

## 혐기성 슬러지 공정과 호기성 고정생물막 공정을 이용한 염색폐수 처리

박영식<sup>†</sup> · 문정현\*

대구대학교 보건과학부

\*서봉리사이클링(주)

## Treatment of Textile Wastewater by Anaerobic Sludge and Aerobic Fixed-Bed Biofilm Reactor

Young Seek Park<sup>†</sup> · Jung Hyun Moon\*

Division of Health Science, Daegu University

\*Seobong Recycling Co., Ltd.

(Received 2 April, 2002; Accepted 7 July, 2002)

### ABSTRACT

This study was carried out to treat textile wastewater using anaerobic sludge and aerobic fixed-bed biofilm reactor immobilized with *Bacillus sp.* dominated activated sludge(*Bacillus sp.* fraction : 81.5%). The range of influent concentration of SCOD and soluble color were 1032~1507 mg/l, and 1239~1854 degree, respectively. Continuous treatment experiments were performed with variation of textile wastewater ratio at a same HRT. When textile wastewater ratio was 100%(HRT : 24 hours), The removal efficiency of SCOD and soluble color were 88% and 78%, respectively. When compare aerobic reactor of this study that was immobilized with *Bacillus sp.* dominated activated sludge to other study that was immobilized with activated sludge, SCOD and soluble color removal efficiency of this study showed a little higher efficiency than immobilized with activated sludge. The *Bacillus sp.* fraction of initial condition was 81.5%, but the fraction after operation was decreased to 31.8%.

**Keywords :** Textile wastewater, *Bacillus sp.*, Anaerobic/aerobic reactor system, Decolorization, COD removal

### I. 서 론

염색폐수와 같은 난분해성 물질의 생물학적 처리는 국·내외적으로 크게 두 가지 방법이 있으며, 실용화가 모색되고 있다. 하나는 생물학적 처리에 가장 중요한 역할을 하는 새로운 미생물 자원을 개발하는 것, 즉 특정미생물을 개발하여 처리에 응용하는 것으로, 야생 균주를 분리해내는 방법과 분리된 균을 유전공학적으로 조작하여 활성을 증진시키는 방법 등을 이용한다. 다른 하나는 난분해성 물질이 함유된 폐수 처리공정을 개선 또는 발전시키는 방법으로 혐기-호기 조건의 반복, 폭기법 개량 및 담체를 투입시켜 미생물상의 다양

화를 꾀하는 방법 등을 처리공정 내에 첨가하는 방법 등이다.<sup>1)</sup>

전자의 생물학적 방법으로 특정화합물, 난분해성 물질, 중금속 등의 분해 미생물에 대한 연구 및 균주 개발은 지난 수십 년간 발전을 거듭해 왔지만 현장 적용에는 많은 어려움이 있었다.<sup>2,3)</sup> 특히 azo dye를 탄소원으로 이용할 수 있는 미생물을 분리동정하려는 노력이 있어 왔지만 그런 노력들은 번번이 실패로 귀결되었다. 여러 종의 혐기성 미생물이 azo dye를 분해하는 것으로 보고되고 있으나 호기성 조건 하에서 이들 dye는 본질적으로 생물학적으로 분해할 수 없는 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup> 그러나 최근에도 순수미생물을 이용하여 염색폐수를 처리하려는 노력은 계속되고 있다.

과학기술처<sup>5)</sup>에서는 국내 염료 소비와 관련하여 주요 염료인 분산염료, 산성염료, 반응성 염료 및 형광염료를 단일 탄소원으로 하는 미생물을 분리하기 위하여 주

<sup>†</sup>Corresponding author : Division of Health Science, Daegu University  
Tel: 053-650-8047, Fax : 053-650-8049  
E-mail : ysparkk@daegu.ac.kr

로 염색폐수 공장과 관련된 염색폐수, 반송슬러지, 폐수 방류 하천 저질, 주변 토양 등에서 미생물을 분리한 결과 3종의 미생물을 분리하였는데, 2종은 *Bacillus sphaericus*였고, 1종은 *Pasteurella multocida*이었다고 보고하였다.

후자의 경우 염색폐수에 있어 처리율이 낮은 활성슬러지 공정 등의 호기성 공정에 대한 대안으로 혐기성 공정을 이용하여 처리하는 방안이 연구되고 있는데,<sup>5,6)</sup> 혐기성 공정은 azo 결합을 파괴하여 색도를 제거하지만 발암성 물질인 aromatic amine을 생성시키는데, 혐기성 조건에서는 잘 분해되지 않으므로 2단계 처리로 호기성 공정을 추가한 혐기-호기공정을 이용하여 생물학적으로 분해하는 연구가 진행되고 있다.<sup>7,8)</sup>

그러나 이들 연구자들 대부분은 혐기-호기 유동층 공법을 이용하거나, 제올라이트를 담체로 사용하여 BAF(Biological aerated filter process)를 이용하여 염색폐수를 처리한 연구 등 일부를 제외하고, 혐기성 반응기는 UASB나 생물막 반응기를 이용하지만 호기성 반응기는 주로 활성슬러지를 많이 이용하고 있다.<sup>9,11)</sup>

호기성 생물학적 처리 공정 중에서 담체를 이용하는 생물막 공정은 활성슬러지 공정에 비해 반응기내 미생물 농도가 높고, 슬러지 발생량이 적으며, 수온이나 pH 및 유기물 부하변동에 강하며, 슬러지 팽화, 부상, pin floc 등의 문제점이 발생하지 않는다는 장점이 있다.<sup>12)</sup> 그리고 호기성 생물막은 호기성 상태에서 혐기 영역과 호기 영역이 동시에 존재하여 공정에서 폐수의 분해율이 높고, 염료와 중간생성물을 제거하는 역할을 하는 성장이 느린 미생물도 살 수 있는 환경을 제공한다.<sup>12)</sup>

여러 종류의 순수 미생물 중에서 *Bacillus* sp.는 분해

하기 쉬운 물질은 물론 난분해성의 단백질, 전분, 지방 등도 분해하고 ammonia, H<sub>2</sub>S, amine류 등의 악취성분도 자화하여 탈취효과가 높아 분뇨 및 축산폐수의 고도 처리 및 악취를 제거하고, 성질이 다른 세균류 및 원생동물류가 공생함으로써 증식이 왕성하여 유입성분의 변동에도 충격을 적게 받는 것으로 보고되고 있다.<sup>13-15)</sup>

따라서 본 연구에서는 염색폐수를 처리하기 위하여 상기의 두 방법을 응용하여 반응기를 혐기-호기 반응기로 배열하여 혐기성 반응기에서 염색폐수의 색도와 유기물을 제거하고, 호기성 반응기에서는 중간생성물과 미처리된 유기물 제거 및 색도 제거능 향상을 목적으로 *Bacillus* sp.이 우점화된 슬러지를 호기조의 고정생물막 반응기에 고정하여 처리성능을 고찰하였다.

## II. 연구방법

### 1. 실험장치와 운전조건

#### 1) 실험장치

실험장치는 혐기성 슬러지 반응기, 제 1 침전조, 호기성 고정생물막 반응기 및 제 2 침전조로 구성되어 있으며, Fig. 1에 개략도를 반응기 사진을 나타내었다.

혐기성 슬러지 반응기 부피는 10.0L, 제 1 침전조는 4.0L, 호기성 고정생물막 반응기는 7.3l 및 제 2 침전조는 5.3l로 혐기성 반응기는 반응기 전체 용적의 57.9%, 호기성 반응기는 전체 반응기 용적의 42.1%로 구성되었다.

혐기성 슬러지 반응기는 상향류로 제작되었으며, 제

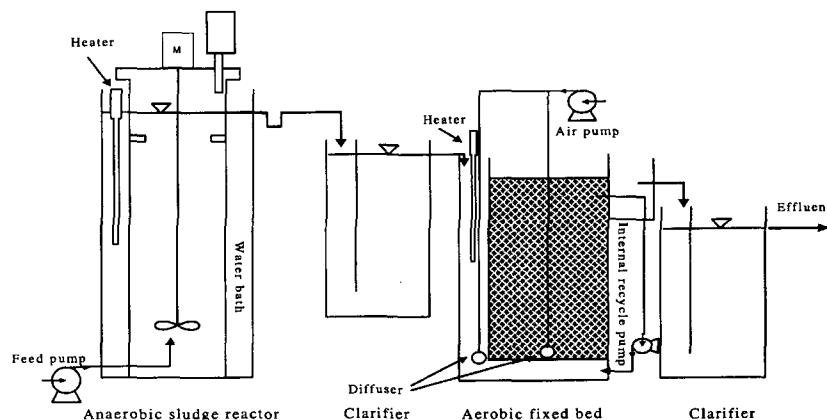


Fig. 1. Schematic diagram of anaerobic sludge-aerobic fixed bed reactor system.

1 침전조로의 유출은 유출관을 ㄷ 자 모양으로 만들어 가스가 유출구를 통해 빠져나가지 못하게 하였다. 반응기 외부에 수조를 두고 히터를 사용하여 수온을 34°C로 유지하였으며, 10 l 테프론 백을 반응기 상부에 장착하여 발생하는 가스를 수집하였다.

호기성 고정생물막 반응기도 상향류식이며, 크기가 1/2 inch인 세라믹 담체를 3802 g 충전하였으며, 폐수 유입구에 히터를 꽂아 반응기내 온도를 22°C로 유지하였다. 반응기 내의 호기성 상태를 유지하기 위하여 반응기 내부와 폐수 유입구에 산기관을 설치하여 공기를 공급하였으며, 순환펌프를 사용하여 반응기 상부에서 하부로 내부순환시켰다.

2) 반응기 운전 조건

T 기업의 활성슬러지 반응조의 체류시간인 23~24시간을 기준으로 체류시간을 24시간으로 고정하였으며, 미생물의 안정과 부착을 위해 운전 1일에서 8일까지 Table 1과 같은 조성을 가지는 합성폐수를 유입시켰으며, T 기업폐수의 양을 점차 늘려 운전 개시 81일에 전량 유입시켰다. Table 2에 운전 조건을 나타내었다.

2. 실험재료

폐수는 양산시 소재의 T 기업의 폐수를 대상으로 하였으며, 폐수 성상은 Table 3과 같다. T 기업에서 사용하는 염료는 반응성 염료 60%, 유화염료 25~30%, 바

Table 1. Compositions of synthetic wastewater

Items	Concentration
Glucose	1,500
NH <sub>4</sub> Cl	115
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	27
FeCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	2.6
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	87.5
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	335
COCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	5.7
NaHCO <sub>3</sub>	2,820

Table 2. Operation conditions of reactor system

Operation time(day)	HRT	Textile wastewater ratio(%)	Color(degree)		COD(mg/l)	
			T	S	TCOD	SCOD
1~8	24	0	0	0	1,425~1,546	1,424~1,507
9~20	24	25	545~662	487~535	1,232~2,354	1,216~1,340
2~150	24	50	833~880	710~722	1,127~1,259	1,152~1,190
51~80	24	75	1,224~1,514	677~1319	1,254~1,320	1,032~1,303
81~116	24	100	1,259~2,341	1239~1854	1,152~1,321	1,032~1,315

Table 3. Wastewater characteristics of T textile company

Items	This study
TCOD(mg/l)	1,127~1,546
SCOD(mg/l)	1,032~1,507
pH	12.0~12.5
ADMI color No.(T)	1,259~2,341
ADMI color No.(S)	1,239~1,854
SS(mg/l)	114~520
T-N(mg/l)	32.1~48.3
T-P(mg/l)	5.6~15.1

트 염료 10% 등이고, 발생하는 폐수의 하루 발생량은 5,500 m<sup>3</sup>/d이며, 공정별 발생량은 염색폐수 3,200 m<sup>3</sup>, 호발폐수 1,900 m<sup>3</sup>, 수세 폐수 200 m<sup>3</sup> 및 생활오수 200 m<sup>3</sup>이다.

본 연구에서는 염색폐수와 호발폐수를 6:4의 비율로 혼합하고 HCl과 NaOH를 사용하여 pH를 7로 조정한 후 반응기에 유입하였다.

하수처리장의 소화슬러지를 혐기성 반응기에 식중하였으며, 호기성 고정생물막 반응기는 *Bacillus sp.*가 우점화된 미생물로 분뇨폐수를 처리하는 반응기의 반송 슬러지를 사용하였다.

3. 분석방법

시료분석은 standard methods<sup>16)</sup>에 따라 행하였고, ADMI(American Dye Manufactures Institute) color 분석은 여과지를 통과한 시료를 UV-Vis spectrophotometer (UV-1201, Shimadzu)를 사용하여 400~800 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

호기성 반응기의 미생물에서 *Bacillus sp.*가 차지하는 비율을 알아보기 위하여 총 세균수와 *Bacillus sp.*의 수를 계수하였다.

총 세균수는 핵산과 결합하는 형광 염료인 DAPI(4,6-diamidino-2-phenylindole)로 염색하여 개체수를 측정하였다. *Bacillus. sp.* 세균수(*Eubacteria*에 속하는 세균,

**Table 4.** Oligonucleotide probes, their sequences, target positions and specificities

Probe	Sequence(5'-3')	Target position	Specificities
EUB	GCTGCCTCCCGTAGGAGT TGGAAGATTCCTACTGC	16S, 338-355 23S	Bacteria
LGC			Low G+C Gram-positive bacteria <i>Bacillus sp.</i> <i>Bacillus circulans</i>

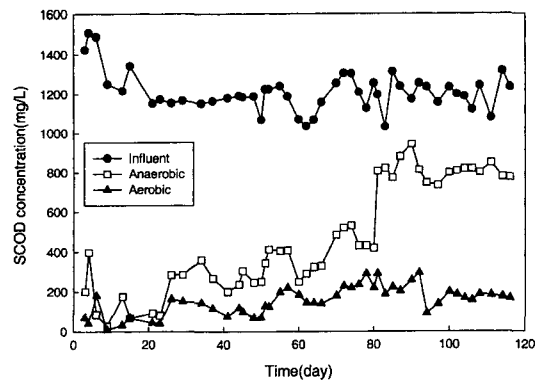
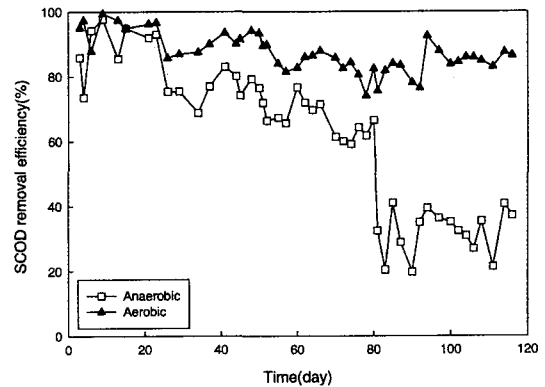
*Proteobacteria*에 속하는 세균  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -group, *Cytophaga-flavobacterium* group 및 Gram-positive high G+C content bacteria group)는 16S rRNA와 23S small subunit rRNA gene probe를 이용하였다(Table 4).

세균수의 계수는 형광현미경(Olympus, C-200 Z)과 scanning confocal laser microscopy(Zeiss)를 사용하여 1,000 배율 하에서 field에 나타난 세균을 계수하였으며, 세균 수는 20번 이상을 계수하여 그 평균값으로 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. COD 제거

Fig. 2에 SCOD 농도 변화, Fig. 3에 SCOD 제거율을 나타내었다. 합성폐수만 첨가하였을 경우의 유입수 SCOD는 1,400~1,500 mg/l로 나타났으며, 원 폐수를 25% 유입시킬 때부터 SCOD는 1,100~1,300 mg/l로 유지되었다. 운전 20일까지 혐기성 슬러지 반응기와 호기성 고정생물막 반응기의 유출수 농도는 비슷하게 유지되었으며, 혐기성 슬러지 반응기와 호기성 고정생물막 반응기 모두 정상상태에서 68 mg/l의 농도로 유출되었다. 원 폐수의 비율을 50%로 높인 뒤 혐기성 슬러지

**Fig. 2.** Variation of influent and effluent SCOD on operation time.**Fig. 3.** SCOD removal efficiency on operation time.

반응기의 유출수 농도는 68 mg/l에서 360 mg/l까지 증가하였고 정상상태에서는 250 mg/l로 감소되었다. 호기성 고정생물막 반응기의 유출수는 164 mg/l까지 증가하다가 정상상태에서 70 mg/l로 감소하였다. 원 폐수를 75%로 올려준 뒤 혐기성 슬러지 반응기 유출수는 2번의 peak를 보인 뒤 정상상태에 도달되었고, 정상상태의 SCOD농도는 420 mg/l이었으며, 호기성 고정생물막 반응기 유출수는 혐기성 슬러지 반응기 유출수보다 농도 변화 폭이 크지 않았으나 정상상태 유출수 농도가 220.5 mg/l로 나타났다. 원 폐수를 100% 유입하자 혐기성 슬러지 반응기 유출수는 942.3 mg/l까지 증가하였으며, 정상상태에서는 776 mg/l로 높게 나타났다. 호기성 고정생물막 반응기 유출수는 원 폐수 비율변화에 따른 농도 변화 폭이 크지 않았으며, 정상상태에서는 167 mg/l로 유출되어 75% 때의 유출수 농도보다 낮게 나타났다.

혐기성 슬러지 반응기의 SCOD 제거율은 Fig. 3에 보이듯이 원 폐수가 25% 유입될 때 호기성 고정생물막 반응기의 SCOD 제거율과 유사한 95% 정도의 제거율을 보였으나 50% 유입시 정상상태에서 74~79%의 제거율을, 75% 유입시 정상상태에서 61~66%의 제거율을 보였으나 100% 유입시 정상상태에서 35~40%의 제거율을 보여 원 폐수 유입량 증가에 따라 처리율이 감

소하였다. 일종의 co-substrate 역할을 하는 합성폐수가 유입되지 않는 100% 유입시 처리율이 40%이하로 나타나 혐기성 슬러지 반응기는 원 폐수의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

호기성 고정생물막 반응기의 경우 원 폐수가 75% 유입시까지 정상상태에서 15~16%의 제거율을 보였으나 100% 유입시 48%로 나타나 약 39%가 제거된 혐기성 슬러지 반응기의 제거율보다 높은 것으로 나타났으며, 혐기성 반응기에서 미처리된 SCOD를 제거하는 것으로 사료되었다.

혐기성 슬러지 반응기의 COD 제거율이 낮은 것은 염색폐수와 1차 접촉하기 때문이라고 사료되었다. Van den Berg<sup>17)</sup>는 정상상태 조건에서는 고정생물막 공정보다 UASB 공정이 유리하며, 초기운전이나 충격부하 조건에서는 고정생물막 공정이 유리하다고 보고하였는데, 염색폐수와 같은 난분해성 폐수는 UASB와 같은 슬러지 반응기보다는 고정생물막 공정을 이용하는 것이 난분해성 물질을 함유하고 있고 계절이나 시장상황에 따라 폐수의 성상에 변화가 있는 염색폐수와 같은 폐수 처리에 유리할 것으로 사료되었다.

호기성 고정생물막 반응기의 COD 제거율이 높은 결과는 충분한 호기성 상태의 유지와 amine 등을 제거할 수 있는 *Bacillus* sp 가 우점화된 슬러지를 사용하여 생물막을 형성시켰기 때문으로 사료되었다.

**2. 색도 제거**

Fig. 4에 용존성 색도를, Fig. 5에 용존성 색도 제거율을 나타내었다. Fig. 4와 같이 원 폐수의 비율을 높여줌에 따라 유입수의 용존성 색도가 증가하였으며, 혐기성 슬러지 반응기와 호기성 고정생물막 반응기 모두

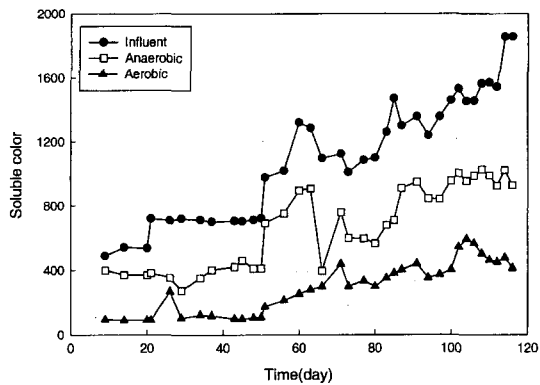


Fig. 4. Variation of influent and effluent soluble color on operation time.

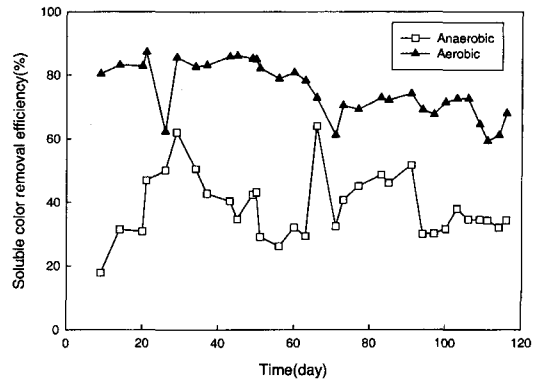


Fig. 5. Soluble color removal efficiency on operation time.

유입 색도에 따라 유출수 색도가 증가하였다. 원 폐수가 100% 유입시 운전후반부로 갈수록 유입수의 색도가 증가하는 것은 운전기간이 겨울로 짙은 계통의 염료를 많이 사용하기 때문이었다.

SCOD의 경우 100% 유입될 때 혐기성 슬러지 반응기의 유출수 농도가 급격하게 증가하였으나 용존성 색도의 경우 75%에서 급격하게 증가하였으며, 100%에서는 유입수 색도가 1,238~1,854도로 변화하였지만 혐기성 슬러지 반응기의 유출수는 비교적 일정한 색도를 나타내었으며, 정상상태에서 927도의 색도를 나타내었다. 호기성 고정생물막 반응기 유출수는 100% 유입 26일까지 색도 변동을 보이다 26일 이후 유출수 색도가 감소되었으며 정상상태에서는 412도의 색도를 나타내었으며, 도달기간이 50일 가량 소요되는 것으로 나타났다.

Fig. 5에서 보듯이 혐기성 슬러지 반응기의 색도 제거율은 변동이 심하였으며, 100% 유입시 정상상태에서 50.0%의 제거율을 나타내었다. 호기성 고정생물막 반응기의 색도 제거율은 혐기성 슬러지 반응기와는 달리 비교적 안정적인 제거율을 보였다. 50% 유입시까지 80% 이상의 제거율은 나타내었으나 75% 유입 때부터 감소되어 100% 유입시 정상상태에서 77.7%의 제거율을 나타내어 호기성 고정생물막 반응기 자체의 제거율은 27.7%를 나타내었다. 혐기성 슬러지 반응기의 제거율이 낮아도 호기성 고정생물막 반응기에서 충분히 안정적으로 처리할 수 있다고 사료되었다.

본 실험과 반응기 배열, 폐수성상, HRT 및 실험시기가 같은 폐수를 처리하지만 호기성 고정생물막 반응기에 활성슬러지를 식중한 pilot 반응기와 COD와 색도 제거율을 비교하면,<sup>18)</sup> pilot 반응기의 경우 혐기성 슬러지 반응기와 호기성 고정생물막 반응기의 유출수 SCOD는 각각 846 mg/l(제거율 : 39.2%), 325 mg/l(제거

을 :36.6%)로 나타났으며, 용존성 색도는 각각 1,006도(제거율 : 45.4%)와 550도(제거율 : 24.8%)로 나타났다. 이에 대해 본 연구에서는 SCOD의 경우 각각 776 mg/l(제거율 : 38.9%), 167 mg/l(제거율 : 48.6%), 용존성 색도의 경우 각각 927도(제거율 : 50.0%)와 416도(제거율 : 27.7%)로 나타나 *Bacillus sp.*가 우점화된 슬러지를 식중하여 염색폐수를 처리하는 경우 색도 추가 제거 효

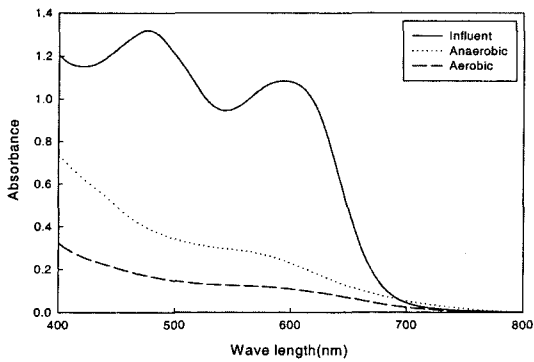


Fig. 6. UV-vis absorption spectra of influent and effluent at 100% of T Co. wastewater.

과는 적은 것으로 사료되었으며, COD 추가 제거 효과는 있는 것으로 사료되었다.

이와 같은 결과는 형질전환을 통해 개발된 균주인 *Pseudomonas putida*는 다양한 유기물이 혼합된 염색폐수에 적응하지 못하였으며, 분리균주로부터 얻어진 10여종을 혼합한 혼합균주는 적응성은 있으나 유기물 제거 효율증가에는 크게 기여하지 못하는 것으로 보고한 최의소 등<sup>18)</sup>의 결과와 유사한 결과를 보여 순수 미생물을 난분해성 폐수처리에 적용시 주의를 기울여야 한다고 사료되었다.

Fig. 6에 100% 유입시 정상상태에서 유입수와 유출수의 흡광도 변화를 나타내었다. 유입수는 50%와 75% 유입시와는 다르게 480 nm 부근에서 최대 peak를 나타내었으며, 600 nm 부근에서도 peak를 나타내었다. 혐기성 슬러지 반응기 유출수는 480 nm와 600 nm 부근에서의 peak는 사라졌으나 570 nm 부근에서 작은 변곡점을 보이며, 이 변곡점이 색도와 관련있다고 사료되었다. 육안관찰시 유입수는 진한 갈색을 나타내었으며, 혐기성 슬러지 반응기 유출수도 유입수보다 연하지만 갈색을 나타내었으며, 호기성 고정생물막 반응기 유출수는 노란빛을 띄었다.

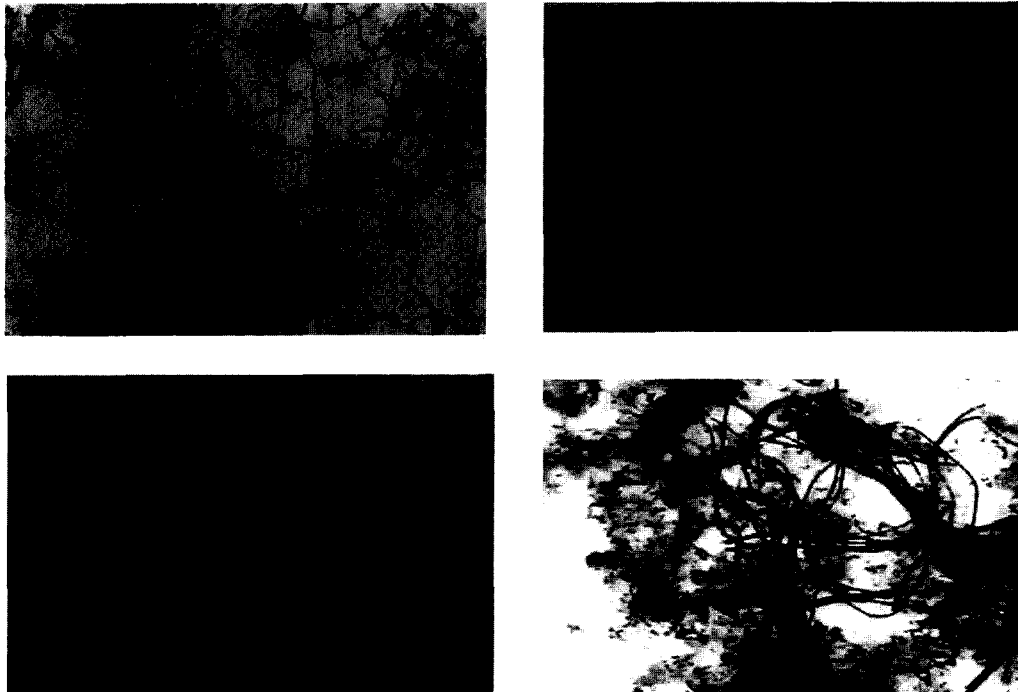


Fig. 7. Microscope photographs of representative *Bacillus sp.* and *Bacillus sp.* dominated activated sludge.

**Table 5.** *Bacillus sp.* ratio between initial and final step

	<i>Bacillus sp.</i> ( $\times 10^9$ CFU/ml)	Total bacteria ( $\times 10^9$ CFU/ml)	Ratio (%)
Initial	7.58	9.31	81.5
Final	2.90	9.10	31.8

Fig. 6에서 알 수 있듯이 생물학적 방법을 이용하여 색도 제거시 peak를 나타내는 부분이 혐기성 반응기에서 없어지며, 높은 영역의 파장이 먼저 제거되고 400~500 nm 부근의 흡광도가 뒤에 제거되는 것을 알 수 있었다. 100% 유입시 혐기성 슬러지 반응기를 거치면서 최대 peak가 없어지고 변곡점이 다른 흡광도에서 나타나는 것으로 보아 색도를 나타내는 결합이 깨어지고 깨어진 염료가 일부 재결합이 된다고 사료되었다.

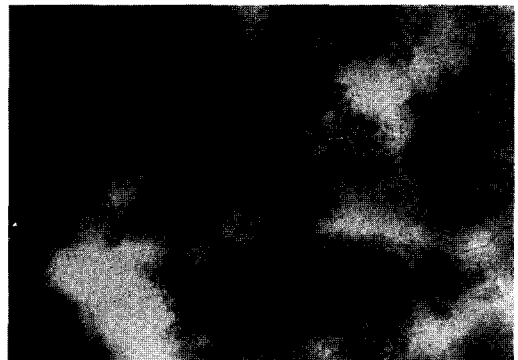
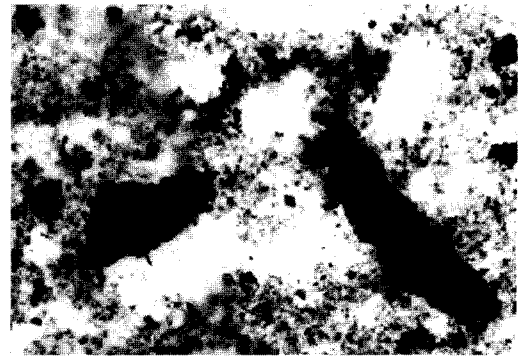
**3. 미생물 관찰**

Fig. 7에 대표적인 *Bacillus sp.*와 *Bacillus sp.*이 우점화된 분뇨폐수를 처리하는 반응기에서 채취한 반송 슬러지를 나타내었다. Fig. 7(a), (b) 및 (c)에 나타내었듯이 대표적인 *Bacillus sp.*은 통성혐기성균 상태에서 rod 형태나 사상성의 형태를 띄고 있으며, Fig. 7(d)와 같이 *Bacillus sp.*가 우점화된 슬러지 중에서는 사상성 형태를 띄고 있었다.

본 실험에 사용한 반송슬러지 중에서 *Bacillus sp.*를 계수한 결과 전체 미생물 중에서 81.5%를 나타내었다 (Table 5).

Fig. 8에 원 폐수 100% 유입시 혐기성 슬러지 반응기의 혐기성 슬러지와 호기성 고정생물막 반응기의 담체에 부착된 생물막을 나타내었다. Fig. 8(a)와 같이 크기가 0.1~0.3 mm인 막대기 형태나 구형의 입상슬러지가 다소 관찰되었다. (b)에 호기성 고정생물막 반응기의 부유 슬러지를 나타내었다. 총체의 크기가 120~150  $\mu$ m이고, *Arcella sp.*와 같이 SRT가 길 때 출현하고, 처리수가 양호하다는 것을 나타내는 *Centropyxis sp.*가 발견되었으며(not shown), 정확한 미생물 이름은 확인되지 않았으나, 원생동물이 많이 관찰되었다. (c)는 담체에 부착된 생물막을 나타낸 것으로 사상성 미생물로 보이는 미생물이 관찰되었으며, (b)에서와 같이 원생동물이 많이 발견되었다.<sup>20)</sup>

일반 현미경관찰로는 생물막을 구성하고 있는 미생물의 형태가 뚜렷하지 않기 때문에 Fig. 9에 호기성 고정생물막 반응기의 담체에 부착된 미생물을 Gram 염색하여 나타내었다. Fig. 9에 나타내었듯이 일반현미경 사진보다는 Gram 염색한 현미경 사진에서 사상성 미생물로 보이는 미생물이 많이 관찰되었으나 일반 사상성



**Fig. 8.** Microscope photographs of anaerobic sludge, suspended sludge of biofilm of aerobic reactor at steady state (100% of textile wastewater).

미생물인지 사상체 *Bacillus sp.*인지는 정확하게 알 수 없었으며, 계수한 결과 Table 5와 같이  $2.90 \times 10^9$  CFU/m가 발견되어 31.8%의 미생물이 *Bacillus sp.*로 판명되었으며, 초기의 81.5%에 비해 49.7%가 감소된 것으로 나타났다.

호기조에서의 안정적인 색도와 COD 제거를 위해서는 *Bacillus sp.*의 안정적인 유지가 중요하며, *Bacillus*

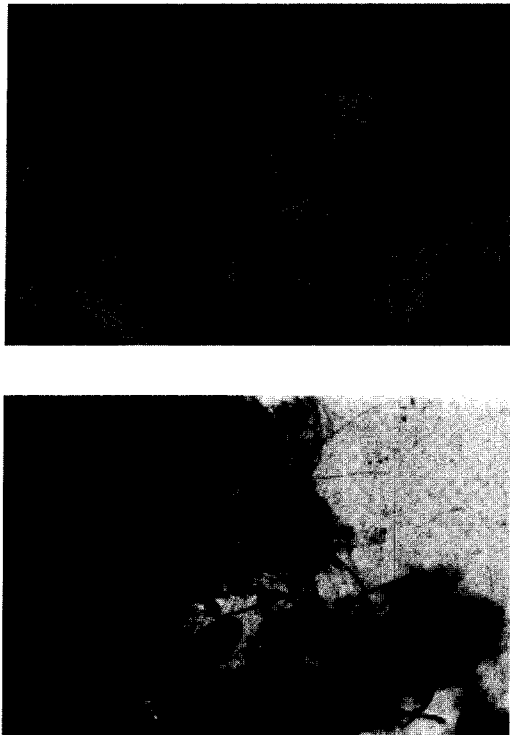


Fig. 9. Microscope photographs of suspended sludge and biofilm of aerobic reactor at steady state(100% of textile wastewater).

sp를 높게 유지할 수 있는 방법의 개발이 필요한 것으로 사료되었다.

#### IV. 결 론

혐기성 슬러지반응기-Bacillus sp가 우점화된 슬러지를 고정시킨 호기성 고정생물막 반응기를 이용하여 실제 염색폐수를 처리하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 혐기성 슬러지 반응기의 SCOD 제거율은 100%의 원 폐수가 유입될 때 정상상태에서 38~40%의 제거율을 보여 원 폐수 유입량 증가에 따라 처리율이 감소하였으며, 원 폐수의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 호기성 고정생물막 반응기 유출수는 48~50%의 제거율을 보여 호기성 고정생물막 반응기에서의 SCOD 제거율이 더 높게 나타났다.
2. 색도 제거율은 혐기성 슬러지 반응기의 제거율이 높아 SCOD 제거율과는 다른 양상을 보였다. 혐기성 슬러지 반응기의 색도 제거율은 변동이 심하였으며, 용존성 색도의 경우 100% 유입시 정상상태에서 50.0%의

제거율을 나타내었다. 호기성 고정생물막 반응기의 색도 제거율은 혐기성 슬러지 반응기와는 달리 비교적 안정적인 제거율을 보였으며, 100% 유입시 정상상태에서 27.7%를 나타내었으며, 원 폐수가 100% 유입시 유출수의 흡광도를 측정된 결과 혐기성 슬러지 반응기를 거치면서 최대 peak가 없어지고 peak가 다른 흡광도에서 나타나는 것으로 보아 색도를 나타내는 결합이 깨어지고 깨어진 염료가 일부 재결합이 된다고 사료되었다.

3. 본 실험과 반응기 배열, 폐수성상, HRT 및 실험시기가 같은 폐수를 처리하지만 호기성 고정생물막 반응기에 활성슬러지를 식중독한 pilot 반응기와의 SCOD와 용존성 색도 제거율을 비교한 결과 호기성 반응기에 Bacillus sp가 우점화된 슬러지를 식중독하여 염색폐수를 처리하는 경우 색도 추가 제거 효과는 적은 것으로 사료되었으며, 10% 정도의 SCOD 추가 제거 효과가 있는 것으로 사료되었다.

4. 운전 종료 후 미생물을 계수한 결과 31.8%의 미생물이 Bacillus sp로 판명되었으며, 식중미생물의 81.5%에 비해 49.7%가 감소된 것으로 나타나 Bacillus sp를 높게 유지할 수 있는 방법의 개발이 필요한 것으로 사료되었다.

#### 참고문헌

1. 과학기술처 : 난분해성 염색폐수 처리효율 증진기술 개발(1). 29-42, 1992.
2. Feng, Y., Racke, K. D. and Bollag, J. : Isolation and characterization of a chlorinated-pyridinol-degrading bacterium. Appl. Environ. Microbiol., **63**, 4096-4098, 1997.
3. Li, X. and Gao, P. : Isolation and partial characterization of cellulose-degrading strain of Streptomyces sp. LX from soil, Lett. Appl. Microbiol., **22**, 209-213, 1996.
4. Michaels, G. B. and Lewis, A. L. : Microbiol transformation rates of azo and triphenylmethane dyes. Environ. Toxicol. Chem., **5**, 161-166, 1986.
5. 이종현, 이현준, 김영규, 박태주 : Fenton산화와 활성슬러지를 연계한 공정에서 전처리 Fenton 산화가 안료폐수의 유기물과 색도제거에 미치는 영향. 대한환경공학회지, **21**(8), 1547-1554, 1999.
6. 양용운 : 염색폐수의 색도제거기술현황 및 대책방안. 첨단환경기술, 11월호, 2-11, 1996.
7. Brown, D. and Hamburger, B. : The degradation of dyestuffs, part III. Investigations of their ultimate degradability. Chemosphere, **16**, 1539-1553, 1987.
8. Bishop, P. L. and Fitzgerald, S. W. : Two stage anaerobic treatment of sulfonated azo dyes. J. Environ. Sci. Health, **A30**(6), 1251-1276, 1995.
9. 장원석, 윤태일, 박대원 : 제올라이트를 매질로 사용한 BAF공법에 의한 염색폐수 처리. 대한환경공학회지,



- 20(5), 723-734, 1998.
10. 이성호 : 이단계 혐기성 호기성 반응기를 이용한 Reactive Black 5의 생분해. 부산대학교 석사학위논문, 96-102, 1999.
  11. An, H., Qian, Y. and Gu, X. and Tang, W. Z. : Biological treatment of dye wastewater using an anaerobic-oxic system, *Chemosphere*, **33**(12), 2533-2542, 1996.
  12. 첨단환경기술 편집부 : 생물막법처리 고효율화 및 개발동향. *첨단환경기술*, 5월호, 9-17, 1998.
  13. 최용수, 김성호, 성기문 : B3 공정을 이용한 분뇨의 고도처리, 1997 한국물환경학회 추계학술대회. 한국물환경학회, 광주, 95-97, 1997.
  14. 성기문 : 바실러스 중 혼합균에 의한 분뇨, 축산폐수, 침출수 및 유기성 산업폐수의 호기성 반응장치 및 방법. 공개특허 1999-0084124, 1999.
  15. 백성기, 성기문 : 하·폐수처리에서 바실러스균을 이용한 질소 인 제거기술. 1998 대한환경공학회, 춘계학술대회, 대한환경공학회, 서울, 672-673, 1998.
  16. APHA, AWWA, WPCF : Standard method for the examination of water and wastewater. 18th ed, 1992.
  17. Van den Berg : Effect of type waste on performance of anaerobic fixed-film and upflow sludge bed reactors, *Proc. 36th Ind. Waste Conf.*, Purdue Univ., Ann Arbor Sci. Publ., Inc., Ann Arbor, Mich., 680, 1982.
  18. 산업자원부 : 염색폐수의 색도 제거를 위한 Bio-ceramic 담체 개발. 최종보고서, 193-219, 2001.
  19. 최의소, 권수열 : 난 분해성 염색폐수의 생물학적 처리공정 비교에 관한 연구. *J. KSWPRC*, **8**(2), 109-115, 1992.
  20. 須藤隆一, 稱悠森平 : 生物相からみた 処理機能の診断, *産業用水調査會*, 89-249, 1986.