

PEG 포괄고정화담체를 이용한 난분해성 염색폐수 처리

한덕규 · 조영진 · 배우근[†] · 황병호* · 이용우**

한양대학교 토목환경공학과 · *금호건설 기술연구소 · **삼성엔지니어링(주)

(2005년 4월 18일 접수, 2006년 3월 9일 채택)

Refractory Textile Wastewater Treatment Using Cell-Immobilized Polyethylene glycol Media

Han, Dukgyu · Cho, Young jin · Bae, Wookeun[†] · Hwang, Byung-ho* · Lee, Yongwoo**

Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University

*Institute of Construction Technology, Kumho Engineering & Construction · **Samsung Engineering. Corp.

ABSTRACT : This study investigated the removal of recalcitrant organics in dyeing wastewater using a fluidized bed reactor(FBR) that contained cell-immobilized pellets. The pellets were manufactured and condensing the gel phase by mixing PEG-polymer and cells to form micro-porous PEG-polymer pellets whose size were Φ 4 mm \times H 4 mm on average. An industrial activated sludge without any pre-adaptation was used for the cell immobilization because it gave an equivalent removal efficiency to a pre-adapted sludges. The feed was obtained from an effluent of a biological treatment plant, which contained SCOD_{Cr} of 330 mg/L and SBOD₅ of 20 mg/L. The COD_{Cr} removal efficiency was over 45% and the effluent COD_{Mn} concentration was less than 100 mg/L at HRTs from 6 to 24 hrs. The optimum HRT in the FBR was determined as 12 hrs considering the removal efficiency and cost. When a raw wastewater containing 768 mg/L of COD_{Cr} was fed to the FBR, the effluent COD_{Cr} concentration increased only slightly, giving a 70% of COD_{Cr} removal or a 97% of BOD₅ removal. This indicated that the FBR had an excellent capability of biodegradable organics removal also. In conclusion, the FBR could be applied to textile wastewater treatment in place of an activated sludge process.

Key Words : Immobilized Media, Textile Wastewater, Polyethylene Glycol

요약 : 본 연구에서는 생물학적 처리방법으로 염색폐수의 난분해성 유기물질을 효과적으로 처리하기 위한 방안으로 활성슬러지를 Polyethylene glycol(PEG)에 포괄고정화한 담체를 유동상 반응기를 이용하여 난분해성 유기물질의 처리효율을 평가하고 적정 운전인자를 검토하였다. 담체는 내경 4 mm \times 높이 4 mm의 원통형으로 미세공극을 가진 PEG재질의 담체를 제조하기 위해 PEG-prepolymer와 미생물을 젤 상태에서 혼합하여 고형화 시켰으며, 이때 담체에 사용된 미생물은 염색폐수에 순응시키지 않은 상태에서 합성되었다. 연속 호기성 유동상 반응기의 유입수는 SCOD_{Cr} 약 330 mg/L, SBOD₅ 20 mg/L 이하의 생물학적 처리수를 사용하였고, 체류시간의 변화에 따른 각 반응기의 난분해성 유기물질 제거효율을 비교하였다. 생물학적 처리수를 유입수로 하여 동일한 HRT로 운전한 결과 모든 조건에서 45% 이상의 유기물 제거효율을 보였으며, HRT 12 hr이 유기물 제거효율 등을 고려할 때 안정된 효율을 얻을 수 있는 적정 체류시간으로 판단되었다. 특히 기질환경의 변화에 따른 유기물 제거효율의 변화를 확인하기 위하여 생물학적 처리전의 처리장 유입폐수를 처리한 결과 SCOD_{Cr} 70% 이상, SBOD₅ 97% 이상의 높은 처리효과를 나타내었다. 포괄고정화 담체를 이용한 염색폐수처리에서 유동상 반응기는 기존 활성슬러지 공정을 대신하거나 혼용하여 적용하는 것이 가능할 것으로 판단되어진다.

주제어 : 고정화담체, 염색폐수처리, 폴리에틸렌 글리콜

1. 서론

섬유폐수는 사용하는 섬유의 종류나 염료에 따라 용수 사용량과 폐수의 성상이 일정하지 않으며, 계절별, 유형별로 폐수처리장으로 유입되는 폐수의 유기물질의 농도변화가 매우 심하다. 특히 섬유폐수의 특징으로 높은 COD 농도와, 색도, 수온, pH, 알칼리도를 나타내며 계면활성제, PVA(Polyvinyl alcohol), EG(Ethylene glycol) 등의 난분해성 물질을 다량 함유하고 있어 배출허용기준을 만족시키기 위한 폐수의 적정

처리에 많은 어려움이 있다.^{1~3)}

대표적인 염색폐수 처리방법으로 물리·화학적인 응집침전법, 펜톤산화법 등과 생물학적 처리기술인 활성슬러지법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 물리·화학적인 처리기술의 경우 처리효율은 좋으나 처리비용의 증가와 2차 오염물이 생성될 수 있는 문제점이 있고, 활성슬러지법의 경우 슬러지 팽화(bulking)현상이 자주 발생하며, 부하변동이 큰 경우에 대처하기 어렵고 잉여슬러지가 다량 발생하는 등의 단점을 가지고 있다.^{4~7)}

따라서 지금까지의 많은 연구들은 폐수 내 난분해성 물질 및 염료에 대한 분해 미생물의 동정과 그 메커니즘에 대해 초점을 맞추어 왔다. 그러나 염색폐수내에 존재하는 염료물질과 난분해성 물질을 분해하는 미생물의 경우 성장속도가

[†] Corresponding author

E-mail: wkbac@hanyang.ac.kr

Tel: 031-400-5148

Fax: 031-417-8139

매우 느려 성장할 수 있는 충분한 SRT를 확보하여야 하고 유입폐수내의 성장변동이 매우 심하여 실 처리공정에 적용하기가 어렵다.

최근 이러한 단점을 극복하기 위한 방안으로 고정화 담체 공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{8~11)} 고정화 담체는 분해가 쉽지 않은 물질을 분해할 수 있는 미생물을 담체 내에 고정시킴으로써 충분한 SRT를 유지할 수 있을 뿐만 아니라 유입폐수의 부하나 온도, pH 변화 등에 대해 미생물을 보호 할 수 있으며, 슬러지 발생량을 억제시킴으로써 경제성 있는 공정으로 주목받고 있다.

따라서 본 연구에서는 미생물을 PEG prepolymer로 고정화시켜 담체를 제작하고 이를 염색폐수처리에 적용시켜 난분해성 유기물질의 처리효율을 높일 수 있는지 알아보았다. 고정화 담체를 제작함에 있어 난분해성 염색폐수에 적용시키지 않은 활성슬러지를 적용하여 담체내 미생물 성장이 지속되면서 안정적인 유출수 수질을 얻을 수 있는지 조사하고, 연속 유동상 반응기(Fluidized bed reactor)를 이용한 공정에 적용시켜 난분해성 유기물질의 처리효율과 적용가능성을 평가하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 포괄고정화 담체

A시 소재의 하수처리장내 공장계열 활성슬러지를 B염색단지 폐수처리장의 생물학적 처리공정 이후 배출되는 유출수를 이용하여 약 한달 동안 적용시킨 MLSS 약 5,000 mg/L의 미생물 농도로 담체 내에 각각 포괄고정화 하였다. 산소확산이 용이하며 투과성 및 내구성이 뛰어난 PEG(Polyethylene Glycol)를 담체재료로 선정하여 PEG diacrylate MW 700 72 g(18 w/v%)과 potassium persulfate 1 g(0.25 w/v%), 그리고 promotor(1 w/v%)와 첨가제(0.5 w/v%)를 미생물과 함께 완전히 혼합한 다음, 내경 4 mm인 PVC tube에 채워서 25℃ 항온조에서 10분간 숙성시킨 후 4 mm간격으로 담체를 제조하였다.¹²⁾

2.2. 반응기 운전 및 유입폐수 성상

A시 하수처리장내 공장계열 활성슬러지(Industrial sludge, IS)와 가정하수계열 활성슬러지(Activated sludge, AS)를 사용하여 염색폐수에 대한 슬러지 종류에 따른 미생물의 처리능력을 비교하고, 염색폐수에 적용시킨 활성슬러지를 포괄고정화한 담체(Adapted-Cell Pellet : ACP)와 적용되지 않은 활성슬러지를 포괄고정화한 담체(Unadapted-Cell Pellet : UCP)의 염색폐수의 유기물 제거효율을 비교하기 위하여 5 L 규모의 원형 아크릴 반응조를 이용하였으며, 24시간을 1cycle로 주입, 침전, 배출은 각각 5분, 나머지 시간은 반응시간으로 구성하였다.

반응기 유입 폐수는 염색폐수처리장에서 10 m³/day 규모의 Pilot Plant의 생물학적 처리공정 이후 배출되는 처리수(Biological treatment effluent, PP)를 사용하였다.

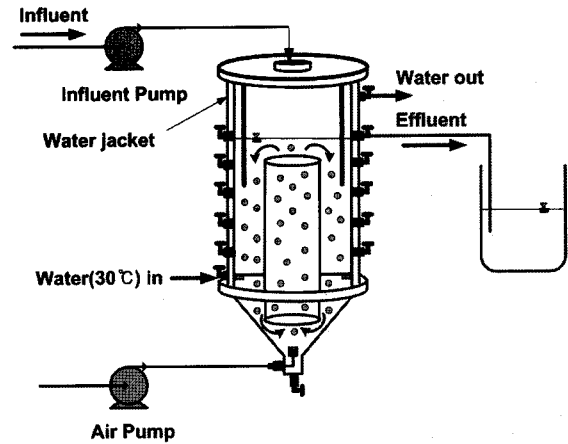


Fig. 1. Schematic diagram of Fluidized bioreactor(FBR).

한편 연속실험을 위한 유동상 반응기는 동일한 2기의 아크릴 재질의 원통형 반응기로 직경 14 cm, 높이 60 cm이고, 용적은 5.5 L이며, 고정상 반응기와 동일한 담체를 20% 충전하였고, 담체의 유동을 효과적으로 유지되도록 하기 위하여 반응기 중심부에 관을 설치하였다. 한편 온도는 염색폐수의 년 평균 온도인 30℃에서 운전을 하였다. 그리고 담체의 유실을 막고 short-cut 현상을 방지하기 위한 정류벽을 설치하였다(Fig. 1).

유동상 반응기의 운전 조건들은 Table 1에 나타내었다. 유입 공기량은 충분한 DO 공급과 담체의 유동을 위해 2 L/min로 유지하였다.

기질환경의 변화에 따른 유기물 제거효율을 확인하기 위하여 FBR1에는 BOD 성분이 거의 없는 생물학적 처리수(PP)를 FBR2에는 염색폐수의 pH 조정만을 한 원수(Equalization tank effluent : EQ)를 유입수로 하여 유입성상의 차이에 따른 처리효율의 변화를 비교하였다. 한편 운전기간동안 유동상 반응기내에 MLSS 500~1,000mg/L의 부유미생물이 축적됨으로써 담체와 활성슬러지의 혼합처리에 따른 유기물 제거효율을 조사해 보았다.

한편 실험에 사용된 염색폐수는 B염색단지내 폐수처리장에서 직접 채수하였으며, 스크린을 거친 후 pH 조정조에서 유출된 폐수(EQ)와 생물학적 처리공정 이후 발생하는 BOD 10~15 mg/L 정도의 난분해성 폐수(PP)를 대상으로 하였다. 유입수 성상에 대한 평균값을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Operating conditions of FBR

Items	Conditions
Volume(L)	5.5
Packing rate(%)	20
HRT(hr)	6, 12, 24(FBR1) 8, 18(FBR2)
Influent	PP(FBR1) EQ(FBR2)
Process air flow rate(L/min)	2
Temperature(℃)	30

Table 2. Characteristics of the textile wastewater in this study

Constituent	pH	TCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Mn} (mg/L)	SBOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	Color (ADMI)
EQ	7.2±0.5	840±83	768±59	286±31	260±33	120±42	1020±120
PP	8.2±0.7	455±65	334±41	145±31	21±9	145±45	780±95

2.3. 분석방법

모든 분석은 수질오염공정시험법과 Standard Methods에 준하여 실시하였다. 압축강도는 Texture Analyzer(Stable Micro System, TA-XT2)를 이용하였으며, 확산계수는 형광염료인 FDA (Fluorescence diacetate)의 담체내부로 확산속도를 Fluorescence Microscope(Olympus, IX71)를 이용하여 Danckwert가 제시한 immobilizing reaction식을 적용, 계산하였다.¹³⁾

$$\frac{c_x - c_0}{c_s - c_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1)$$

- C_x : x 지점에서의 intensity
- C_s : saturated intensity
- C₀ : 형광염료를 투여하지 않았을 때의 intensity
- x : distance(m)
- D : diffusion coefficient
- t : time(sec)

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 활성슬러지 종류에 따른 염색폐수의 유기물 제거효율 비교

Fig. 2에서 보는바와 같이 유입수의 심한 부하변동에도 불구하고 유출수의 SCOD_{Cr} 농도는 활성슬러지의 종류에 상관없이 약 45%의 제거율을 보이며 평균 175 mg/L 정도로 비슷하게 유지되었다.

이러한 원인으로 초기 유기물질의 제거는 난분해성 물질의 제거보다 약 46~62 mg/L의 분해성 유기물질의 제거로 볼 수 있으며, 부하변동이 급격히 나타나는 20일 이후의 유기

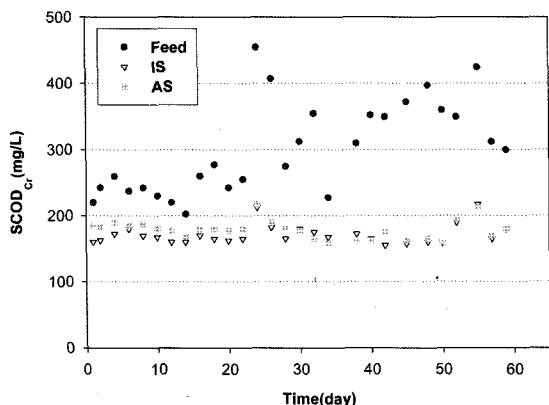


Fig. 2. SCOD_{Cr} removal by two different sludge.
(Feed : COD_{Cr} in the feed, IS & AS : COD at t=24 hr)

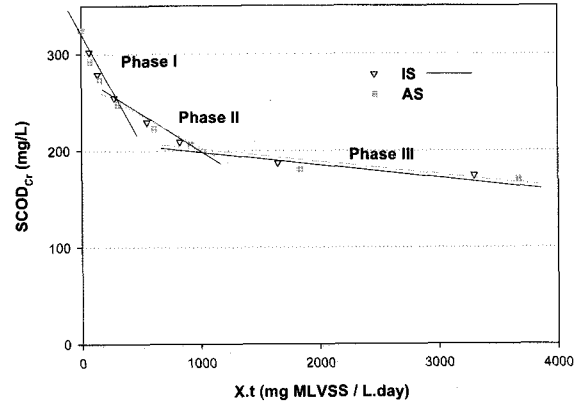


Fig. 3. Removal rate of SCOD_{Cr} by MLVSS.

Table 3. Specific removal rate of organics in each phase

Sludge	Specific removal rate(mg COD/mg MLVSS.day)		
	Phase I	Phase II	Phase III
IS	0.253	0.083	0.013
AS	0.244	0.065	0.012

물질의 제거는 그동안 염색폐수에 대해 우점화 된 미생물들의 기질에 대한 경쟁으로 인한 난분해성물질의 제거로 판단되어진다.

한편 활성슬러지의 종류에 따른 염색폐수의 난분해성 유기물 분해능을 알아보고자 단위미생물 당 유기물 비제거속도 (specific removal rate, mg COD/mg MLVSS · day)를 조사하였고, 각 구간별 비제거속도를 Table 3에 나타내었다.

슬러지 종류에 따른 유기물 제거속도는 각각 2개의 변곡점을 중심으로 각 phase별 미생물 당 유기물 제거속도를 산정하였다. 우선 전체적으로 phase I에서 유기물 제거속도가 가장 빠르게 나타나고 phase II, III에서 느려지는 경향을 나타내었는데, 이는 초기 phase I에서 유입수에 남아있는 어느 정도 분해가 쉬운 유기물질이 빠르게 제거되다가 phase II, III에서는 분해속도가 느린 분해성 유기물질과 제거하기 어려운 난분해성 물질이 서서히 제거된 것으로 보인다. phase I, II에서 공장계열 활성슬러지(IS)의 제거속도가 가정하수계열 활성슬러지(AS)보다 약간 빠르게 나타났지만 전체적으로 유사한 비제거속도를 보였다.

3.2. 고정화 미생물의 사전 적응 여부에 따른 유기물 제거효율 비교

염색폐수에 적응시킨 활성슬러지를 포괄고정화한 담체(ACP)와 적응되지 않은 활성슬러지를 포괄고정화한 담체(UCP)를 이용하여 염색폐수의 유기물질 제거효율을 비교 하였을 때 (Fig. 4), 운전 초기 합성된 PEG 자체에서 나온 화학물질들에 의해 발생된 유기물질들과 미생물을 PEG 담체에 고정화시킨 후 사멸된 미생물에 의해 유발된 것으로 판단되는 유기물질들에 의해 상당히 높은 SCOD_{Cr} 농도가 검출되었다. 그러나 약 10일 정도 경과된 이후부터 반응기 모두에서 약 200 mg/L의 SCOD_{Cr} 농도를 보여주고 있다. 초기 안정화 단계를 거친

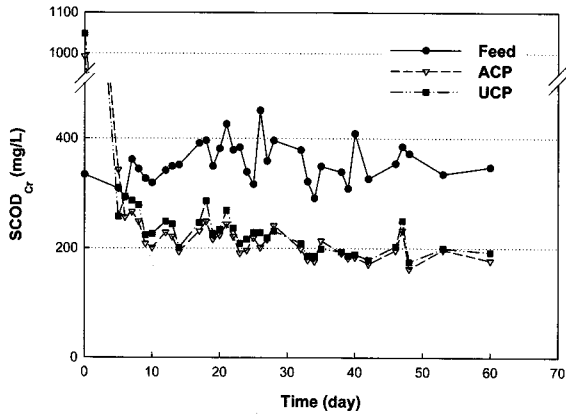


Fig. 4. SCOD_{Cr} removal by two different sludge. (Feed : COD in the feed, ACP & UCP : COD at t = 24 hr)

후, 약 3주간의 SCOD_{Cr}의 평균농도는 ACP의 경우 234 mg/L, UCP는 216 mg/L로 나타나 염색폐수에 적응시킨 미생물을 고정화한 담체가 약간 높은 제거효율을 보여주었으나, 20일 이후에는 사전 적용 여부에 관계없이 SCOD_{Cr} 농도 195 mg/L의 안정적인 처리수질을 나타내었다.

약 60일간의 모니터링 결과 담체에 의해 처리된 SCOD_{Cr} 농도는 염색폐수에 한달간 적응시킨 미생물을 고정화한 경우 40±8%의 제거효율을, 적용되지 않은 활성슬러지를 고정화한 경우 38±8%의 제거효율을 나타내었다.

Fig. 5는 각 반응기의 시간에 따른 유기물 제거효율 변화를 나타낸 것으로, 두 종류의 담체 모두 비슷한 제거효율을 보였고, 4시간 이내에 전체 유기물 제거효율의 50% 이상의 제거효율을 보임으로써 어느 정도 분해가 쉬운 물질이 빠르게 처리된 후에 난분해성 물질이 서서히 제거된 것으로 판단 된다.

Fig. 5는 각 반응기의 시간에 따른 유기물 제거효율 변화를 나타낸 것으로, 두 종류의 담체 모두 비슷한 제거효율을 보였고, 4시간 이내에 전체 유기물 제거효율의 50% 이상의 제거효율을 보임으로써 어느 정도 분해가 쉬운 물질이 빠르게 처리된 후에 난분해성 물질이 서서히 제거된 것으로 판단 된다.

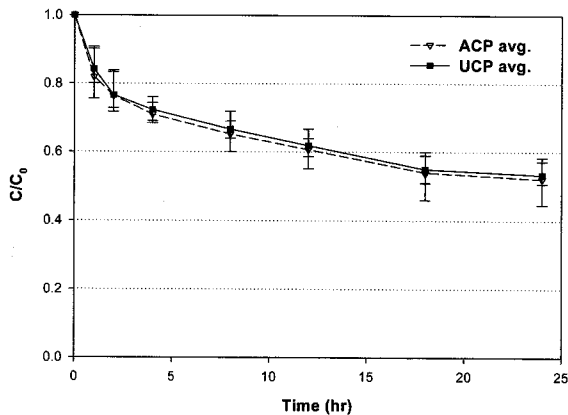


Fig. 5. SCOD_{Cr} removal during a cycle in SBRs.

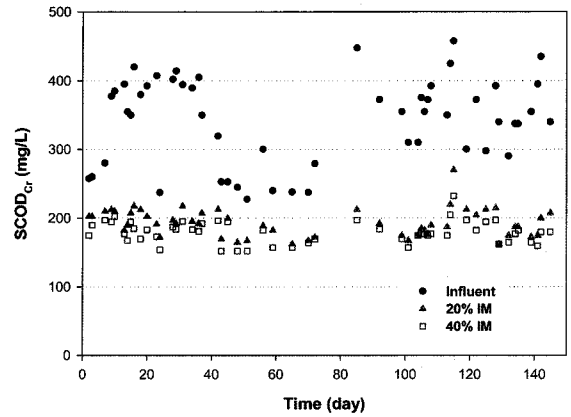


Fig. 6. Concentration profile of SCOD_{Cr} by the different packing rate of immobilized media.

3.3. 고정화 담체 충전율에 따른 유기물 제거효율 비교

SBR 2기에 공장계열 활성슬러지를 고정화한 담체를 각각 20%, 40% 충전하여 담체의 충전율에 따른 염색폐수의 유기물 제거효율을 비교하였다(Fig. 6).

유입수의 평균 SCOD_{Cr} 342 mg/L에 대해 담체를 20% 충전한 경우에 배출수 평균 SCOD_{Cr} 193 mg/L(제거율 42%)이었으며, 40% 충전한 경우 179 mg/L(제거율 46%)로 나타났다. 충전율을 2배로 하여 biomass의 차이를 주었음에도 유기물의 제거효율에 큰 증가가 관찰되지 않아 미생물량이 아무리 많아도 난분해성 물질을 많이 포함한 기질의 경우 생물학적 분해에 한계가 있는 것으로 판단되었다.

3.4. HRT 변화에 따른 고정화 담체공정의 유기물 제거효율

염색폐수의 난분해성 유기물 제거를 위한 유동상 반응기의 적정 운전조건을 도출하기 위해 2개의 반응기 FBR1, FBR2의 온도(30℃), 담체충진율(20%), 공기주입량(2 L/min) 등을 동일하게 유지한 조건에서 HRT를 변화시켜 가면서 그 영향을 검토하였고 생물학적 처리 이전의 염색폐수를 유입하여 유입수 정상변화에 따른 영향을 관찰하였다.

운전조건 변화에 따른 유입, 유출수의 SCOD_{Cr} 농도변화를 Fig. 7에 나타내었고, 기질 부하량 변화에 따른 유기물 제거율을 Fig. 8에 나타내었다. HRT 24~12 hr의 운전조건에서는 비슷한 처리효율을 보여주었으나(44~47%), HRT 6 hr인 경우에는 20 mg/L 이상의 농도상승을 보였다. 유동상 반응기가 유기물 부하에 영향을 받는 완전혼합 반응기(completely stirred tank reactor)의 특성을 가지고 있어, 유기물 부하 증가에 따른 충격부하의 영향이 크게 작용한 것으로 보인다.

운전시작 후 70일째에 운전조건을 변경하여 FBR2에는 생물학적 처리전의 균질조 유출수(EQ)를 유입수로 사용하였는데 HRT 18 hr인 경우에 유출수 평균 SCOD_{Cr} 175 mg/L(제거율 77%)의 제거효율을 나타내었고, HRT 8 hr인 경우 234 mg/L(제거율 69%)로 조건변화 후 10일 정도 급격히 증가하였으나 그 이후로는 210 mg/L 정도의 안정적인 처리농도를 나타내는 경향을 보였다.

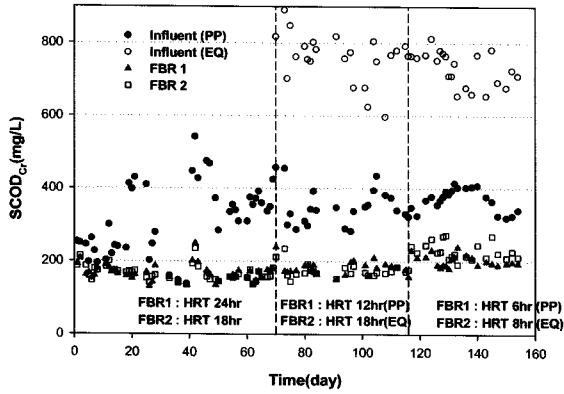


Fig. 7. SCOD_{Cr} removal according to HRT variation in FBRs.

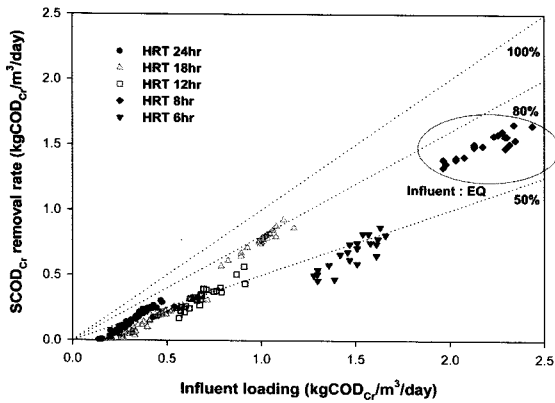


Fig. 8. SCOD_{Cr} removal rate in FBRs.

한편 BOD₅의 경우 생물학적 처리수(PP)의 평균 BOD₅ 21 mg/L에 대해 운전조건에 상관없이 유출수 평균 BOD₅ 4 mg/L로 나타났고, 원수(EQ)를 사용한 경우 유입수의 평균 BOD₅ 260 mg/L에 대해 HRT 변화에 상관없이 처리수 평균 BOD₅ 8 mg/L(제거율 97%)의 제거효율을 나타내었다.

한편 난분해성 유기물질의 제거효율을 알아보기 위해 BODU 값을 고려해 보았을 때 생물학적 처리수(PP)를 유입수로 사용한 경우 유입수 평균 NBDCOD_{Cr}농도(COD_{Cr}-BOD_U) 316 mg/L에 대해 HRT 12~24 hr인 운전조건에서 47~50%의 NBDCOD_{Cr}의 제거효율을 확인 할 수 있었다. 그러나 HRT 6 hr인 경우 185 mg/L(제거율 41%)를 나타내었다. 원수(EQ)를 유입수로 사용한 경우 유입수 평균 NBDCOD_{Cr}농도 374 mg/L에 대해 HRT 18 hr인 경우 170 mg/L(제거율 55%), HRT 8 hr인 경우 209 mg/L(제거율 44%)로 나타내었다. 반응기내 MLVSS 800 mg/L 정도의 부유미생물이 담체와 공존함으로써 분해가 쉬운 BOD 성분이 부유미생물에 의해 쉽게 제거됨으로서 높은 유기물농도의 원수(EQ)를 사용한 경우에도 난분해성 유기물질이 효과적으로 처리된 것으로 판단된다.

Table 4는 HRT 변화에 따른 유입, 유출수의 항목별 평균 농도를 나타낸 것이다. 이와 같은 결과로 유동상 반응기에서 HRT 12 hr이 유기물 제거효율과 배출허용기준을 고려할 때 안정된 효율을 얻을 수 있는 최소 체류시간으로 판단되었다. 또한, 균질조 유출수를 처리한 FBR2의 결과와 기존 생물학적 처리수 농도(SCOD_{Cr} 350 mg/L)를 비교한 결과 유동상 반

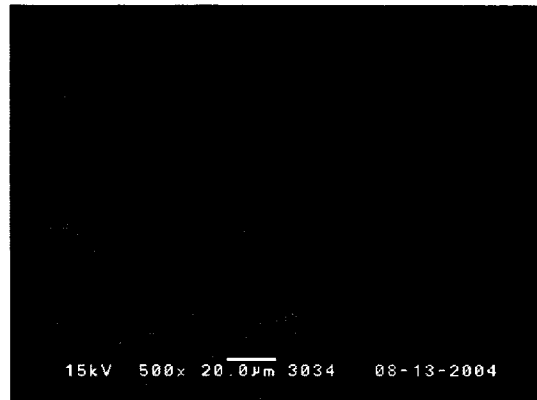
Table 4. Comparison of average performances by different HRT in FBRs

Conditions	SCOD _{Cr} (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)
Influent(PP)	334 ± 81	145 ± 31	21 ± 9
HRT 24 hr	166 ± 22	80 ± 13	3 ± 1
HRT 18 hr	169 ± 21	80 ± 13	3 ± 1
HRT 12 hr	182 ± 24	84 ± 12	4 ± 2
HRT 6 hr	206 ± 20	100 ± 18	6 ± 2
Influent(EQ)	768 ± 59	286 ± 31	260 ± 33
HRT 18 hr	175 ± 19	77 ± 9	7 ± 2
HRT 8 hr	234 ± 25	108 ± 16	14 ± 3

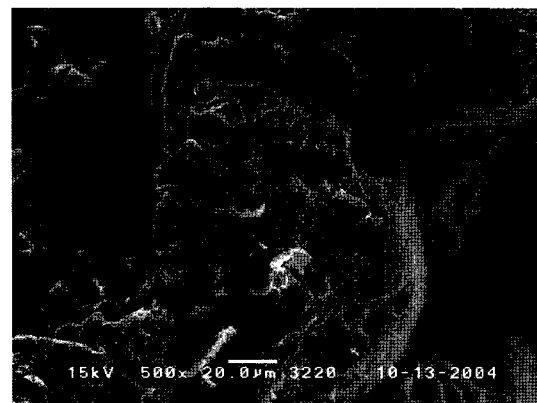
응기가 활성슬러지 공정 등의 생물학적 처리공정을 대신하여 사용될 경우 BOD제거는 물론 난분해성 유기물 제거에 효과적인 공정으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

3.5. 고정화 담체의 물리·화학적 특성변화

유동상 반응기에 충전되어 사용된 담체의 표면상태를 전자현미경(SEM)으로 관찰하였을 때(Fig. 9) 합성초기 담체의 경우 내부에 많은 주름이 존재함으로써 원활한 산소공급 및 미생물의 증식이 잘 이루어질 수 있는 조건을 갖추고 있는 것을 알 수 있었다.



(a) 0 day



(b) 92 days

Fig. 9. SEM pictures of the surface of immobilized media in reactors.

Table 5. Compressive strength and diffusion coefficient of media

Time (days)	Fluidized bed reactor	
	Compressive strength(kg/cm ²)	Diffusion coefficient(m ² /s)
0	3.74	3.15×10 ⁻⁹
20	2.87	1.10×10 ⁻⁹
92	3.16	1.67×10 ⁻⁹
131	2.42	1.27×10 ⁻⁹

또한 담체의 압축강도 변화와 담체내부로의 확산계수를 조사한 결과를 Table 5에 나타내었다. 시간이 경과됨에 따른 확산 계수를 보면 3.15×10⁻⁹ m²/s에서 1.10×10⁻⁹ m²/s로 확산이 다소 느려진 후 일정한 값을 보여주고 있음을 알 수 있었다. 이 같은 결과는 일정기간 동안 중 선택이 이루어지고 담체내 미생물의 증식이 이루어진 후 자기소화를 통해 담체내 미생물의 양이 균형을 이루기 때문인 것으로 판단된다.

담체의 압축강도의 변화를 살펴보면 유동상 반응기의 경우 압축강도는 131일의 기간 동안 큰 변화가 없는 것으로 보이며 92일이 경과된 이후 SEM 관찰 결과(Fig. 9) 담체내부의 공극들이 관찰되어 미생물의 성장 및 사멸에 의해 생긴 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 염색폐수의 난분해성 유기물질의 제거를 위해 PEG 담체에 활성슬러지의 종류, 염색폐수에의 적용 여부, 적용기간에 따른 제거성능을 평가 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 염색폐수에 적응시킨 공장계열 활성슬러지와 적응시키지 않은 공장계열 활성슬러지를 PEG에 포괄 고정화하여 유기물질 제거효율을 비교한 결과, 2주 정도의 안정화 단계를 거친 후 적응시킨 미생물을 고정화한 경우 20%의 담체 충전율에서 SCOD_{Cr} 농도는 40±8%의 제거효율을, 적응시키지 않은 활성슬러지를 고정화한 경우 38±8%의 제거효율을 나타내었다.

2) 연속 호기성 유동상 반응기에서는 생물학적 처리수를 유입수로 하여 HRT를 6~24 hr로 운전한 결과 모든 조건에서 45% 이상의 유기물 제거효율을 보였지만 HRT 12 hr이 유기물 제거효율 등을 고려할 때 안정된 효율을 얻을 수 있는 최소 체류시간으로 판단되었고, 염색폐수처리장으로 들어오는 원수를 직접적으로 처리한 결과 COD_{Cr} 70% 이상, BOD₅ 97% 이상의 제거효율을 보여 후단의 물리, 화학적 처리비용을 상당히 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 운전기간에 따른 고정화 담체의 물리·화학적 특성변화를 살펴본 결과, 담체의 압축강도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났고, 담체 내부로 산소공급과 물질확산이 이루어져 담체 내부에 미생물이 증식하고 있음을 확인하였다.

결론적으로 포괄고정화 담체를 이용하여 호기성 상태에서

생물학적으로 처리한 결과 염색폐수의 난분해성 유기물질 제거에 효과적임을 알 수 있었고, 유동상 반응기는 기존 활성슬러지 공정을 대신하거나 병행해서 적용할 때 효과적인 유기물질 처리공정이 될 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 환경부 차세대 핵심기술개발사업 연구과제지원(No. 071-041-008)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Gibell, S., Environmental Pollution Control Textile Processing Industry, EPA Environmental Research Information Center, EPA-625/7-78-002, 121~126(1978).
- Grady, Jr. C. P., Daigger, G. T., and Lim, H. C., Biological wastewater treatment revised and expanded, 2nd ed., Dekker, New York(1999).
- Hashimoto, N. and Sumino, T., "Waste treatment using activated sludge entrapped in polyethylene glycol prepolymer," *J. Ferment. Bioeng.*, **86**(4), 424~426(1998).
- Nicolaou, M. and Hadjivassilis, I., "Treatment of wastewater from the textile industry," *Water Sci. Technol.*, **25**(1), 31~35(1992).
- Porter, J. J. and Shinder, E. H., "Long term biodegradability of textile chemicals," *Textile Chem. Color.*, **48**(9), 2199~2206(1976).
- Shaul, G. M., "Fate of water soluble Azo dyes in the Activated Sludge Process," *Chemosphere*, **22**, 107~119(1991).
- Vandevivere, P. C., Bianchi, R., and Verstracte, W., "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging technologies," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **72**, 289~302(1998).
- Paulsen, J. E., Oppen E., and Bakke R., "Biofilm morphology in porous media, a study with microscopic and image techniques," *Water Sci. Technol.*, **36**, 1~9(1997).
- 角野立夫 外 3人, "包括固定化微生物を用いた廢水處理, 用水と廢水," **34**, 935~940(1992).
- 김홍태, 김규창, "염색폐수 처리성능에 대한 호기성 고정 및 유동층 생물막공법과 회전매체를 가진 완전혼합 활성슬러지 공법의 비교연구," *한국환경과학회지*, **8**(4), 525~532(1999).
- Tyagi, R. D. and Vembu, K., Wastewater treatment by immobilized cells, CRC Press, Boston(1982).
- 김현경, "특수 미생물 포괄 친수성 PEG 담체의 합성연구", 한양대학교 석사학위 논문(2003).
- Crank, J., "The Mathematics of Diffusion," 2nd ed., Clarendon Press, Oxford(1975).