

Phanerochaete chrysosporium PSBL-1 생물막을 이용한 오·폐수 처리 및 부착특성

이순영[†] · 강기철* · 원찬희*

전북지역환경기술개발센터 · *전북대학교 환경공학과

(2007년 3월 29일 접수, 2008년 1월 29일 채택)

Treatment and Attachment Characteristics of Biofilm of *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1 in Wastewater

Soon-Young Lee[†] · Ki-Cheol Kang* · Chan-Hee Won*

Jeonbuk Regional Environmental Technology Development Center

*Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT : The biofilm of white-rot fungi fully exposed in atmosphere are that operation is easy, management cost and energy waste is low. To develop biofilm of white-rot fungi fully exposed in atmosphere, basic test are as follows. To select most effective microorganism species, investigated treatment characteristics of wastewater containing non-biodegradable material for three species of white-rot fungi (*Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1, *Phanerochaete chrysosporium* KCTC 6147, *Trametes* sp. KFCC 10941) and activated sludge. And then investigated attached and detached biomass of selected white-rot fungi species on HBC ring surface. Among the three strains tested, *P. chrysosporium* PSBL-1 and *P. chrysosporium* KCTC 6147 showed higher efficiency for organics removal than *Trametes* sp. KFCC 10941, and *P. chrysosporium* PSBL-1 showed higher efficiency for nitrogen removal than *P. chrysosporium* KCTC 6147 and *Trametes* sp. KFCC 10941. Respectively, 51~59.8%, 57.5~60.3% of NBDCOD was removed for *P. chrysosporium* PSBL-1 and *P. chrysosporium* 6147 in pH 3.5~5.5. TN removal efficiency showed 39.3~85.3%, 3.4~7.6% for *P. chrysosporium* PSBL-1 and *P. chrysosporium* 6147 in pH 4.5~11.5 respectively. Considered that white-rot fungi remove organism and nitrogen simultaneously, the microorganism selected white-rot fungi *P. chrysosporium* PSBL-1. White-rot fungi *P. chrysosporium* PSBL-1 attached on HBC ring surface 4,538 mg/L, 4,546 mg/L, 4,531 mg/L after 5 minutes, 4,575 mg/L, 4,573 mg/L, 4,568 mg/L after 10 minutes from initial MLSS 4,600 mg/L in pH 4, 7 and 10 respectively. Also detached biomass is negligible from right after attachment to 10 day in pH 4, 7 and 10.

Key Words : White-rot fungi, *Trametes* sp. KFCC 10941, *P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* KCTC 6147, HBC ring, Atmosphere Biofilm, Wastewater Treatment

요약 : 난분해성물질 함유폐수에 대해 유지관리가 용이하며 저비용-저에너지 고효율적인 새로운 수 처리 방식인 대기노출형 백색부후균 생물막 공법을 적용하기 위한 기초실험을 실시하였다. 먼저 난분해성물질을 함유한 오·폐수 처리에 가장 효율적인 백색부후균 종을 선정하기 위해 백색부후균 3종 및 활성슬러지에 대한 처리특성을 조사하였으며, 선정된 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1에 대해서 HBC링 여재에 대한 부착 및 탈착특성을 조사하였다. 백색부후균 3종(*P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* KCTC 6147, *Trametes* sp. KFCC 10941)의 pH에 따른 처리특성을 조사한 결과 NBDCOD 제거율은 *P. chrysosporium* PSBL-1과 *P. chrysosporium* 6147가 pH 3.5~5.5에서 각각 51~59.8%, 57.5~60.3%로 비슷한 결과를 나타냈으나, TN 제거율은 pH 4.5~11.5에서 각각 39.3~85.3%, 3.4~7.6%로 현저한 차이를 나타내고 있다. 유기물 및 질소 동시제거 특성을 고려하여 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 선정하였다. 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1은 부유상태의 초기농도 4,600 mg/L에서 HBC 링 여재 부착시작 5분후 pH 4, 7, 10에서 각각 4,538 mg/L, 4,546 mg/L, 4,531 mg/L, 10분 후 4,575 mg/L, 4,573 mg/L, 4,568 mg/L로 5분 이후에는 미생물 부착이 거의 되지 않았다. HBC링 여재에 부착된 *P. chrysosporium* PSBL-1을 10일 동안 1일 간격으로 탈착량을 조사한 결과 탈착량은 거의 미미하였다.

주제어 : 백색부후균, *Trametes* sp. KFCC 10941, *P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* KCTC 6147, HBC ring, 대기노출형 생물막, 폐수처리

1. 서론

일반적으로 생물막을 이용한 수처리 공법은 활성슬러지 공법이나 기타의 공법보다 유지관리가 용이하고 에너지 소

비가 낮으며,¹⁾ 생물막 형성시 미생물의 종류에 제한되지 않고 슬러지의 양이 최소화되며 pH의 변화에 안정된 특성을 갖고 있다.²⁾ 최근에는 기존의 살수여상, 회전원판, 유동층 생물막법³⁾ 등의 생물막을 이용하는 공정에서 담체를 이용한 고정생물막⁴⁻⁶⁾ 공정에 관한 연구 및 적용이 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 박테리아를 이용한 생물막 공법은 다양한 성상의 난분해성물질을 함유한 폐수에 대해 박

[†] Corresponding author

E-mail: lucidime@chonbuk.ac.kr

Tel: 063-270-2446

Fax: 063-270-2449

테리아의 생장을 억제 및 활성저하로 인한 한계를 나타내고 있다.

1970년대 Tien과 Kirk에 의해 백색부후균을 이용한 난분해성 물질 제거 연구가 시작된 이래 현재까지 백색부후균을 이용한 수처리 연구가 활발히 진행되고 있다.⁷⁾ 백색부후균은 세포외효소 발현의 최적환경이 조성되면 높은 산화환원 전위와 기질 비선택성을 가진 lignin peroxidase, manganese peroxidase와 laccase와 같은 세포외효소가 분비되어 다양한 성상의 오염원을 효과적으로 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다.⁸⁾ 이러한 세포외효소를 효과적으로 이용하기 위해 백색부후균을 nylonweb,⁹⁾ porous ceramics,¹⁰⁾ polyurethane foam과 polyethylene,¹¹⁾ polysulphone과 ceramic membranes¹²⁾과 같은 다양한 media에 부착시켜 폐수를 처리하는 연구도 수행되었다. Guo 등¹³⁾은 *P. chrysosporium*의 포자를 4일 동안 배양하여 회전원판에 균사를 부착시켜 chlorophenols와 chloroguaiacols을 처리한 결과, 3시간 반응후 80~90%가 제거되었으며, 이는 *P. chrysosporium*이 분비하는 LiP(lignin peroxidase)에 의하여 진행되는 chlorophenols와 chloroguaiacols이 메틸화 된다고 보고하였다. Prasad와 Joyec¹⁴⁾는 회전원판에 부착시킨 *Trichoderma* sp.로 3일 동안 글루코스 500 ppm이 첨가된 표백액수(pH 4.0)를 회분식으로 처리시 색도는 57%, COD는 25% 제거되었다고 보고하였다.

현재까지 연구된 대부분의 생물막 공법은 물속에 침지시켜 일정농도의 DO를 유지하기 위해 포기용 송풍기를 이용하여 강제로 산소를 공급하므로 포기에 소모되는 전력 비용이 많이 든다. 또한 포기에 의해 발생하는 전단응력에 의해 여재에 형성된 생물막의 탈리로 인해 많은 양의 슬러지를 발생함에 따라 또다른 산업 폐기물을 배출한다.

본 연구에 사용한 HBC(Hanging Bio-Contactor)링¹⁵⁾ media는 polyvinylidene 재질로 물과 접촉시 (±)전하를 띄고 있기 때문에 미세 슬러지 부착에 유리하고 비표면적이 넓기 때문에 미생물 부착량이 많아 고농도의 미생물량을 유지할 수 있다. 또한 미세한 고행물질을 잘 잡아 분해시켜 주므로 SS 제거효율도 높고 자체의 인장강도도 높다. 또한 저렴하기 때문에 유지관리 비용이 저렴한 편이다.

따라서 본 연구에서는 난분해성물질 및 질소가 함유된 오·폐수에 대해 NBDCOD 및 질소 동시제거가 가능한 백색부후균 종을 선정된 후, 선정된 백색부후균 종을 대상으로 비표면적이 넓은 HBC링 media에 대한 부착 및 탈착 특성을 조사하여 대기노출형 백색부후균 생물막공법의 도입을 위한 가능성을 검토하고 한다.

2. 실험재료

2.1. 대상시료

본 연구에 사용된 시료는 C대학 내 위치하는 식당, 화장실 및 실험실에서 배출되는 오·폐수로 대학 내 오수처리장의 1차 침전 후 월류수를 대상으로 하였다.

Table 1. Characteristics of wastewater

Item	Concentration(mg/L)
pH	6.66 ~ 7.97
COD _{Cr}	167 ~ 249
COD _{Mn}	89.7 ~ 116
BOD ₅	70.2 ~ 101
SS	39.4 ~ 120
TN	39.1 ~ 63.2
NH ₄ -N	37.2 ~ 61.2
TP	3.2 ~ 5.3
NBDCOD	70 ~ 100

2.2. 미생물

2.2.1. 활성슬러지

본 연구에 사용된 활성슬러지는 J시 하수처리장의 반송슬러지로 농도는 약 4,760 mg/L인 것을 사용하였다.

2.2.2. 백색부후균

본 연구에 사용된 균주는 백색부후균 중 *Trametes* sp. KFCC 10941과 *P. chrysosporium* PSBL-1은 Y대학, *P. chrysosporium* KCTC 6147은 한국생명공학연구원 유전자은행(KCTC)에서 분양 받아 사용하였다. 균주의 보관을 위하여 Table 2의 YMPG 액체배지에 Agar 20 g/L가 포함된 고체배지를 만들어 15일마다 계대 배양하였으며, 고체배지상의 균주를 YMPG 액체배지에서 배양하여 폐수에 적용하였다. 배양온도는 *P. chrysosporium* PSBL-1와 *P. chrysosporium* KCTC 6147이 37°C, *Trametes* sp. KFCC 10941이 28°C로 유지되었다. 또한 배양에 사용된 모든 시약은 Sigma chemical Co. 및 Aldrich chemical company, Inc.(USA)에서 구입하여 사용하였다.

2.3. HBC링 접촉여재

본 연구에 사용된 HBC(Hanging Bio-Contactor)링 접촉여재는 국내 D사 제품으로 폴리비닐리덴으로 구성된 매디아로써 실타래와 같이 다량의 가는 실을 묶어서 비표면적을 늘린 여재이다. HBC링 접촉여재의 비표면적은 0.8 m²/m이다.

Table 2. The compositions of maintenance and spore production medium¹⁶⁾

Item	Medium(per liter)
D-glucose	10 g
Malt Extract	10 g
Yeast Extract	10 g
Bacto peptone	2 g
Asparagine	1 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1 g
KH ₂ PO ₄	2 g
Agar	20 g(exception in liquid medium)
pH	4.5

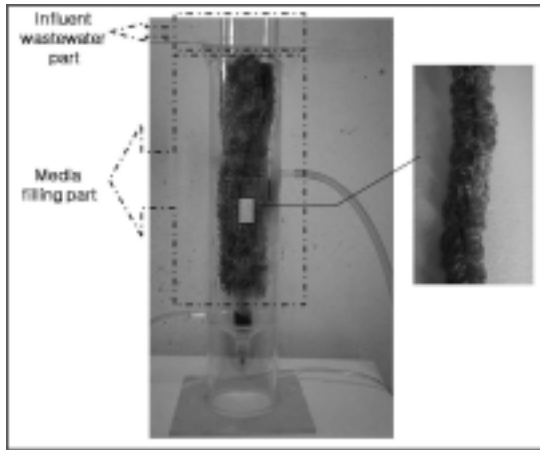


Fig. 1. batch reactor and HBC ring.

2.4. 반응기

HBC 링 접촉여재와 배양된 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 부착특성을 조사하기 위해 사용된 반응기는 Photo. 1에서 보는 바와 같이 투명한 아크릴 원통 2단으로 제작되었다. 상단의 폐수 유입부는 직경 8.5 cm, 높이 10 cm, 하단의 HBC 링 여재 충전부는 직경 9 cm, 높이 35 cm의 구조로 HBC 링 여재 총 300 cm(30 cm×10)가 충전되어 있다.

3. 실험방법 및 내용

3.1. 시료분석

본 연구의 시료 분석은 Standard Methods 및 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였으며, 수질 분석항목 및 분석방법은 Table 3과 같다. 도식된 모든 결과값(Fig. 2~8)은 동일조건에 대해 10배수로 수행된 결과의 평균값을 나타낸 것이다.

3.2. 백색부후균 screening

실험은 회분식으로 700 mL 시료 용기에 총 시료 부피는 300 mL로 하여 백색부후균 3종(*P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* 6147, *Trametes* sp. KFCC 10941)을 미생물 농도 약 2,500 mg/L가 되게 혼합하여 150 rpm으로 6 hr 동안 진탕배양^{17~19)} 후 30분 동안 정지하여 상등수를 채수하여 분석하였다. 대조구로 활성슬러지를 동일조건으로 하여 폐수처리 특성을 조사하였다.

Table 3. Wastewater quality analysis methods

Items	Analytical Methods and Equipment
pH	pH meter(Istek 750P)
SS	Standard Methods, 2540 D. Tss Dried at 103~105 °C
BOD ₅	Standard Methods, 5210 B. 5-Day BOD Test
COD _{Cr}	Standard Methods, 5220 C Closed Reflux, Titrimetric Method
COD _{Mn}	Korean Standards Methods, Acidic Method
TN	(HACH DR/2500)

- ① *P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* 6147, *Trametes* sp. KFCC 10941
- ② 활성슬러지(대조구)

3.3. 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1 부착

배양된 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1 농도 약 4,600 mg/L, 1 L를 반응조 충전부의 HBC 링 여재와 일정 시간동안 포기하면서 접촉시켜 부착하였다.

3.4. 미생물 부착속도 조사

백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 pH에 따른 HBC 링 여재의 부착량을 조사하기 위해 여재 접촉 전 부유농도에서 여재 접촉 후 10분 동안 1분 간격으로 부유농도를 측정하여 조사하였다.

3.5. HBC 링 접촉여재와 미생물의 탈착량 조사

HBC 링 접촉여재와 미생물의 적정성을 평가하기 위해 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 HBC 링 접촉여재에 부착 직후 YMPG 배지 3 L를 pH 4, 7, 10로 조절하여 50 mL/min(원수 10 mL/min, 재순환수 40 mL/min)으로 주입하면서 1일 간격으로 10일 동안 여재에 부착된 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 부착량(여재 길이 5 cm) 및 탈리량 조사하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 백색부후균 screening

pH에 따른 COD_{Cr} 제거율에 미치는 영향을 조사한 결과, 백색부후균 3종 모두 pH 3.5~5.5에서 가장 제거율이 우수하였으며, *Trametes* sp. KFCC 10941보다는 *P. chrysosporium* 6147과 *P. chrysosporium* PSBL-1이 58.5~67.5%로 가장 양호한 제거율을 나타냈다. 활성슬러지의 최대 활성 pH 영역인 6.5~8.5에서 제거율 33.1~36.3%를 나타냈으며 그 외의 pH 영역에서는 20% 내외의 제거율을 나타냈다. 백색부후균 3종은 pH 2.5와 11.5를 제외하고 모든 영역의 pH에서 37% 이상의 제거율을 나타냈다. 이러한 결과를 바탕으로 광범위한 pH의 영역에서 활성슬러지보다는 백색부후균의 처리율이 더 우수하며, 폐수의 pH 충격에 의한 처리율 감소는 활성슬러지보다는 백색부후균이 덜 받을 것으로 판단된다. 동시에 처리능도 활성슬러지 보다 훨씬 증가될 것으로 판단된다.

NBDCOD의 경우 *P. chrysosporium* 6147과 *P. chrysosporium* PSBL-1은 pH 3.5~5.5, pH 8.5~10.5에서 가장 높은 제거율을 나타냈으며, *Trametes* sp. KFCC 10941은 pH 3.5~4.5, pH 9.5에서 가장 높은 제거율을 나타냈다. pH 3.5~5.5에서 *Trametes* sp. KFCC 10941보다는 *P. chrysosporium* 6147과 *P. chrysosporium* PSBL-1의 NBDCOD 제거능이 높게 나타났다. 백색부후균에 의한 NBDCOD 제거는 일반

적으로 백색부후균의 세포외효소인 LiP(lignin peroxidase), MnP(Manganese peroxidase) 및 laccase 등의 기질 비특이적 효소작용에 의해 제거되는 것으로 알려져 있으나,²⁰⁾ 본 연구의 NBDCOD 제거는 세포외효소의 작용과 흡착에 의한 제거로, 산성영역에서는 후자보다는 전자가, 알칼리성영역에서는 전자보다는 후자의 작용에 의한 영향으로 판단된다. 실제로 모든 pH 영역에서 MnP, LiP 및 laccase의 활성도는 검출되지 않았는데, 이는 유출수 내 효소활성도를 측정할 수 있는 수준으로 분비되지 않았기 때문으로 판단된다. pH 8.5 이상에서는 백색부후균이 pellets화 되어 있었으며, pellets표면에는 끈적한 점액성 물질이 둘러싸여 있었다. 김 등²¹⁾에 의하면 pH 4.5~4.7에서 *P. chrysosporium*에 의한 orange II 분해는 초기성장기때 흡착에 의해 이루어진다고 보고하고 있다. 활성슬러지의 NBDCOD 제거능은 거의 없는 것으로 나타났다. Juan Wu²²⁾는 *P. chrysosporium*, 다공성 플라스틱 매체에 *Plerotus ostreatus* and S22에 대해 pH 7~11에서 펄프제지폐수 처리특성을 조사한 결과, *P. chrysosporium*은 리그닌은 pH 9에서 78%, COD는 pH 8에서 65%로 최대 제거율을 나타냈으며, S22는 pH 10에서 리그닌과 COD 각각 84%, 69%을 나타냈다. *P. chrysosporium*은 pH 8~9, *P. ostreatus* and S22은 pH 9~11로 백색부후균 strains에 따라 최적의 pH는 다양함을 보고하고 있다. Haddadin et al²³⁾는 *P. chrysosporium*의 효소 생산 및 리그닌 분해는 pH 4.5에서 최대를 나타내며, *Oxy-sporus* sp.와 *Schizophyllum commune*은 pH 5에서 최대를 나타냈다고 보고하고 있다. Kaal et al.²⁴⁾은 *P. chrysosporium*, *L. edodes* and *Pleurotus sajor-caju*에 의한 리그닌 분해가 pH 6.5에서 가능하다고 보고하고 있다.

BOD₅의 경우 백색부후균 3종 모두 pH 3.5~7.5에서 가장 양호한 제거율로 66.1~84.9%를 나타냈으며, *P. chrysosporium* 6147과 *Trametes* sp. KFCC 10941는 pH 8.5~10.5에서도 60% 이상의 제거율을 나타냈다. 반면에 활성슬러지는 중성 pH 부근인 pH 5.5~8.5 영역에서 59.4~79.3%로 가장 양호한 제거율을 나타냈으며 산성과 알칼리성 영역에서 활성이 현저하게 감소된 것으로 나타났다.

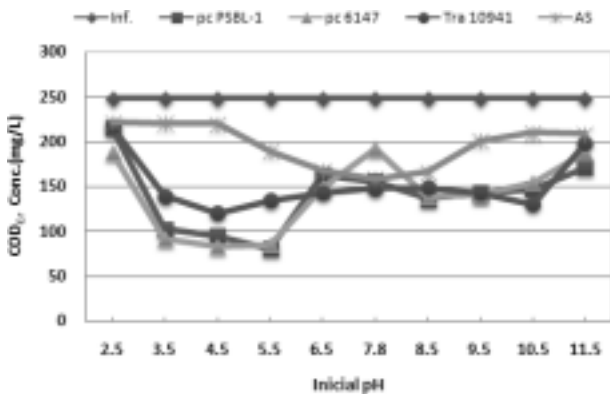


Fig. 2. Treatment characteristics of COD_{Cr} to various pH on microorganism.

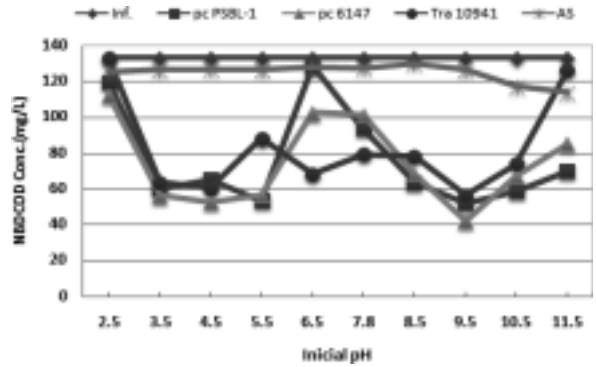


Fig. 3. Treatment characteristics of NBDCOD to various pH on microorganism.

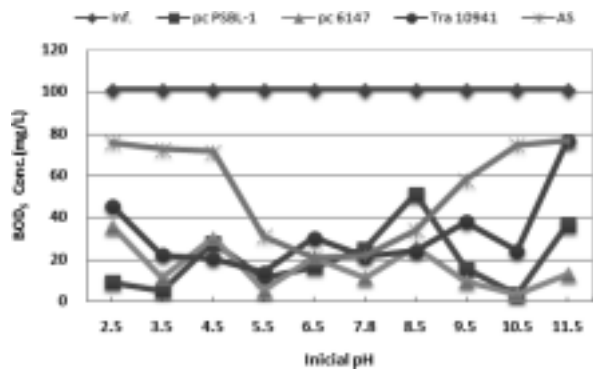


Fig. 4. Treatment characteristics of BOD₅ to various pH on microorganism.

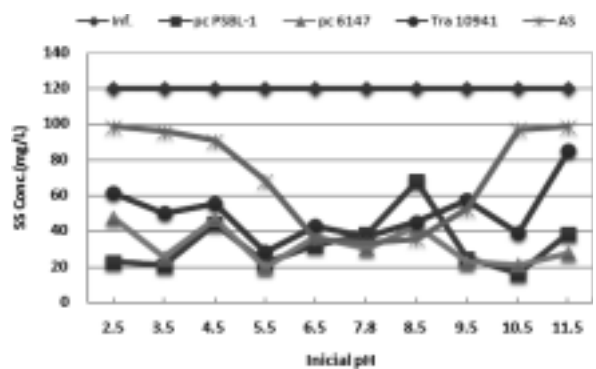


Fig. 5. Treatment characteristics of SS to various pH on microorganism.

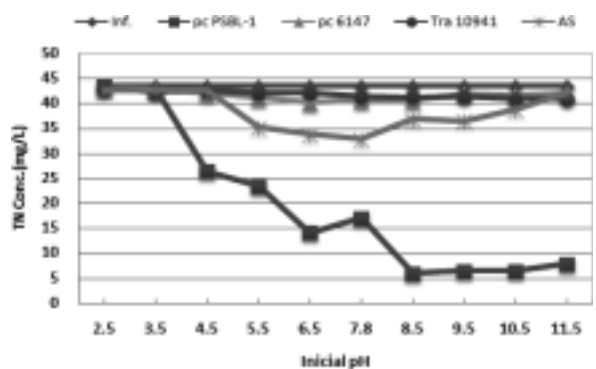


Fig. 6. Treatment characteristics of TN to various pH on microorganism.

SS의 경우 백색부후균 3종 모두 모든 pH 영역에서 비슷한 경향을 나타냈다. 그러나 활성슬러지의 경우 pH 5.5~8.5를 제외한 산성과 알칼리성 pH 영역에서는 SS제거율이 활성이 현저하게 감소된 것으로 나타났다.

TN 제거율은 백색부후균 3종이 현저한 차이를 나타냈다. 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 경우 pH가 증가할수록 질소제거율도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 산성영역에서의 질소제거 특성은 미생물의 활성에 의한 영향이나 알칼리성 영역인 pH 8 이상에서의 질소제거 특성은 암모늄형태의 질소가 암모니아로 전환되어 탈기²⁵⁾에 의한 영향과 동시에 고형물에 부착된 암모니아성 질소 일부는 백색부후균 표면에 흡착되어 제거된 것으로 판단된다.

동일한 조건의 폐수조건에서 유기물 및 질소의 동시 제거를 고려하여 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 선정하였다.

4.2. 미생물 부착속도 조사

pH에 따라 HBC링 여재에 대한 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 부착량을 조사한 결과, HBC링 여재에 부착되는 *P. chrysosporium* PSBL-1량은 pH 영향이 없이 경과시간 5분까지 증가하는 경향이었으나 이후 10분까지 거의 변화가 없었다. 초기 부유농도 4,600 mg/L에서 1분후 pH 4, 7, 10에서 각각 2,800 mg/L, 2,740 mg/L, 2,300 mg/L로 감소되었으며, 5분 후 62 mg/L, 55 mg/L, 69 mg/L로 감소되었다. HBC링 여재에 부착된 *P. chrysosporium* PSBL-1 농도는 pH 4, 7, 10 각각 5분 후 4,538 mg/L, 4,546 mg/L, 4,531 mg/L에서 10분 후 4,575 mg/L, 4,573 mg/L, 4,568 mg/L로 5분 이후에는 미생물 부착이 거의 되지 않음을 알 수 있다. HBC링 여재에 대한 *P. chrysosporium* PSBL-1의 부착속도는 쇠석, 플라스틱, SWPP(synthetic waste polyethylene porous)²⁶⁾ 및 섬모상 여재에서의 20~30일 동안의 안정한 형태로 부착시키는 기간에 비하면 현저히 빠름을 알 수 있다. 이는 HBC링 여재 재질이 polyvinylidene chloride fiber로 되어 있어 물과 접촉하게 되면 여재 표면이 (-)전하로 대전되기 때문이며, 백색부후균의 균사와 HBC링 여재의 loop 구조 실을 혼합시 구조적으로 안정된 형태로 엉켜 있기 때문인 것²⁷⁾으로 판단된다. 또한 미생물 부착환경내 기질이 거의 고갈된 빈영양 상태로 미생물의 소수성이 증가²⁸⁾되었기 때문인 것으로 판단된다. Juan Wu 등²²⁾은 *L. edodes*와 *T. versicolor*보다 *P. chrysosporium*, *P. ostreatus*와 S22의 생물막이 더 빠르게 형성되었으며, 또한 리그닌 및 COD 제거율이 더 높게 제거된 것과 일치한다고 보고하고 있다. Good 등²⁹⁾에 의하면 부착 및 성장에 기여하는 미생물과 담체와의 상호작용은 계면으로의 전하를 띄고 있는 활성화된 작용기의 흡착의 범주로 해석되므로 소수적인 작용과 친수적인 작용 모두가 기여하며 중요한 변수로 알려져 있다고 보고하고 있다.

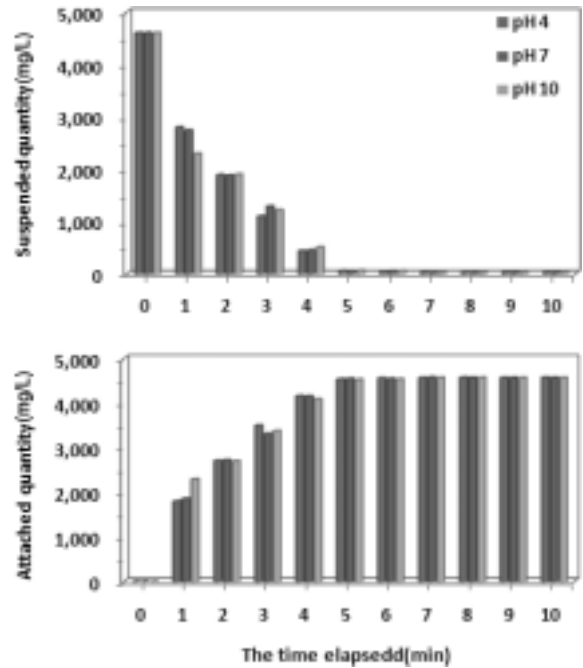


Fig. 7. Adhesive quantity of Biomass.

4.3. HBC링 접촉여재와 미생물의 탈착량 조사

HBC링 여재에 부착 직후 1일 간격으로 10일 동안 여재에 부착된 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1의 변화량을 일정한 길이(5 cm, 여재 비표면적 0.8 m²/m)에서 탈착시켜 여재에 부착된 미생물량을 측정하였다. 또한 유출수 중의 SS를 측정하여 탈리된 미생물량을 측정하였다. 실험결과 경과일수에 따라 여재에 부착되어 있는 *P. chrysosporium* PSBL-1은 pH 4에서 부착 직후 313 mg/m²에서

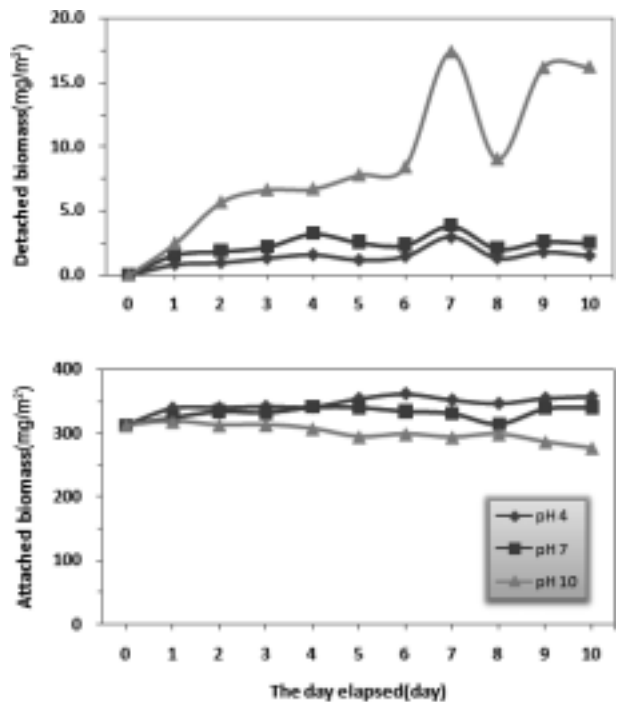


Fig. 8. Variation of adhesive biomass on the day elapsed.

10일 경과 후 358 mg/m²로 약 45 mg/m²가 증가하였으며, pH 7에서 부착 직 후 313 mg/m²에서 10일 경과 후 341 mg/m²로 28 mg/m²가 증가하였다. 반면에 pH 10에서는 부착 직후 313 mg/m²에서 10일 경과 후 277 mg/m²로 36 mg/m²가 감소하였다. 유출수 중의 탈리량은 미미하지만 pH 10에서 경과일수가 증가 할수록 증가하는 경향을, pH 4, 7은 경과일수에 따라 거의 일정한 것으로 나타났다. 생물막의 탈착속도는 유체의 전단력, 생물막의 형태 및 media의 특성 등 복합적인 영향을 받는다고 알려져 있다.³⁰⁾ 이러한 결과를 바탕으로 *P. chrysosporium* PSBL-1을 HBC링 여재에 부착하여 폐수에 적용시 알칼리성보다는 산성과 중성영역에서 활성슬러지 발생량을 감소시키며 또한 부착된 미생물량을 증가시켜 폐수처리율도 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 선용호³¹⁾ 등에 의하면 반응조 안에서의 처리효율의 증가는 담체의 단위면적당 미생물 부착량과 생물막의 생성속도, 물리적·화학적 안정성에 의존한다고 보고하고 있다.

5. 결론

유지관리가 용이하며 저비용-저에너지 고효율적인 새로운 수 처리 방식인 대기노출형 생물막 개발을 위한 기초 실험으로, 오·폐수 처리에 가장 효율적인 백색부후균 종을 선정하기 위하여 폐수 처리특성을 조사하였으며, 선정된 백색부후균 종에 대해서 HBC링 여재에 대한 부착 및 탈착특성을 조사하였다.

1) 백색부후균 3종(*P. chrysosporium* PSBL-1, *P. chrysosporium* 6147, *Tra*)의 pH에 따른 처리특성을 조사한 결과, NBDCOD 제거율은 *P. chrysosporium* PSBL-1과 *P. chrysosporium* 6147가 pH 3.5~5.5에서 각각 51~59.8%, 57.5~60.3%로 비슷한 결과를 나타냈으나, TN 제거율은 pH 4.5~11.5에서 각각 39.3~85.3%, 3.4~7.6%로 현저한 차이를 나타내고 있다. 따라서 유기물 및 질소동시 제거를 고려하여 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 선정하였다.

2) pH에 따라 HBC링 여재에 대한 *P. chrysosporium* PSBL-1의 부착량을 조사한 결과 HBC링 여재에 부착되는 *P. chrysosporium* PSBL-1량은 pH 영향이 없이 경과시간 5분까지 증가하는 경향이었으나 이후 10분까지 거의 변화가 없었다. HBC링 여재에 부착된 *P. chrysosporium* PSBL-1 농도는 pH 4, 7, 10 각각 5분 후 4,538 mg/L, 4,546 mg/L, 4,531 mg/L에서 10분 후 4,575 mg/L, 4,573 mg/L, 4,568 mg/L로 5분 이후에는 미생물 부착이 거의 되지 않았다.

3) HBC링 여재에 부착된 *P. chrysosporium* PSBL-1은 부착직 후 10일까지 탈착량을 조사한 결과 탈착량 거의 없었다.

사 사

본 연구(KRF-2004-217-D00006)는 정부(교육인적자원부)

의 재원으로 전북지역환경기술개발센터(JENTEC)를 통해서 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행되었다.

참 고 문 헌

1. Wilderer, P. A., Arnz, P., and Arnold, E., "Application of Biofilms and Biofilm Support Materials as a Temporary Sink and Source," *Water, Air, Soil Pollut.*, **123**(1), 147~158(2000).
2. Dillon, R., Fauci, L., Fogelson, A., and Gaver, D., "Modeling Biofilm Processes using the Immersed Boundary Method," *J. Comput. Phys.*, **129**, 57~73(1996).
3. Coelho, I., Boaventura, R., and Rodrigues, A., "Biofilm Reactors. An Experimental and Modeling Study of Wastewater Denitrification in Fluidized-bed Reactors of Activated Carbon Particles," *Biotechnol. Bioeng.*, USA Wiley, **40**(5), 625~633(1992).
4. Nambu, T., Kawarura, K., and Kaneko, M., "Wastewater Treatment by a Submerged Contact Media Process Using net Plates," *Water Sci. Technol.*, **23**, 1853~1862(1991).
5. 이수구, 임병란, 조창호, 채만병, "섬유상 담체를 이용한 생물학적 폐수처리에 관한 연구(2)," *대한환경공학회지*, **17**(10), 941~951(1995).
6. Park, Y. K., et al., "Physical Characteristics of Support Media for Microbial Immobilization," *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **7**(3), 269~274(1998).
7. Maria, T. M., Ivan, Gumersindo, F., "Evaluation of different fungal strains in the decolourisation of synthetic dyes," *Kluwer Academic Publishers*, **22**, 1499~1503(2000).
8. Ozfer, Y., Dilek, A., Seval, C., "Decolorization of textile dyes by fungal pellets," *Biotechnol.*, **38**(6), 1286~1293(2003).
9. Moreira, M. T., Feijoo, G., Palma, C., Lema, J. M., "Continuous production of Manganese Peroxidase by *Phanerochaete chrysosporium* immobilized on polyurethane foam in a pulsed packed-bed bioreactor," *Biotechnol. Bioeng.*, **56**, 130~137(1997).
10. Cornwell, K. L., Tinland-Butez, M. F., Tardone, P. J., Cabasso, I., Hammel, K. E., "Lignin degradation and lignin peroxidase production in cultures of *Phanerochaete chrysosporium* immobilized on porous ceramic supports," *Enzyme Microbiol. Technol.*, **12**, 916~920(1990).
11. Hela Zouari, Marc Labat, Sami Sayadi, "Degradation of 4-chlorophenol by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* in free and immobilized cultures," *Bioresour. Technol.*, **84**, 145~150(2002).
12. Sheldon, M. S., Small, H. J., "Immobilisation and biofilm development of *Phanerochaete chrysosporium* on polysulphone and ceramic membranes," *J. Membr. Sci.*, **263**(15), 30~37(2005).

13. Guo, H., Chang, H., Joyce, T. W., and Glaser, J., "Bio-technology in pulp and paper manufacture," ed. Kirk. T. K. and H. M. Chang. Butterworth - Heinmann. Stoneham., pp. 223 ~ 230(1990).
14. Prasad, D. Y. and Joyce, T. W., "Color removal from kraft bleachplant effluents by *Trichoderma* sp.," *Tappi J.*, **74**(1), 165 ~ 169(1991).
15. 독고석, 자연포기방식의 현수 접촉재를 이용한 소규모 오·폐수처리장치 현장적용에 관한 연구, 전북지역환경기술개발센터 2002년 연구보고서, p. 10(2003).
16. Tien, M., Kirk, T. K., "Selection and Improvement of Lignin-Degrading Microorganisms," *Appl. Environ. Microbiol.*, **53**(2), 242 ~ 245(1987).
17. Jian Yu, "Effect of Hydraulic shearstress on immobilized phanerochaete chrysosporium and its production of lignin peroxidases," Proceedings of the Asia-pacific Biochemical Engineering conference(1997).
18. 류원륜, 백색부후균에 의한 Ligninase의 생산 및 Xenobiotics의 분해 특성에 관한 연구, 영남대학교 대학원 응용화학공학과 유기공업화학 및 생물화학공학 전공, 박사학위논문, pp. 95 ~ 100(2001).
19. 장갑렬 외 4인, 백색부후균의 생리기능 탐색 및 소재화 연구, 2005 농업환경연구, 농촌진흥청 농업과학기술원, pp. 318 ~ 337(2006).
20. Ana, C., Peter, J. P., Cees, A. M., van den hondel, J. J., "Fungal peroxidases : molecular aspects and applications," *J. Biotechnol.*, **93**, 143 ~ 158(2002).
21. 김학운, 오재일, 최영화, 백색부후균(*Phanerochaete chrysosporium*)을 이용한 Azo계 염료 제거-보충탄소원 및 질소원 조건의 영향, 대한환경공학회지, **25**(12), 1481 ~ 1490 (2003).
22. Juan Wu, Ya-Zhong Xiao and Han-Qing Yu, "Degradation of lignin in pulp mill wastewaters by white-rot fungi on biofilm," *Bioresour. Technol.*, **96**(12). 1357 ~ 1363(2005).
23. Haddadin, M. S., Al-Natour, R., Al-Qsous, S., Robinson, R. K., "Bio-degradation of lignin in olive pomace by freshly-isolated species of Basidiomycete," *Biores. Technol.*, **82**(2), 131 ~ 137(2002).
24. Kaal, E. E. J., Field, J. A., Joyce, T. W., "Increasing ligninolytic enzyme activities in several white-rot basidiomycetes by nitrogensufficient media," *Biores. Technol.*, **53**(2), 133 ~ 139(1995).
25. 허남효, 박순철, 이진석, 이준표, 강호, 암모니아 탈기공정을 이용한 혐기소화 슬러지 탈수액의 고농도 암모니아성 질소 제거 및 회수, 대한환경공학회지, **23**(4), 601 ~ 612(2001).
26. 이수구, 박진만, 이성호, 한종욱, 회전형 미생물 접촉여재 시스템을 이용한 하수의 고도처리, 대한환경공학회지, **23**(5), 849 ~ 856(2001).
27. <http://boram.wst.ac.kr//study/down/ch-3-4.hwp>, HBC 및 BC plus 장치 설계와 제작.
28. 박영식, 송승구, 기질이 미생물 부착과 생물막 성장에 미치는 영향, 대한환경공학회지, **20**(11) 1579 ~ 1589(1998).
29. Good, R. J., Islam, M., Baier, R. E., and Meyer, E., "The Effect of Surface Hydrogen Bonding(Acid-Base Interaction) on the Hydrophobicity and Hydrophilicity of Copolymers: Variation of Contact Angles and Cell Adhesion and Growth with Composition," *J. Dispersion Sci. Technol.*, **19**, 1163 ~ 1174(1998).
30. Chang, H. T., Rittmann. B. E., Amar, D. R., Ehlinger, H. O., and Lesty, Y., "Biofilm Detachment Mechanisms in a Liquid-Fluidized Bed," *Biotech. Bioeng.*, **38**, 499 (1991).
31. 선용호, 한성, 고석근, 이온 보조 반응에 의하여 활성화된 폴리프로필렌 담체를 이용한 합성폐수처리시 미생물 부착 및 유기물의 제거, 한국생물공학회지, **7**(3), 235 ~ 240 (2002).