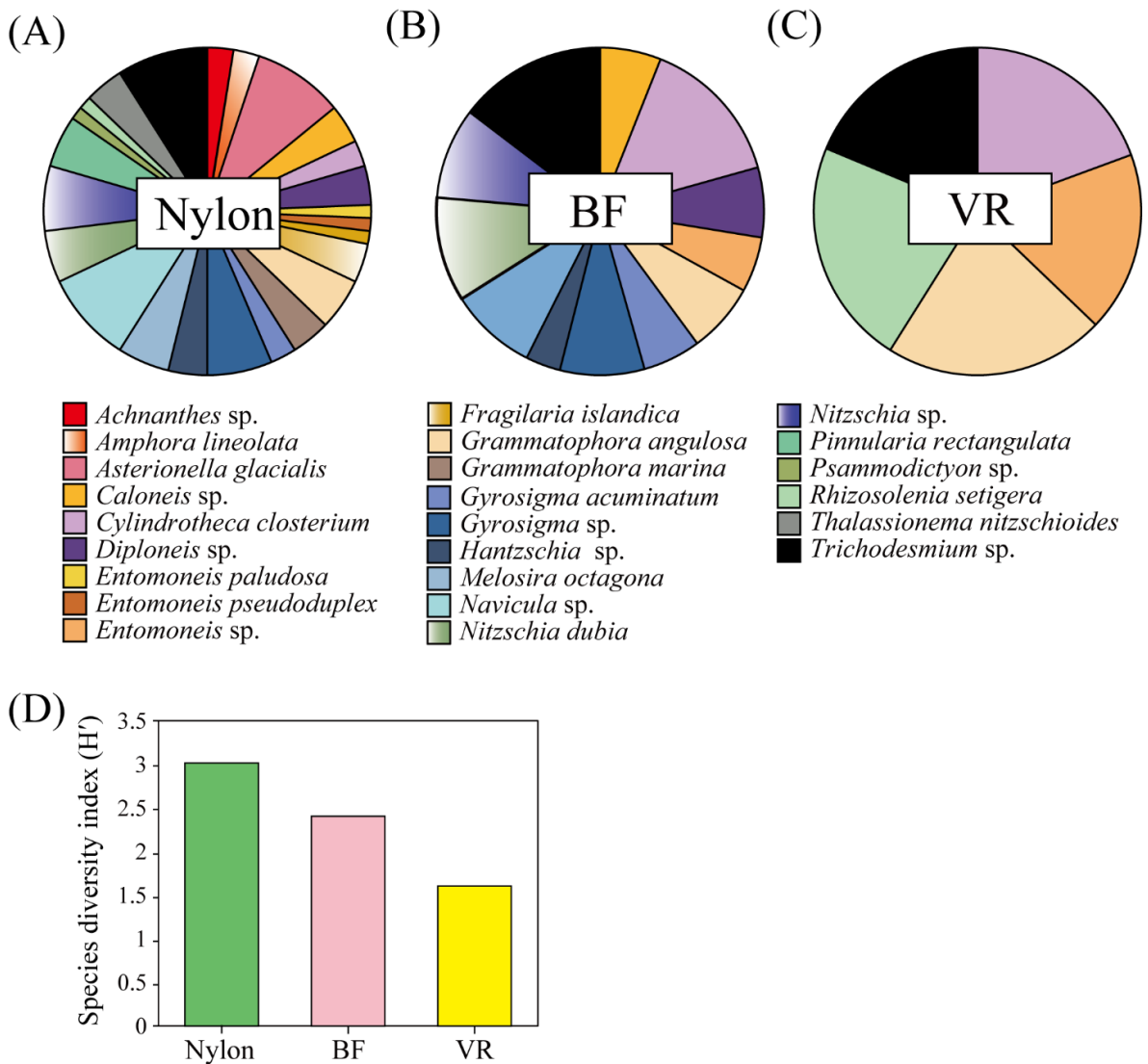


Fig. 5. Biodiversity from three tested sampling materials. (A)-(C) Pie chart of the proportion of adhesive microalgae species appearing for each material [(A) Nylon, (B) BF: Polypropylene (20%) + viscose rayon (80%), (C) VR: Viscose rayon (100%)] and (D) is the adhesive microalgal species diversity index according to three sampling materials

4. 고찰

현재까지 해양생태계 내에서 부착 미세조류를 채집하기 위해 다양한 방법들이 시도되고 있다(Austin et al. 1981; Biggs 1988; Salomoni et al. 2007). 그럼에도 불구하고 기존의 부착 미세조류 채집 방법은 부유성 미세조류의 유입이 불가피해 수중 구조물에서 채집하기 매우 어렵다(박 등 2022). 따라서 본 연구는 기존 부착 미세조류 채집방법에 대한 한계점을 보완하고자 채집 가능한 다양한 소재를 검토하였다. 또한, 실제 인공기질을 대상으로 부착 미세조류를 채집하는데 적용하였다. 본 연구의 결과들은 향후 부

착 미세조류의 수중 채집 가능성에 대해 논한다.

본 연구에 활용된 소재들은 인공섬유로서 수중에서 쉽게 분리 및 용해되지 않아 채집에 용이하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 우선 나일론 소재는 폴리아미드(polyamid) 계열의 합성 고분자 화합물로 조성된 물질이다. 이 물질은 주로 의류산업에 많이 사용된다(Bolton 1942; 임 등 2015). 추가적으로 타이어, 브러시의 소재로 공업분야에서 넓게 사용된다. 특히 최근 바이오 디젤을 위한 미세조류 여과 시스템에 막장치로 사용되고 있다(Azizo et al. 2017). 또한, 마찰력에 대한 저항성이 강하여 내구성이 좋은 장점을 가지고 있다(Watanabe and Yamaguchi 1986).

VR은 100% 비스코스 레이온으로 재생 셀룰로오스를 사용하여 만들어진 소재이다. 높은 친수성 소재로서 물의 흡수가 빠르며 표면이 부드러운 특성이 있다(Shaikh et al. 2012). 마지막 BF는 폴리프로필렌과 비스코스 레이온을 8:2의 비율로 혼합된 섬유 소재이기 때문에 VR소재의 특성을 일정량 포함한다. 구성 성분의 대부분 폴리프로필렌이 사용되었는데, 본 소재는 석유로 형성된 화학 섬유로서 내구성이 좋으며 발수성의 물질로 낮은 수분 흡수율을 보이는 것이 특징이다(Maddah 2016).

선박 및 수중구조물을 대상으로 부착 미세조류 채집은 해수에 잠겨 있기에 채집 시 부유성 미세조류의 혼입 가능성이 매우 높다(박 등 2022). 이러한 가능성 여부를 판단하기 위해 사전에 부유성 미세조류 채집을 통한 비교가 필요하다. 본 연구에서는 채집 방법의 차이로 정량적인 비교가 어렵기에 정성적인 비교를 통해 부유성 미세조류의 혼입 여부를 판단하였다.

현재까지 국내에 해양 부착 미세조류는 87속 153종으로 보고되고 있다(박 등 2022). 이들은 우상형 돌말류, 와편모조류, 사상형 남조류로 구성된다. 그 중 국내 연안에서 넓은 범위로 부착성으로 서식하는 생물은 8종의 Bacillariophyceae 강에 속한 돌말류로 *Amphora*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Grammatophora*, *Licmophora*, *Navicula*, *Nitzschia*로 보고된 바 있다. 본 연구에서 *Cocconeis*를 제외한 7종의 부착 미세조류가 확인되었다(Table 1, Fig. 5). 본 연구에는 *Cocconeis*가 출현하지 않았는데, 이는 주로 남해역에 분포하는 것으로 알려져 있어 서식지 환경 차이에 기인한 것으로 생각된다(Chung and Lee 2008; 정과 윤 2011). 본 연구에서 출현한 남조류인 *Trichodesmium* sp.는 질소 고정을 주로 하는 남조류로 주로 군체를 형성하여 전 세계에 분포되어 존재한다. 국내에서도 넓은 범위에 분포되어 있으며 착생형으로 알려져 있다(심 1994; Al-Harbi 2017). 반면, 국내 출현하는 주요 부유성 미세조류는 50속 116종으로 알려져 있다(문과 최 2003). 본 채집지의 수층에 출현한 부유성 미세조류는 *Coscinodiscophyceae* 강, *Mediophyceae* 강의 돌말류, 부유성 와편모조류로 국내 기록종들과 일치하였다(국립생물자원관 2015a, 2015b). 따라서 수층 시료와 부착기질 시료에 출현한 생물 비교를 통해 인공섬유소재의 사용은 부유성 미세조류의 오염이 없어 실제 수층 채집 시 적용 가능할 것으로 판단된다.

기준에 만들어진 채집도구들은 부착기질에 부착생물이 존재하는 것보다 적게 채집된다고 알려져 있다(Biggs 1988). 이는 일부의 부착 미세조류가 일시적 부유한 뒤 저서환경에 설치된 시점부터 기질에 부착되어 한계를 보인다(Weitzel 1979). 환경에 적합한 채집도구는 생태계 내에 생물 종들을 최대한 반영하는 것이 중요하다(Gauch 1982). 중

다양성 지수는 환경 내 생물들에 대한 출현 종 수 및 상대 풍부도의 관계를 이용한 식으로서 생태계의 건강도를 조망할 수 있는 척도로서 사용된다(Peet 1974). 이를 미루어 볼 때 서로 다른 세가지 소재에서 상대적으로 나일론 소재가 가장 높은 값을 가지는 데는 채집되는 생물의 풍부함 및 가장 많은 종이 검출된 결과로 생각된다.

본 연구 결과에서, 실 채집에 적용했을 때 가장 효율적인 소재는 풍부한 현존량 및 높은 종 다양성을 보인 나일론으로 평가된다. 나일론은 마찰 저항이 강한 특성을 보이며, 100°C의 높은 온도에서 물성 변화가 나타난다고 알려져 있다(Watanabe and Yamaguchi 1986). 본 연구의 낮은 수온으로 인해 나일론 소재의 사용에 대해 마모는 보이지 않았다. 또한 나일론 소재의 평균적인 공극과 섬유 크기와 부착 미세조류의 크기가 약 20 μm 와 유사하다(박 등 2021). 이를 통해 실 채집 시 기질에 높은 마찰강도와 공극 사이에 대상생물이 흡착하여 효과적으로 채집할 수 있는 것으로 생각된다.

반면, 가장 낮은 종다양성 지수를 보인 VR은 비스코스 레이온이 순수 함량 100%로 구성되어 높은 친수성으로 장력에 대한 저항력이 약한 단점이 존재한다(Orekhova et al. 1976). 때문에 실제 채집에서도 비스코스 레이온 소재로 채집했을 때 소재 표면에 대해 마모가 되어 있었다. 또한 공극 크기가 세가지 소재 중 가장 넓은 것으로 보아 부착 미세조류가 채집 시 조직의 공극 사이로 해수에 의해 유출될 가능성이 있는 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구결과들을 종합한 결과, 소재의 마찰 저항력, 점착특성, 채집 후 소재의 변형과 같은 내구성, 소재에 대한 공극 특성 등의 요인들은 채집 능력에 영향을 주는 것으로 사료된다. 본 연구에서 사용된 소재들은 여러 산업에 널리 사용되는 소재로 활용성이 좋은 장점이 있다. 이런 점에서 수중 구조물에 대한 채집 도구로서의 가능성을 확인하였으며, 나일론 소재에 대한 탁월한 채집 능력이 확인되었다. 이러한 결과는 향후 부착 미세조류를 대상으로 한 연안 및 항만 생태계의 모니터링 연구 뿐만 아니라 담수 저서 생태계 관련 연구에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(선체부착 생물 관리 및 평가기술개발, 20210651).

참고문헌

- 김미경, 신재기 (2007) 독도 연안의 하계 수환경과 미세조류의 종조성 변화. *Algae* **22**(3):193-199
- 국립생물자원관 (2015a) 국가 생물종 목록집: 돌말류. 국립생물자원관, 인천, 365 p
- 국립생물자원관 (2015b) 국가 생물종 목록집: 편모조류. 국립생물자원관, 인천, 211 p
- 문성기, 최철만 (2003) 국내 해양식물플랑크톤의 주요종과 분포에 대한 조사. *한국환경과학회지* **12**(7):725-733
- 박재영, 김태희, 기장서 (2021) 국내 연구 조사선 장목 1 호 선체 표면에 서식하는 미세조류 생물상. *한국미생물학회지* **57**(4):249-254
- 박재영, 김태희, 기장서 (2022) 해양의 부착 미세조류 분류군 현황 및 선체부착 연구의 중요성. *Ocean Polar Res* **44**(2):161-177
- 심재형 (1994) 한국동식물도감, 제 34 권 식물편 (해양식물플랑크톤). 교육부, 서울, 487 p
- 이학영 (2003) 가마미 해수욕장 (전남 영광) 갯벌의 미세조류의 분포에 관. *한국환경과학회지* **12**(7):715-724
- 임성찬, 이현우, 이현재, 원종성, 진다영, 이승구 (2015) 나일론 6 섬유의 감량가공 및 특성 연구. *한국 염색가공학회지* **27**(3):175-183
- 전승훈, 김채백, 김우람, 박상길, 채수권 (2015) 우리나라 하천 환경 평가체계의 분석: 생물분야를 중심으로. *Ecol Res Infrastr* **2**(2):108-117
- 정미희, 윤석현 (2011) 해초에 부착하는 부착생물 군집의 생태학적 특성. *갈피(Zostera marina L.)의 성장에 따른 부착생물의 군집 변화. 환경생물* **29**(4):362-372
- Al-Harbi SM (2017) Epiphytic microalgal dynamics and species composition on brown seaweeds (Phaeophyceae) on the Northern Coast of Jeddah, Saudi Arabia. *J Oceanogr Mar Res* **5**:1. doi:10.4172/2572-3103.1000153
- Austin A, Lang S, Pomeroy M (1981) Simple methods for sampling periphyton with observations on sampler design criteria. *Hydrobiologia* **85**(1):33-47. doi:10.1007/bf00011343
- Azizo AS, Wirzal MDH, Bilad MR, Yusoff ARM (2017) Assessment of nylon 6, 6 nanofibre membrane for microalgae harvesting. In: AIP Conference Proceedings 1891, 3 Oct 2017
- Biggs BJB (1988) A periphyton sampler for shallow, swift rivers. *New Zeal J Mar Fresh* **22**(2):189-199. doi:10.1080/00288330.1988.9516291
- Bolton EK (1942) Chemical industry medal. Development of nylon. *Ind Eng Chem* **34**(1):53-58
- Callow ME, Callow JA (2002) Marine biofouling: a sticky problem. *Biologist* **49**(1):1-5
- Chung MH, Lee KS (2008) Species composition of the Epiphytic diatoms on the leaf tissues of three *Zostera* species distributed on the Southern Coast of Korea. *Algae* **23**(1):75-81
- Edmiston CA, Cochlan WP, Ikeda CE, Chang AL (2021) Impacts of a temperate to tropical voyage on the microalgal hull fouling community of an atypically-operated vessel. *Mar Pollut Bull* **165**:112112. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112112
- Gauch H (1982) *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 312 p
- Guiry MD, Guiry GM (2023) *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org> Accessed 18 Feb 2023
- Maddah HA (2016) Polypropylene as a promising plastic: a review. *Am J Polym Sci* **6**(1):1-11
- Meloni M, Correa N, Pitombo FB, Chiesa IL, Doti B, Elias R, Genzano G, Giachetti C, Giménez D, Gappa JL, Pastor C, Wandeness AP, Ramírez FC, Roccatagliata D, Schulze SM, Tatián M, Zelaya DG, Sylvester F (2021) In-water and dry-dock hull fouling assessments reveal high risk for regional translocation of nonindigenous species in the southwestern Atlantic. *Hydrobiologia* **848**(9):1981-1996
- Orekhova ZM, Pakshver AB, Finger GG (1976) The variation of the properties of viscose rayon along the yarn. *Fibre Chem* **7**(3):313-314
- Peet RK (1974) The measurement of species diversity. *Annu Rev Ecol Syst* **5**(1):285-307
- Reynolds CS (2006) *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 551 p
- Salomoni SE, Torgan LC, Rocha O (2007) Sampler collection gadget for epilithic diatoms. *Braz J Biol* **67**:681-683
- Spaulding SA, Potapova MG, Bishop IW, Lee SS, Gasperak TS, Jovanoska E, Furey PC, Edlund MB (2021) *Diatoms.org*: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Res* **36**(4):291-304. doi:10.1080/0269249X.2021.2006790
- Shaikh T, Chaudhari S, Varma, A (2012) Viscose rayon: a legendary development in the manmade textile. *Int J Eng Res Appl* **2**(5):675-680
- Shannon CE, Wiener W (1963) *The mathematical theory of communities*. University of Illinois Press, Urbana, 117 p
- Terry LA, Edyvean RGJ (1981) Microalgae and corrosion. *Bot Mar* **24**:177-183
- Tomas CR (1997) *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, San Diego, 858 p
- Watanabe M, Yamaguchi H (1986) The friction and wear properties of nylon. *Wear* **110**(3-4):379-388
- Weitzel RL (1979) *Methods and measurements of periphyton communities: a review*. ASTM International Pennsylvania, 183 p

국문 참고자료의 영문표기**English translation / Romanization of references originally written in Korean**

- Kim MK, Shin JK (2007) Variations of water environments and species compositions of microalgae during summer in the coast of Dokdo, Korea. *Algae* **22**(3):193-199
- NIBR (2015a) National list of species of Korea: diatoms. National Institute of Biological Resources, Incheon, 365 p
- NIBR (2015b) National list of species of Korea: flagellates. National Institute of Biological Resources. Incheon, 211 p
- Moon SG, Choi CM (2003) A list of important species and distribution of marine phytoplankton in Korea. *J Environ Sci* **12**:725-733
- Park J, Kim T, Ki JS (2021) Flora of hull fouling microalgae in the Korean research vessel Jangmok No. 1. *Kor J Microbiol* **57**(4):249-254
- Park J, Kim T, Ki JS (2022) Status of attachment microalgae taxa in the Korean sea and importance of their research on hull ship fouling. *Ocean Polar Res* **44**(2):161-177
- Shim JH (1994) Encyclopedia of fauna and flora of Korea, Vol. 34 plants (marine phytoplankton). Korean Ministry of Education, Seoul, 487 p
- Lee HY (2003) Studies on the distribution of the microalgae in the tidal flats of Gamami Beach, Young-Gwang, Korea. *J Environ Sci Int* **12**(7):715-724
- Lim SC, Lee HW, Lee HJ, Won JS, Jin DY, Lee SG (2015) A study on the weight loss treatment and characteristics of nylon 6 fiber. *Tex Color Finish* **27**(3):175-183
- Chun SH, Kim CB, Kim WR, Park SG, Chae SK (2015) Analysis of stream environmental assessment systems in Korea: focus on the biological aspect. *Ecol Res Inf* **2**(2): 108-117
- Chung MH, Youn SH (2011) Ecological characteristics of the epiphytes on seagrass 1. variations of the epiphytic community and biomass related to the host plant *Zostera marina* (eelgrass). *Kor J Environ Biol* **29**(4):362-372

Author's Information**Jaeyeong Park**

M.S. Student, Sangmyung University

Jang-Seu Ki

Professor, Sangmyung University

*Received Mar. 6, 2023**Revised Mar. 27, 2023**Accepted Mar. 28, 2023*

Copyright © 2023 Ocean and Polar Research

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.