

## 섬유상 담체를 이용한 영양염류 제거 및 조류 증식 억제에 관한 연구

박신해, 강대중<sup>†</sup>, 양경순<sup>‡</sup>, 전수빈<sup>§</sup>, 오광중\*

부산대학교 사회환경시스템공학과  
46241 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

<sup>†</sup>정일ENG 기술연구소  
44201 울산광역시 북구 농공단지3길 34

<sup>‡</sup>윈테크  
50803 경남 김해시 상동면 동북로 913번길 11-15

<sup>§</sup>부산대학교 하이브리드소재 솔루션 연구센터  
46241 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

(2015년 10월 30일 접수; 2015년 12월 15일 수정본 접수; 2015년 12월 16일 채택)

## Efficiency of Nutritive Salts Removal and Algae Growth Inhibition Using a Fibrous Carrier

Sin-Hae Park, Dae-Jong Kang<sup>†</sup>, Kyeong-Soon Yang<sup>‡</sup>, Soo-Bin Jeon<sup>§</sup>, and Kwang-Joong Oh\*

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University  
2 Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea

<sup>†</sup>Jungil ENG R&D Center  
34 Nonggongdanji 3-gil, Buk-gu, Ulsan 44201, Korea

<sup>‡</sup>Wintech  
11-15 Dongbuk-ro 913beon-gil, Sangdong-myeon, Gyeongnam 50803, Korea

<sup>§</sup>National Core Reserch Center for Hybrid Materials Soutlion  
2 Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea

(Received for review October 30, 2015; Revision received December 15, 2015; Accepted December 16, 2015)

### 요 약

본 연구에서는 일반적인 물리·화학적 조류 증식 억제 방법의 문제점이 보완되어진 자연친화적인 생물학적 억제방법을 이용하고자 하였다. 섬유상 담체들의 생물막 형성 두께와 물리적 특성을 비교한 결과, 폴리에스터 담체가 가장 적절하였다. 이를 이용하여 부영양화 호소에서 영양염류 제거와 조류증식 억제 효율을 분석하였다. 질소, 인 제거율은 14.59%, 6.36%, 그리고 조류증식 억제효율 비교를 위한 식물플랑크톤 성장 억제율은 77%로 영양염류와 식물플랑크톤 수치가 증가한 대조군에 비해서 높은 효율을 나타냈다. 따라서 본 연구에서는 폴리에스터 섬유상 담체를 적용하여 호소에서 자연친화적인 생물학적 처리가 가능할 것으로 판단된다.

**주제어** : 섬유상 담체, 조류, 영양염류, 호소

**Abstract** : Conventional physicochemical technologies for algae growth inhibition have economical and environmental pollution problems. This study attempted to overcome the problems by nature-friendly biological inhibition technology using fibrous carrier. The experimental results showed that the most effective carrier material, polyester, exhibited the highest biofilm thickness. The removal efficiency for nutrient salts, such as nitrogen and phosphorous, and algae growth inhibition of polyester carrier was 14.59%, 6.36%, and 77%, respectively, which is higher than for control group. These result indicate that the polyester carrier is available in eutrophic lake.

**Keywords** : Polyester, Algae, Nutritive salts, Carrier, Lake

\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kjoh@pusan.ac.kr <http://cleantech.or.kr/ct/>

doi: 10.7464/ksct.2015.21.4.257 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

현재 우리나라의 수자원 중 사용할 수 있는 물은 극히 제한되어 있으며, 물 사용량 증가와 폐수의 막대한 증가로 수자원 확보 및 관리가 지속적으로 필요한 실정이다[1]. 호소의 경우 오염물질의 유입으로부터 생물 분해와 같은 자정능력으로 회복 가능하나, 각종 오수 유입의 증가로 자정 한도를 벗어나고 있다. 과잉으로 공급된 오염물로 인하여 조류나 식물성 플랑크톤의 이상 증식으로 촉진되어 부영양화가 발생되고 생태계 균형과 파괴로 이어져 호소수 이용이 점차 어려워지고 있다[2-3].

기존의 조류 증식 억제방법의 경우 물리적 방법은 막대한 비용이 발생하고, 화학적 방법은 2차 환경오염이 발생하는 등 많은 문제점을 가지고 있다[4]. 따라서 이러한 문제점이 보완된 생물학적 방법이 새로운 대안으로 제시되고 있으며, 그 중 생물막법은 미생물의 대사를 통해 질소와 인을 소비하여 수질 오염 제어에 효과적으로 다른 공법에 비해 유지 관리가 용이하여 담체를 이용한 생물막 공정에 대한 연구가 늘어나고 있는 추세이다. 지금의 생물막법은 주로 하·폐수 위주로 개발되어 있기에 호소의 여건에 맞춘 새로운 담체 및 방법 연구를 통해 효과적인 조류 증식 제어가 가능할 것으로 기대된다. 따라서 조류 발생 사전 억제를 통해 양질의 수자원 확보와 친수용 호소의 수질 개선을 위해 호소에 적용 가능한 새로운 담체로 섬유상 담체를 이용하고자 하였다. 섬유 소재의 경우 뛰어난 내구성과 저가의 제품을 구하기 용이하다는 점에서 수처리 분야에서 폭넓게 이용되고 있다.

본 연구에서는 호소의 수질 조건에 맞는 새로운 친환경 기술 연구가 필요함에 따라 부영양화 호소에서의 섬유상 담체의 생물막으로써 적용 가능성을 분석하고, 담체의 경우 물리적 특성에 따라 처리 효율이 크게 좌우되므로 섬유상 담체의 물리적 특성 분석과 기존 생물막 공정의 담체와 비교를 통하여 적합한 담체 선정 후 부영양화 호소에서의 조류 증식 억제 효율에 대해서 연구하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

#### 2.1.1. 섬유상 담체(Fibrous Carrier)

본 실험에 사용되는 담체는 Table 1에 종류에 대해서 나타내었다. 담체는 울산의 (주)태성산업의 섬유상 담체로서 시중에서 구입이 용이하며, 가격이 저렴한 범용소재를 사용하였다. 담체를 수중에 설치하였을 때 수직으로 일정한 형태를 유지하도록 폴리에틸렌(Polyethylene) 재질의 부력재를 담체의 상부에 부착하여 설치하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 섬유상 담체의 생물막 부착 특성 및 물리적 특성 비교

섬유상 담체 9종의 물리적 특성 및 생물막 부착량을 비교하기 위해서 기공의 크기 및 기공율, 비표면적, 표면 거칠기 등을 분석하였고, 식 (1), (2)에 따라 담체 생물막 형성량과 두

**Table 1.** The physical properties of the fibrous carrier using in the experiment

Product Name	Specification	Subject matter
P.P. (Spun bond)	50 g/m <sup>2</sup> (3denier)	Polypropylene
	100 g/m <sup>2</sup> (3denier)	
	120 g/m <sup>2</sup> (3denier)	
P.E.T (Needle punch)	100 g/m <sup>2</sup> (3denier)	Polyester
	150 g/m <sup>2</sup> (3denier)	
	200 g/m <sup>2</sup> (3denier)	
Nylon	150 denier	Nylon
	300 denier	
	600 denier	

**Table 2.** The composition of synthetic artificial pollution water (BOD 150 mg/L, T-N 3.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L)

Component	mg/L tab water	Component	mg/L tab water
Glucose 98.0%	199.5	NaCl 99.0%	5.33
NH <sub>4</sub> Cl 98.5%	5.33	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 99.2%	2.67
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 99.0%	1.33	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O 97.0%	0.333
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 99.0%	26.7	MnCl <sub>3</sub> ·4H <sub>2</sub> O 98.0%	0.02976
KCl 99.0%	2.67	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 99.0%	0.001467
CaCl <sub>2</sub> 96.0%	2.67		

께를 측정하였다[5]. 이는 생물막 담체로서 가장 적합한 담체를 선정하기 위해 생물막 부착량 비교 실험으로 Table 2의 인공오염수에 부산시 S 하수처리장의 2차 반응슬러지를 주입하여 시간 경과에 따른 생물막 형성량과 두께 분석을 통하여 우수한 담체를 생물막 담체로 선정하여 사용하였다.

$$\text{Biofilm coating weight (mg/cm}^2\text{)} = \frac{(A_2 - A_1)}{A_1} \quad (1)$$

여기서, A<sub>1</sub> : The initial weight per area of the fibrous carrier  
A<sub>2</sub> : The biofilm formation weight per area of the fibrous carrier

$$\text{Biofilm thickness (mm)} = \frac{(W_2 - W_1)}{d \times S} \quad (2)$$

여기서, W<sub>1</sub> : The dry weight of the carrier  
W<sub>2</sub> : The wet weight of the carrier  
d : The density of the water (=1.02)  
S : The surface area of the carrier

#### 2.2.2. 호소에서의 영양염류 제거 및 조류 증식 억제 효율

본 실험은 호소 수질 조건에서 담체에 의한 조류 증식 억제 효과와 영양염류 제거 효율을 분석하기 위한 실험으로 Figure

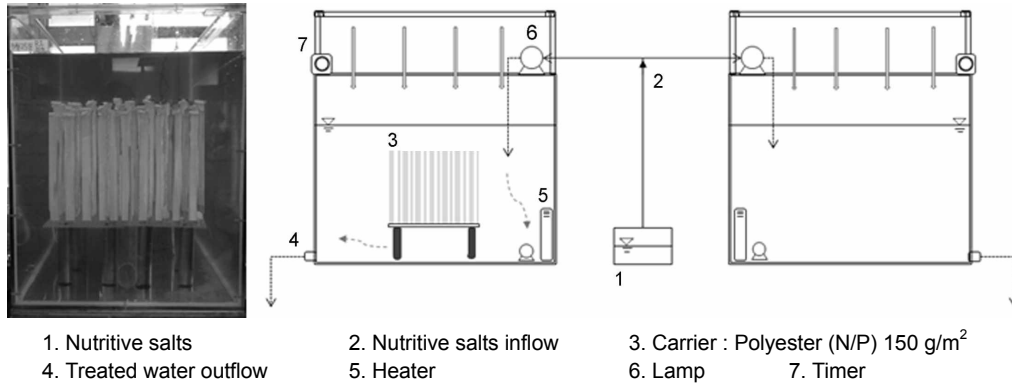


Figure 1. Schematic diagram of the Lake water quality conditions reactor.

Table 3. The composition of synthetic nutritive salts (BOD 5 mg/L, T-N 3.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L)

Component	mg/L tab water	Component	mg/L tab water
Glucose 98.0%	6.65	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 99.0%	1.33
NH <sub>4</sub> Cl 98.5%	5.33		

1에 나타나 있는 반응조 1개의 규격은 1,220 mm(L) × 630 mm(W) × 800 mm(H), 두께 20 mm의 폴리카보네이트(Polycarbonate) 소재를 사용하여 2개의 반응조를 제작하였다. Table 2의 조건을 바탕으로 실험군과 대조군에는 BOD 5 mg/L, T-N 3.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L의 수질 조건을 적용하였으며, 식물성 장용 형광등을 12 hr/day로 조사하였다. Table 3의 조건으로 영양염류를 제조하여 500 mL/day로 주입해주었으며, 대조군에는 담체를 설치하지 않았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 최적의 섬유상 담체 선정

담체의 경우 Young[6]에 따르면 담체의 유형, 크기 및 형태가 미생물의 체류 특성과 처리효율에 영향을 미치게 되며, 생물막은 유기물의 흡착, 미생물의 이동과 부착, 미생물 증식에

따른 생물막의 탈리(detachment)와 같은 과정을 거쳐 이뤄지며, 담체 기공률, 거칠기 등에 의하여 달라지고, 그 외에도 온도, pH, 영양물질의 농도 등의 영향을 받는다.

#### 3.1.1. 생물막 부착량 및 두께

본 연구에서는 부영양 수질 조건에서 담체에 부착되는 생물막량 변화를 통하여 미생물이 부착 성장 할 수 있는 최적의 조건을 가지는지에 대한 평가를 하였다. 담체가 수질 정화용 담체로 적합한지 판단하기 위해서는 생물막이 형성 후 유지되어야 하며, 그 결과는 Figure 2에 나타내었다. Figure 2(a)는 시간 경과에 따른 생물막 부착량에 대해서 나타낸 것으로 6시간 단위로 측정하여 총 60시간 동안 진행하였다. 9가지 섬유상 담체의 60시간 동안의 부착량 변화를 살펴보면, P.E.T. 담체는 5.30-5.70 mg의 부착량을 보이며, 이를 제외한 P.P.는 0.01-0.07 mg, Nylon 담체에서는 0.00018-0.042 mg의 소량의 생물막이 부착되었다. P.E.T. 재질 중에서도 150 g의 담체는 60시간 동안에 급격한 탈리 없이 꾸준히 증가하여 안정적인 경향을 보였다. Figure 2(b)에는 식 (2)에 따른 생물막 두께를 나타낸 것으로 생물막으로 이용되고자 할 때 적정두께는 1.0-2.0 mm 사이로 보는데, LaMotta 등[7]에 따르면 일정량 이상 충분히 두꺼워지면 더 이상 증가하지 않는다고 하였다. P.P.는 0.29-0.49 mm, Nylon은 0.24-0.68 mm의 부착두께를 나타냈으

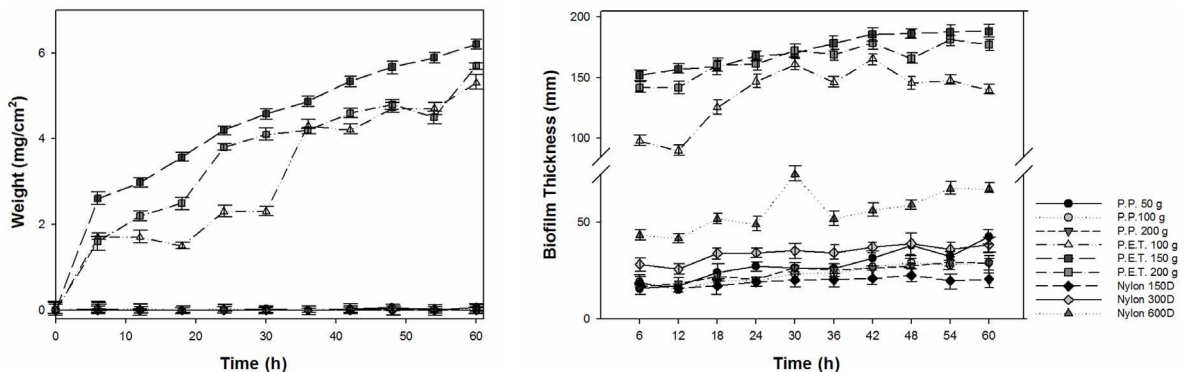


Figure 2. The microorganism adhesion weight and biofilm thickness of 9 kinds fibrous carrier in eutrophication lake water quality (BOD 150 mg/L, T-N 3.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L).

며, P.E.T. 재질의 섬유상 담체가 0.98-1.88 mm 사이 범위에서 형성되어 적정두께 범위안에서 생물막 두께가 형성되는 것을 알 수 있다. 그 중에서도 앞 실험 결과에서와 동일하게 150 g이 큰 변화 없이 유사한 두께로 지속됨에 따라 이에 9가지 섬유상 담체 중에서 P.E.T. 150 g 담체가 안정적인 부착을 보이며 생물막 담체로써 적합한 것으로 판단된다.

3.1.2. 담체 물성 분석

섬유상 담체 9가지의 담체의 형상을 주사전자현미경(SEM)으로 촬영하여 Figure 3에 나타내었고, 물리적 특성값 등을 Table 4에 정리하였다. 담체의 기공율은 미생물의 크기와도 상관이 있으며, 미생물의 크기에 적합한 세공이 많이 존재 할수록 유리하여 다공성 담체에서는 생물막이 잘 형성된다. 담체의 표면 거칠기는 미생물의 초기 부착에 중요한 인자로 친수성 담체를 거칠게 하면 친수성 증가와 더불어 표면 거칠기 효과가 함께 작용하여 미생물 부착성이 증가한다. 표면이 거칠수록 부착에 이용되는 면적이 넓으며, 거친 표면의 틈은 미생물이 유체의 전단력에 견딜 수 있는 힘이 강하게 작용되도록 해준다고 할 수 있다[8-10]. 폴리프로필렌과 폴리에스터

재질의 경우 낮은 중량과 얇은 두께를 가질수록 기공율이 높았으며, 폴리프로필렌, 나일론은 두께가 두꺼울수록 거친 경향을 보였다. 앞의 생물막 부착실험에서 높은 값을 보인 폴리에스터 재질의 경우에는 가장 좋은 부착량을 보인 폴리에스터 150 g이 제일 높은 거칠기와 높은 값의 기공율을 가짐을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 60시간 동안의 생물막 부착실험에서 6.20 mg/m<sup>2</sup>으로 가장 높은 생물막 부착량을 보이고 1.88 mm로 안정적이고 두꺼운 생물막을 유지하며, 44.79%의 기공율과 3.78 μm의 거칠기를 가지는 폴리에스터 150 g의 담체를 9가지의 섬유상 담체들 중 수처리용 담체로 이용하기 가장 적합한 것으로 판단하여 이를 이용하여 부영양화 수질 조건에서의 영양염류 제거 및 조류증식 억제 효율성을 분석하였다.

3.2. 영양염류 제거

Seo[11], Kim[12]에 따르면 영양염류는 부영양화의 주요인므로, 섬유상 담체를 이용하였을 때 영양염류의 제거율을 보기 위해서 실험을 진행하였다. 일반적으로 호소에서는 무기 질소의 형태별 비율을 보면 긴 체류시간에 따라 질산화 작용과 조류가 암모니아 형태의 질소를 우선 섭취함에 따라 질산성 질소의 형태가 비교적 높은 비율로 존재하며 아질산성 질소의 형태는 거의 존재하지 않는다[13,14]. 본 연구에서는 실험군(R1)과 대조군(R2)의 질소 제거 효율을 평가하고자 질산화 반응 및 탈질화 반응에 걸쳐서 일어나는 총 질소량의 변화를 Figure 4에 나타내었다. 3주간의 운전기간 동안 실험군에는 담체를 설치하고 대조군에는 담체를 설치하지 않고 500 mL/day 씩(BOD 20 mg/L, T-N 3.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L) 영양염류를 주입하며 운행하였다. 총 질소의 경우 시간이 경과함에 따라 실험군에서는 14.59% 감소하였으며 대조군에서는 23.22%로 증가하였다. 총 질소의 경우 앞서 말한바와 같이 질소의 총합으로 큰 효율이 나타나지 않는다. 그러나 수중에서 독성을 띄는 암모니아성 질소는 실험군에서 79.02%의 감소율을 보이고 대조군에서는 12.32의 감소율을 나타낸다. 질산화 반응은 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub>-N)가 호기성 조건에서 독립영양 박

Table 4. The physical feature analysis results of fibrous carrier

	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Thickness (mm)	Biofilm weight (mg/m <sup>2</sup> )	Biofilm thickness (mm)	Porosity	Surface roughness (SMD)
P.P. 50 g	50	0.20	0.07	0.43	24.48	3.010
P.P. 100 g	100	0.32	0.03	0.29	22.88	2.680
P.P. 120 g	120	0.36	0.00	0.28	20.50	3.210
P.E.T. 100 g	100	1.50	5.30	1.40	48.64	3.585
P.E.T. 150 g	150	2.10	6.20	1.88	44.79	3.780
P.E.T. 200 g	200	2.50	5.70	1.75	38.09	2.410
Nylon 150D	88	0.19	0.00	0.21	25.36	5.445
Nylon 300D	132	0.27	0.01	0.38	33.06	11.195
Nylon 600D	200	0.43	0.07	0.67	38.09	20.550

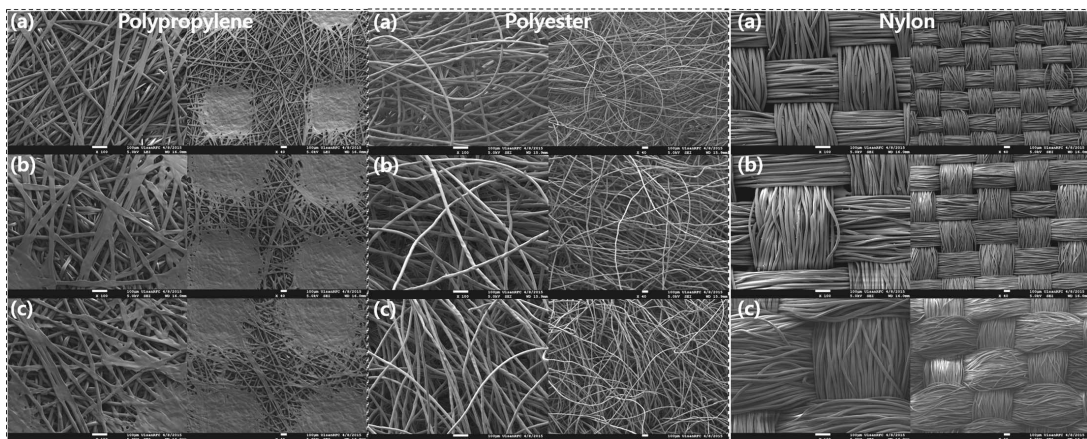
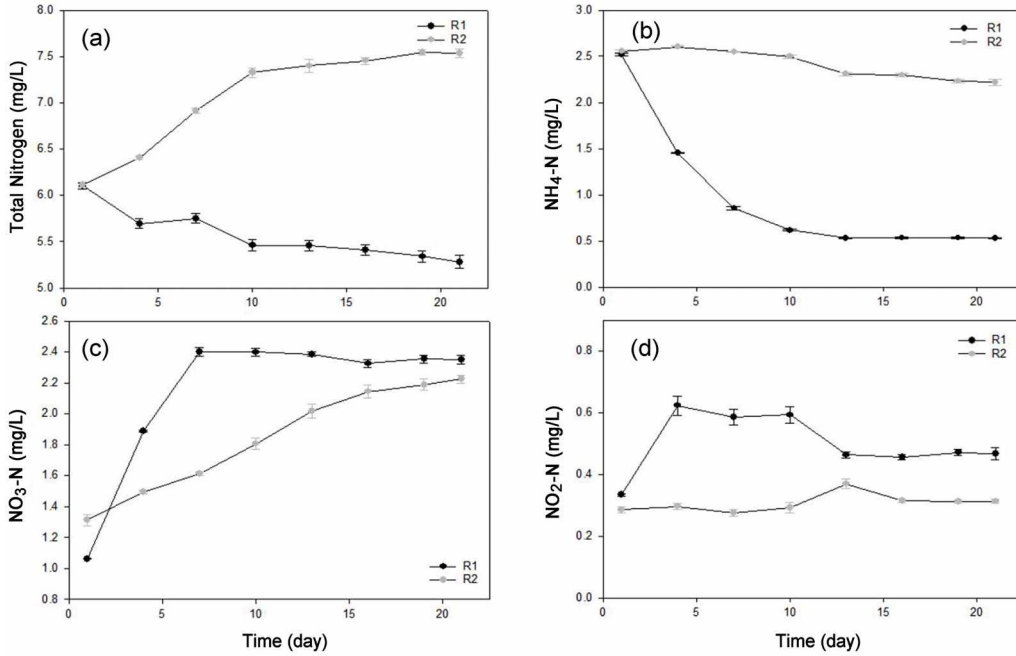
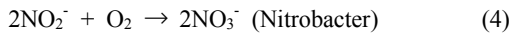


Figure 3. The porosity of fibrous carrier by SEM (Left : polypropylene, Middle : polyester, Right: 100x).



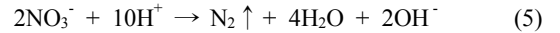
**Figure 4.** The (a) Total nitrogen, (b) NH<sub>4</sub>-N, (c) NO<sub>3</sub>-N, (d) NO<sub>2</sub>-N variation in artificial light irradiation and BOD 5 mg/L, T-N 3 mg/L, T-P 0.3 mg/L density, 23-25°C reactor (R1: The install carrier group, R2: The control group).

테리아(질산화미생물)에 의해 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N)를 거쳐서 다시 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)로 산화되는 과정이다. 암모니아성 질소가 아질산성 질소로 산화에 하는 반응에 관여하는 미생물은 Nitrosomonas와 Nitrocooccus로 알려져 있으며, 아질산성 질소의 산화에는 Nitrobacter가 관여하는 것으로 보고된다[15].

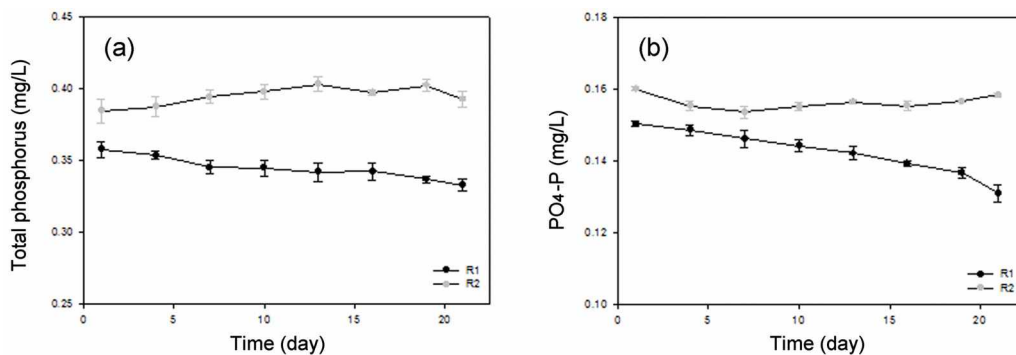


따라서 식 (3), (4)에 따라서 암모니아성 질소는 질산화 과정을 통해 아질산성 질소를 거쳐 질산성 질소로 산화되어 제거되어 진다. 암모니아성 질소가 nitrosomonas 미생물에 의해 아질산성으로 변환되는 단계가 더 우수성을 띄긴 하지만

nitrobacter의 성장 속도가 더 빠르기 때문에 아질산성 질소보다는 질산성 질소가 많이 생기게 되며 이는 Figure 4에 나타나 있는 실험군에서의 질산성 질소 122% 증가와 아질산성 질소 33% 증가량을 비교하여 증명할 수 있다. 이는 질산화 미생물이 질산화 반응을 진행하면서 탄소원으로써 유기물을 사용하면서 나타나는 경향으로 정상적인 질소제거가 일어났다고 판단된다[16]. 또한 질산성질소의 경우 7일까지 증가하다가 점차 감소하는 모습을 보였으며, 이는 식 (5)의 탈질반응에 의한 것으로 볼 수 있다.



다음으로는 인 제거율을 분석하였다. 총 인은 정인산염, 축합인산염, 유기인산염의 합으로 생명체의 일차생산력을 제한



**Figure 5.** The (a)Total Phosphorus, (b)PO<sub>4</sub>-P variation in artificial light irradiation and BOD 5 mg/L, T-N 3 mg/L, T-P 0.3 mg/L density, 23-25°C reactor (R1: The install carrier group, R2: The control group).

하는 영향소이며 침전물은 여러 수생지역에서 인의 이용성에 중요한 역할을 한다. Greenberg[17], Lee[18] 등에 따르면 생물학적 인 제거 방법은 미생물의 대사를 전환시키는 환경을 통해 세포 성장에 필요한 양보다 많은 양의 인을 섭취하여 제거하는 방법이다. Figure 5는 운전 기간 내의 총인과 인산염 인의 변화량으로 인의 농도는 담체 실험군에서 초기에 미세하게 증가하였다가 감소하는 경향을 보였고 대조군에서는 지속적으로 증가하면서 시간이 지날수록 일정 농도를 유지하였다. 이는 반응조 내에서 발생된 녹조가 다른 미생물에 동화되어 간다는 것이다. 실험군에서 총인의 제거효율은 6.36%를 보이며 인산염 인은 14%의 제거율을 보인다. 실험군에서 인의 농도가 감소하는 경향을 보이는 것은 반응조 내의 조류에 의해 담체 부착 생물막에 있는 미생물이 소모 및 흡수시킨 것으로 판단되며, 대조군에서는 조류 이외에 경쟁자가 없어 인의 농도가 상승한 것으로 판단된다. 담체가 설치되지 않은 반응기 내에는 조류가 발생하게 되면 조류 이외에는 다른 것이 발생되지 않는다. 하지만 담체가 설치되어 있는 반응기의 경우에는 조류를 포식하는 미생물이 생긴다는 것이다. 조류에 증식되어 있는 부착성 원생동물이나 물고기 등에 의해 인이 생체 속으로 동화되어 진다. 대조군에는 동화작용이 없기 때문에 인이 그대로 남아있는 것으로 판단된다. 따라서 물속의 인은 물고기나 미소동물 등이 생체로 인을 흡수하는 만큼 농도가 감소한다.

3.3. 조류 증식 억제 효율

식물 플랑크톤은 온도, 광도 등의 환경 요인의 변화로 인하여 성장 특성이 달라지기도 한다[19-21]. 따라서 본 연구에서 설치한 담체의 역할은 형성되어진 생물막 이용하여 수처리와 호소 내에서 수중으로 투과되어지는 광을 차단을 통해 클로로필-a의 성장을 억제시키고 동물성 플랑크톤의 서식지 공간을 제공해주기도 한다. Figure 6은 시간 경과에 따른 동물성 플랑크톤과 식물성 플랑크톤의 변화량을 나타낸 것이다. 실험군과 대조군에서 초기에는 동물성 플랑크톤이 7.0 cells/cm<sup>2</sup>, 2.0 cells/cm<sup>2</sup> 존재하며 실험군의 경우 담체 생물막 초기 배양으로 인해 더 많은 동물성 플랑크톤이 존재하고 있음을 알 수 있다. 식물성 플랑크톤은 초기에는 동물성 플랑크톤과 마찬가지로 실험군에서 2,334 cells/cm<sup>2</sup>, 대조군에서 153 cells/cm<sup>2</sup>로 더 많은 양의 식물성 플랑크톤이 존재하였다. 시간이 경과함에 따라 실험군에서는 동물성 플랑크톤이 식물성 플랑크톤을 섭취함에 따라 동물성 플랑크톤들이 번식하여 61%의 성장률을 보이며 계속해서 증가하고 식물성 플랑크톤은 초기에 비해 77% 줄어드는 경향을 보였다. 대조군의 경우 미세하게 존재하고 있던 동물성 플랑크톤은 시간이 경과함에 따라 줄어들다 9일차에 모두 사멸하였다. 동물성 플랑크톤이 모두 사멸한 뒤 9일 차부터 89% 급 상승하였고, 초기의 농도에 비해 99% 상승하여 식물성 플랑크톤 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 하지만 동물·식물성 플랑크톤의 증감량만으로 조류증식억제 효율이 높다고 판단하기에는 부족하므로 조류에 존재하는 녹색 색소인 클로로필-a의 농도를 함께 분석하여 Figure 7에 나타내었다.

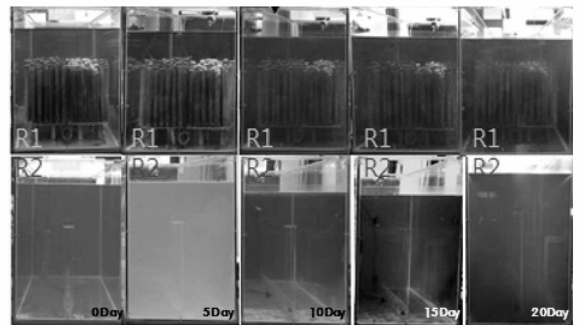
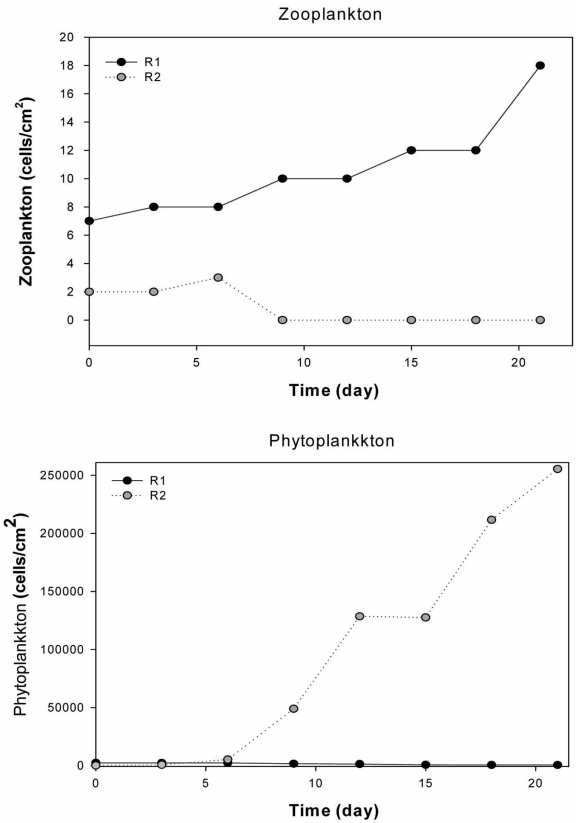
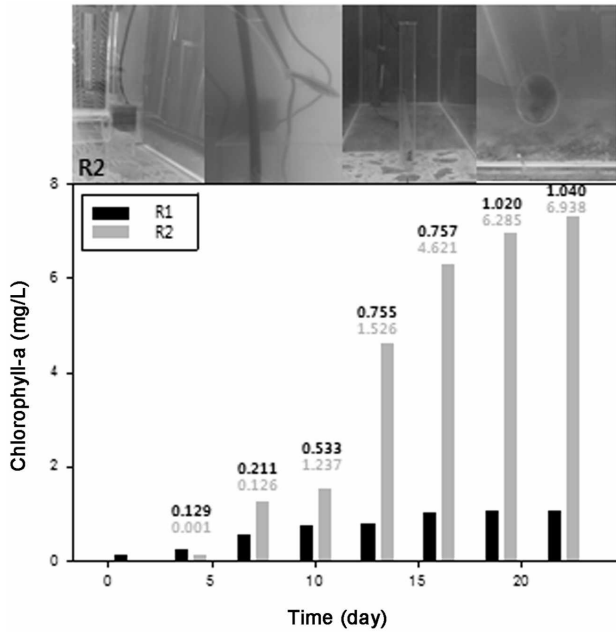


Figure 6. The Zooplankton, Phytoplankton variation in artificial light irradiation and BOD 5 mg/L, T-N 3 mg/L, T-P 0.3 mg/L density, 23-25 °C reactor (Figure 16). The algae growth of experimental group (installation of polyester (R1: The install carrier group, R2: The control group)).

Figure 7에서 볼 수 있듯이 담체 실험군에는 3주차에 들어서면서부터 소량의 녹조류가 생성되었고 대조군의 경우에는 2주차부터 녹조류가 생기며 3주차에는 육안으로 확인할 수 있을 정도로 생긴 것을 확인할 수 있다. 조류 생성량은 실험군 대조군의 수체 내 클로로필-a의 농도차이를 이용하여 계산하고 계산식은 아래 식 (6)과 같다.

$$\mu(d^{-1}) = \ln(X_2/X_1) / (T_2 - T_1) \tag{6}$$

여기서, X<sub>1</sub> : The initial concentration of the Chlophyll-a  
 X<sub>2</sub> : The measure time concentration of the Chlophyll-a  
 (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>) : The time interval of the sampling (d)



**Figure. 7.** The Chl-a variation in artificial light irradiation and BOD 5 mg/L, T-N 3 mg/L, T-P 0.3 mg/L density, 23-25 °C reactor (R1: The install carrier group, R2: The control group).

담체 실험군에서 조류 생성량은 초기에 비해서 38% 생성되었으나 시간이 경과하면서 성장률이 감소되는 추세이나 대조군에서는 초기에 99.21%로 급격히 증가하여 조류가 제어되지 못하고 번식한다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 섬유상 담체를 이용하여 생물막 담체로써 적합성을 평가하고 부영양화 호소에 적용하였을 때의 수질 개선 및 조류 증식 억제 효율 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다. 9가지의 섬유상 담체의 부착성 및 특성 비교 분석에 따르면 폴리에스터 담체가 일정한 생물막 부착과 1.0-2.0 mm 사이의 안정적인 생물막 두께가 유지되어 생물막이 유체 저항을 견딜 수 있을 정도로 형성됨을 알 수 있다. 생물막 부착에 있어서 중요한 영향 인자로 작용하는 물리적 성질인 기공율과 표면 거칠기가 다른 담체 비해 과도하게 높거나 낮지 않아 생물막 형성이 어려운 경향을 보이지 않고, 안정적인 값을 가지는 것으로 나타났다. 선정된 폴리에스터 담체를 이용하여 부영양화 호수 조건에서 실험을 진행한 결과, 부영양화 및 조류 증식의 주원인이 되는 영양염류의 제거율 또한 시간이 경과함에 따라 영양염류 농도가 점차 증가하는 대조군과는 달리 담체를 설치해 둔 실험군에서는 질소는 14.59%, 인은 6.36% 감소하였다. 온도, 광도 등의 변화에 영향을 받는 동·식물 플랑크톤과 클로로필-a의 수치를 통하여 조류 증식율을 유추한 결과, 실험군에서는 담체 설치에 따른 광차단 및 영양염류 제거에 따라 식물 플랑크톤 성장이 대조군에 비해 77% 억제되었으며, 대조군에서는 급격히 증가하여 99.94%

증가하는 경향을 보였다. 따라서 섬유상 폴리에스터 담체를 부영양화 호수에 설치하여 생물막을 통한 영양염류 제거와 광차단 및 식물 플랑크톤 성장 조절을 통하여 자연친화적인 생물학적 조류 증식 억제가 가능한 것으로 판단된다.

#### 감사

이 논문은 한국연구재단 BK21플러스 사업의 일환으로 수행된 연구결과입니다(21A20132012304).

#### References

- Han, T.-H., Shin, W.-J., Lee, I.-H., Jeong, Y.-G., and Kim, E.-S., "Look to the Statistics of the Korea Environment," Ministry of Environment, (2007).
- Gulliver, J. S., and Stefan, H. S., "Lake Phytoplankton Model with Destratification," *J. Environ. Eng. Division*, **108**(5), 864-882 (1982).
- Kim, A.-Y., "Analysis of Algal Growth Inhibition by Hydrodynamic Conditions in Air Diffusing System," Department of Civil and Environmental Engineering, (2007).
- Lee, W.-K., Lee, S.-Y., Park, S.-Y., and Kim, J.-H., "Development of Media as Function of Inhibition to Algae Growing up," *J. Korea Wetlands Soc.*, **7**(3), 49-55 (2004).
- Zahid, W. M. K., "Physical Properties of Rotating Biological Contactor Biofilms," Ph. D. Thesis, Dept, of Civil Eng., Univ. of Toronto, Canada, (1993).
- Young, D.-H., "The Production and Release of an Extracellular Polysaccharide during Starvation of a Marine *Pseudomonas sp.* and the Effect of Thereof on Adhesion," *Arch. Microbiol.*, **145**, 220-227 (1986).
- LaMotta, E. J., "Internal Diffusion and Reaction in Biological Films," *Environ. Sci. Technol.*, **10**(8), 765-769 (1976).
- Kang, Y. J., "A Study on the Removal of Nitrogen from Synthetic Wastewater by Immobilized Microorganism and Biofilm Process" Department of Environmental Bioengineering, Graduate School of Chosun University, (2009).
- Jeong, S.-I., "Development and Application of Biomedia Using the Wastewater Sludge," Department of Civil Engineering, Graduate School, Pukyong National University, (2007).
- Lee, C.-N., "The Effect of Surface Roughness and Shear on Bacterial Attachment," *J. Environ. Studies*, **13**, 39-43 (1995).
- Seo, D.-I., "Study on Eutrophication Characteristics and Water Quality Management Plan by the Stratification of Daechung Lake," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **20**(9), 1219-1234 (1998).
- Kim, J.-Y., A Study on Reduction Rate of Nutrient for Eutrophication Control of Yongsan Lake, Department of Environmental Health, Seoul School of Public Health, Seoul National University, (1999).
- Kang, Y. J., "A Study on the Removal of Nitrogen from Synthetic Wastewater by Immobilized Microorganism and Biofilm Process," Department of Environmental Bioengineering,

- Graduate School of Chosun University, (2009).
14. Johnson, W. K., and Schroepfer, G. J., "Nitrogen Removal by Nitrification and Denitrification," *J. Water Pollut. Control Federation*, **36**(8), 1015-1036 (1964).
  15. Teske, A., Alm, E., Regan, J. M., Toze, S., Rittmann, B. E., and Stahl, D. A., "Evolutionary Relationships among Ammonia- and Nitrite-oxidizing Bacteria," *J. Bacteriol.*, **176**(21), 6623-6630 (1994).
  16. Environmental Protection Agency, "Process Design Manual for Nitrogen Control," U.S., (1993).
  17. Greenberg, D. M., "[5] Plant Proteolytic Enzymes," *Methods in Enzymol.*, **2**, 54-64 (1955).
  18. Lee, T.-U., "Biological and Chemical Control Factors for Advanced Phosphorus Removal," Department of Environment Engineering Graduate School, Kyungpook National University, p. 11 (2012).
  19. Fujimoto, N., and Sudo, R., "Nutrient-limited Growth of *Microcystis Aeruginosa* and *Phormidium Tenue* and Competition Under various N:P Supply Ratios and temperatures," *Assoc. Sci. Limnol. Oceanography*, **42**(2), 250-256 (1997).
  20. Lee, H.-S., "Effect of Nutrient Concentration and Stoichiometry on the Phytoplankton Growth than Diphosphorus Uptake," Department of Environmental Science The Graduate School of Konkuk University, p. 4-5 (2010).
  21. Sterner, R. W., and Grover, J. P., "Algal Growth in Warm Temperate Reservoirs: Kinetic Examination of Nitrogen, Temperature, Light, and other Nutrients," *A J. Int. Water Assoc.*, **32**(12), 3539-3548 (1998).