

고정화담체를 이용한 염색폐수의 난분해성 유기물질 처리

한덕규 · 배우근[†] · 조영진 · 원호식* · 이용우**

한양대학교 토목환경공학과 · *한양대학교 화학과 · **삼성엔지니어링(주)

(2005년 4월 12일 접수, 2005년 9월 27일 채택)

Treatment of Refractory Organics in Dyeing Wastewater by Using Cell Immobilized Pellets

Han, Dukgyu · Bae, Wookeun[†] · Cho, Young jin · Won, Hoshik* · Lee, Yongwoo**

Hanyang University Department of Civil & Environmental Engineering

*Hanyang University Department of Chemistry · **Samsung Engineering Corp.

ABSTRACT : The wastewaters from textile and dyeing industries are difficult to treat due to its high pH, temperature, color intensity and non-biodegradable organic contents. This study investigated the removal of recalcitrant organics in a dyeing wastewater by using a packed bed reactor (PBR) that contained cell-immobilized pellets. The feed, obtained from an effluent of a biological treatment plant, had SCOD_C of 330 mg/L and SBOD₅ of 20 mg/L on average.

In immobilizing the cells to a Polyethylene Glycol(PEG) based medium, activated sludges from either a sewage treatment plant or an industrial wastewater treatment plant were used. When the empty bed contact time (EBCT) was above 8 hrs in the PBR, the COD_C removal efficiency was over 50% and the COD_{Mn} concentration was 72 mg/L or lower on average, which was substantially lower than the discharge standard of 90 mg/L. The results indicated that the optimum EBCT in the PBR was 8 hrs. The PBR with cell-immobilized pellets was effective as an advanced treatment process after an activated sludge process for treating dyeing wastewaters.

Key Words : Textile-Dyeing Wastewater, Packed Bed Reactor, Immobilized Pellet, Hardly Biodegradation

요약 : 섬유 염색폐수는 PVA, 유기정련제, 각종 염료 등이 함유되어 있어 처리가 매우 어려운 난분해성 유기폐수로 분류되어 있다. 본 연구에서는 생물학적 처리방법으로 염색폐수의 난분해성 유기물질을 효과적으로 처리할 수 있는 방안으로 활성슬러지를 PEG (Polyethylene glycol)에 포괄고정화한 담체를 고정상 반응기를 이용한 공정에 적용시켜 난분해성 유기물질의 처리효율을 평가하고 적정 운전인자를 검토하였다. 별도로 적용과정을 거치지 않은 활성슬러지를 고정화한 담체를 고정상 반응기에 충전하여 호기성 상태에서 연속식으로 운전하였다.

이때 유입수는 SCOD_C 약 330 mg/L, SBOD₅ 20 mg/L 이하의 생물학적 1차 처리수를 사용하였다. 체류시간의 변화에 따른 각 반응기의 난분해성 유기물질 제거효율을 비교한 결과 EBCT 6 hr을 제외하고는 모두 50% 이상의 유기물(COD_C) 제거효율을 보였고 COD_{Mn}의 경우 배출허용기준치 90 mg/L보다 평균 18 mg/L 이상 낮았다. EBCT 6~24 hr 결과들을 비교한 결과 EBCT 8 hr이 유기물 제거효율과 배출허용기준을 고려할 때 경제적이고 안정된 효율을 얻을 수 있는 적정 체류시간으로 나타났다. 또한 반응기에 충분한 DO를 공급하기 위하여는 주입공기 선속도를 7 m³/m² · hr 이상으로 해 주어야 하는 것으로 나타났다. 또한 담체내부 미생물을 동정한 결과 PAH, PVA, Phenol 등 난분해성 물질을 분해하는 균주가 성장하고 있었다. 한편, 고정화담체를 131일에 걸쳐 관찰한 결과 압축강도와 담체내부로의 물질확산에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

포괄고정화 담체를 이용한 염색폐수처리에서 고정상 반응기는 기존 활성슬러지 공정의 후처리로서 적용 가능할 것으로 판단되어진다.

주제어 : 섬유-염색폐수, 고정상반응기, 포괄고정화담체, 난분해성 유기물질

1. 서론

국내의 염색관련 산업은 폐수발생량이 전체 산업폐수의 약 4.5%, 오염부하량(COD_{Mn} 기준)은 약 23.8%인 대표적인 오염 유발 산업이다.¹⁾ 염색폐수는 염색 가공 공정이나 사용하는 염료에 따라 용수 사용량과 폐수의 성상이 일정하지 않으며, 높은 COD 농도, 색도, 수온, pH, 알칼리도뿐만 아니라

계면활성제, PVA(Polyvinyl alcohol), EG(Ethylene glycol) 등의 난분해성 물질을 다량 함유하고 있어 처리가 매우 어려운 폐수로 알려져 있다.^{2~7)} 대표적인 염색폐수 처리방법으로 응집침전법, 펜톤산화법, 오존산화법, 활성슬러지법 등이 있으며, 위의 처리 방법을 조합해서 쓰는 경우가 많다. 펜톤산화법은 COD 및 색도제거효율이 좋으나 처리비용이 비싸고 슬러지가 많이 발생하는 문제점이 있고, 오존산화법은 색도제거에 국한되는 한계가 있다. 활성슬러지법의 경우 비교적 저렴한 처리가 가능하나 COD 제거효율이 떨어지고 색도가 거의 제거되지 않는다. 또한 슬러지 팽화(bulking)현상이 자주 발생할 수 있다.³⁾

[†] Corresponding author

E-mail: wkbae@hanyang.ac.kr

Tel: 031-400-5148

Fax: 031-417-8139

따라서 생물학적 처리방법의 단점을 보완하기 위해 담체를 이용하고자 하는 연구들이 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 담체 표면에 미생물을 부착시키는 생물막 방식이지만, 최근에는 포괄고정화 담체를 이용한 생물학적 처리공정에 대한 연구가 진행되고 있다.³⁾ Hashimoto 등(1998)³⁾은 PEG (Polyethylene glycol)를 이용한 산업폐수내의 유기물 제거효율 등을, Chen 등(2003)⁸⁾은 PVA재질의 고정화 담체를 이용한 아조염료의 색도제거 연구를 수행하였으며 많은 연구자들이 담체에 대한 연구를 수행하고 있으나 이러한 연구들은 분해성 유기물질에 대한 제거효율과 합성폐수를 이용한 미생물의 제거기작에 관한 연구가 대부분으로 실제폐수에 대한 적용실험에 있어서는 유기물 제거에 대한 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 미생물을 PEG prepolymer로 포괄 고정화시켜 담체를 제작하고 이를 고정상반응기에 충전하여 난분해성 염색폐수를 처리하고 적정 EBCT와 적정 DO 농도를 도출하였다. 또한 운전에 따른 담체의 압축강도와 미생물 분포의 변화를 측정하여 이러한 영향인자들이 염색폐수의 난분해성 유기물질 처리효율에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 포괄고정화 담체

A시 소재의 하수처리장내 공장계열 활성슬러지를 약 0.5%의 미생물 농도로 담체 내에 포괄고정화 하였다. 이때 사용된 담체소재로는 산소확산이 용이하며 투과성 및 내구성이 뛰어난 PEG(Polyethylene Glycol)를 선정하여 Fig. 1에 나타난 순서로 합성된 고정화 담체를 사용하였다.

Fig. 1에서 보는바와 같이 500 mL 플라스크에 PEG diacrylate M.W.700 72 g(18 w/v%)과 potassium persulfate 1 g(0.25 w/v%)를 넣어 혼합한 후 가교제와 촉진제를 첨가, 미생물과 완전히 혼합한 다음 내경 4 mm인 PVC tube에 채워 25℃ 항온조에서 10분간 숙성시킨 후 4 mm 간격으로 담체를 절단하여 실험에 사용하였다.⁹⁾

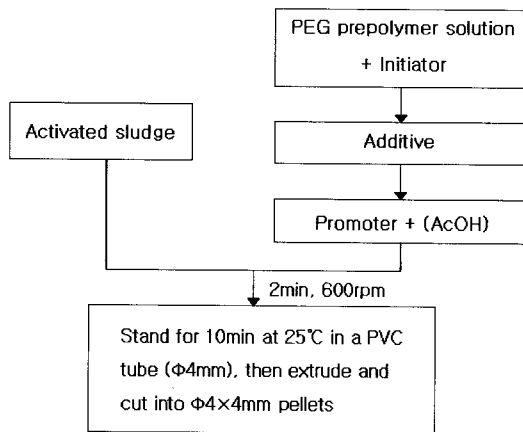


Fig. 1. Manufacturing of immobilized pellet.

2.2. 고정상 반응기

본 연구에서 사용한 고정상 반응기는 2기의 아크릴 재질의 원통형 반응기로 직경 7.5 cm, 높이 1.5 m이고, 용적은 5.5 L이며 반응기 외부에 water jacket을 설치하여 항온수조를 이용해 30℃로 온도를 유지하였다. 반응기 내부에는 포괄고정화담체를 높이 0.9 m(4 L)까지 충전하여 충진율 75%로 하였다. 또한 반응기의 상하부에는 mesh를 설치하여 담체의 유실을 막고 담체를 지지할 수 있도록 하였다. 높이별로 밸브를 설치하여 시료채취와 수두손실의 측정이 가능하도록 하였으며, 발생하는 슬러지 침전물을 처리하기 위해 하단부에 유출밸브를 설치하였다.

반응기는 유입수와 유입공기를 하부에서 주입하는 상향류식(upflow system)으로 운전하였다(Fig. 2).

고정상 반응기의 운전 조건들은 Table 1에 나타내었다. 유입 공기량은 0.5 L/min로 유지하였고, 역세 공기량은 5 L/min, 역세수량은 10 L/회로 수행하였다. 역세는 1회/2주 실시하였다.

한편 실험에 사용된 유입수는 B염색단지 내 폐수처리장에 설치된 표준 활성슬러지 공정 pilot plant 유출수로서 평균 SBOD₅ 21 mg/L, 평균 SCOD_{Cr} 334 mg/L이었다. 자세한 유입수 성상은 Table 2에 나타내었다.

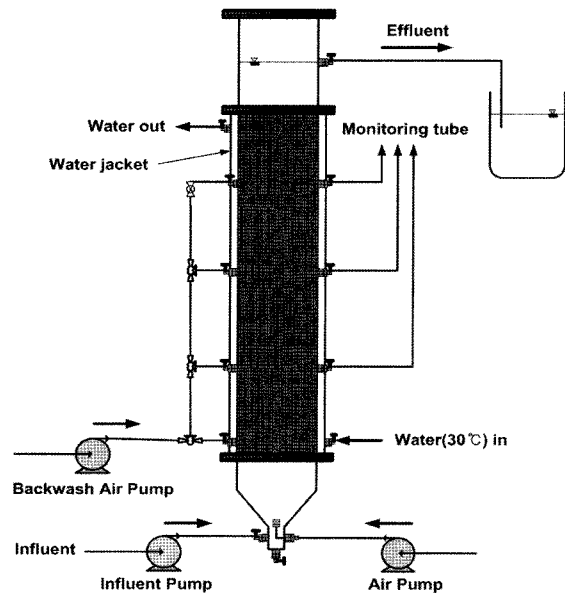


Fig. 2. Schematic diagram of Packed Bed Reactor(PBR).

Table 1. Operating conditions of PBR

Items	Conditions
Volume (L)	5.5
Pellet packing rate (%)	75
EBCT (hr)	6, 12, 24(PBR1) 8, 18(PBR2)
Process air flow rate (L/min)	0.5
Process air linear velocity (m ³ /m ² · hr)	7
Backwash air flow rate (L/min)	5
Temperature (°C)	30

Table 2. Characteristics of the feed(biologically treated textile wastewater) used in this study

pH	TCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Mn} (mg/L)	SBOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	Color (ADMI)
8.2 ± 0.7	455 ± 65	334 ± 41	145 ± 31	21 ± 9	145 ± 45	780 ± 95

2.3. 분석방법

모든 분석은 수질오염공정시험법(1997)과 Standard Methods (1998)에 준하여 실시하였다. 압축강도는 Texture Analyzer (Stable Micro System, TA-Xt2)를 이용하였으며, 담체내의 미생물 분석을 위해 담체를 미세하게 자른 후 nutrient broth (beef extract 3.0 g/L, peptone 5.0 g/L)medium에 접종한 후 30℃에서 배양하였다. 이 후 nutrient agar에 도말 한 후 colony 를 분리하여 universal eubacteria 16S rDNA primer로 PCR을 수행한 다음, gram staining(BD Co, gram negative identification sol.)을 하였으며, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology에 준하여 미생물 종을 확인 하였다(bioMerieux Co., API20 kit). 확산계수는 형광염료인 FDA (Fluorescence diacetate)의 담체 내부로의 확산속도를 Fluorescence Microscope (Olympus, IX71)를 이용하여 Danckwert가 제시한 immobilizing reaction식을 적용, 계산하였다.¹⁰⁾

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

- 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. 고정상 반응기의 EBCT 변화에 따른 유기물 제거

고정상 반응기 2기(PBR1, PBR2)의 온도, 담체 충전율, 공기주입량 등을 동일하게 유지한 조건에서 EBCT 변화에 따른 유입, 유출수의 SCOD_{Cr} 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었고, 기질 부하량 변화에 따른 유기물 제거율을 Fig. 4에 나타내었다.

EBCT를 8~24 hr으로 변화를 주었을 때 EBCT 단축에 따른 유기물 부하의 증가에도 불구하고 51.5~60.5%의 처리효율을 보였다. PBR2에서 EBCT를 18 hr에서 8 hr로 줄여 유기물 부하를 2.25배 증가시켰음에도 처리수질은 유출수 SCOD_{Cr} 평균 162 mg/L(제거율 53%)을 보여주었다(Table 3). 그러나 EBCT 6 hr 조건에서는 유출수의 평균 SCOD_{Cr} 농도는 193 mg/L로 EBCT 8 hr보다 처리수 농도가 증가하여 Fig. 4에서와 같이 유기물 용적부하를 증가에 따른 충격부하의 영향을 받은 것으로 나타났다.

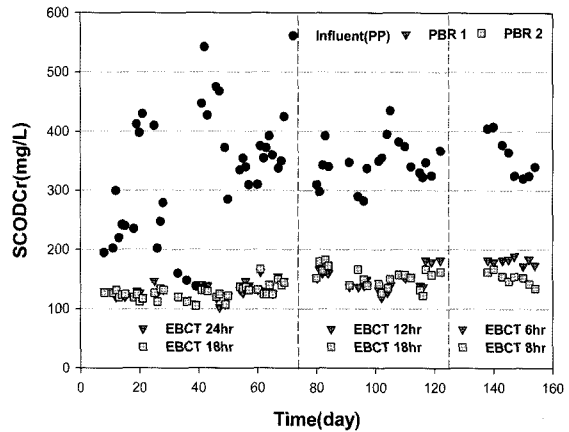


Fig. 3. SCOD_{Cr} removal under various at EBCTs.

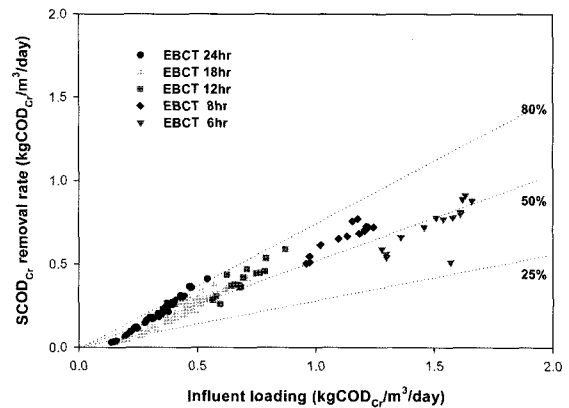


Fig. 4. SCOD_{Cr} removal rate vs. influent loading.

한편 EBCT 변화에 따른 유출수의 SCOD_{Mn}은 EBCT 24~28 hr에서는 유입수 농도 145 mg/L에 대해 평균 50.3~57.2%의 제거효율을 보여주었으며, SBOD₅ 값의 경우도 유출수 평균 SBOD₅ 3~5 mg/L로 안정적인 처리효율을 보였다(Table 3). 그러나 EBCT 6 hr에서는 유출수 SCOD_{Mn}이 평균 약 87 mg/L로 40.0%의 다소 낮은 제거효율을 나타냈다.

또한 난분해성 유기물질의 제거효율을 알아보기 위해 SCOD_{Cr}로부터 SBOD_U (Ultimate BOD)값을 뺀 soluble NBDCOD_{Cr} (Non-biodegradable COD_{Cr})의 농도변화를 관찰해 본 결과 유입수 평균 NBDCOD_{Cr} 316 mg/L에 대해 EBCT 24 hr인 운전조건에서 유출수 평균 NBDCOD_{Cr} 126 mg/L(제거율 60%), EBCT 18 hr인 경우 132 mg/L(제거율 58%), 그리고 EBCT 12 hr, 8 hr, 6시간의 경우 각각 149 mg/L(제거율 53%), 152 mg/L(제거율 52%), 172 mg/L(제거율 46%)로 나타내어 난분해성 유기물부하가 지속적으로 증가함에도 45% 이상의 처리효율을 나타내었다. 특히 유기물의 제거가 담체내부의 고정화 미생물 때문인지 또는 담체 외부의 형성된 생물막 때문인지 알아보기 위해 미생물을 포괄고정화한 담체와 고정화하지 않은 담체를 약 2개월 간 EBCT 8시간에서 유기물 제거효율을 비교 평가한 결과 반응기내에 미생물이 부착성장된 것을 고려하더라도 약 16.8%의 난분해성 물질의 제거가 이루어지고 있음을 확인할 수 있어 고정화 담체를 이용한 생물

Table 3. Comparison of performances at different EBCTs

Conditions	SCOD _{Cr}		SCOD _{Mn}		SBOD ₅	
	(mg/L)	removal effi.(%)	(mg/L)	removal effi.(%)	(mg/L)	removal effi.(%)
Influent (PP)	334 ± 81	-	145 ± 31	-	21 ± 9	-
EBCT 24 hr	132 ± 15	60.5	62 ± 6	57.2	3 ± 1	85.7
EBCT 18 hr	135 ± 19	59.6	66 ± 5	54.5	3 ± 1	85.7
EBCT 12 hr	156 ± 24	53.3	72 ± 10	50.3	4 ± 2	81.0
EBCT 8 hr	162 ± 16	51.5	72 ± 12	50.3	5 ± 1	76.2
EBCT 6 hr	193 ± 11	42.2	87 ± 13	40	8 ± 3	61.9

학적 처리방법으로 난분해성 유기물질이 효과적으로 처리됨을 확인할 수 있었다(자료 별도제시 없음).

이상의 결과로부터 고정상 반응기에서 EBCT 8 hr이 유기물 제거효율과 배출허용기준을 고려할 때 만족스런 효율을 얻을 수 있는 최소 체류시간임을 알 수 있었다.

3.2. 고정상 반응기의 위치별 유기물 제거효율

EBCT의 변화에 따라 높이별 SCOD_{Cr} 농도를 분석하여 담체의 충전율에 따른 유기물 농도 변화로 환산해 보았다(Fig. 5). 모든 EBCT 조건에서 기질의 유입부인 반응기 하단부로부터 40 cm 높이(충전율 30%)에서 전체 유기물 제거효율의 50% 이상의 제거효율을 보여주었다. 이러한 원인은 초기 잔존 분해성 유기물질의 초기제거와 하단부위(충전율 30% 이하)의 부유미생물의 담체부착에 따른 제거로 판단되었다. EBCT 12, 18, 24 hr의 경우 유입수의 SCOD_{Cr} 농도의 편차범위가 크게 나타났으나, 높이에 따른 유기물의 제거효율은 평균적으로 비슷한 효율을 나타냈으며, EBCT 6, 8 hr의 경우 유기물 부하가 증가함에 따라 담체와 기질 접촉시간이 줄어들어 하단부에서의 초기 SCOD_{Cr}의 제거효율은 감소하지만 반응기 전부분에서 꾸준히 제거되고 있는 것을 볼 수 있었다. 반응기 하단부위의 유입폐수와 함께 유입된 미생물들이 담체사이에 존재함으로써 유기물질의 제거가 이루어진 결과로 판단되어진다.

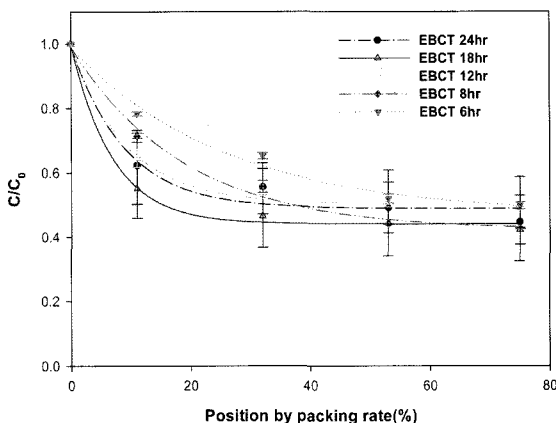


Fig. 5. SCOD_{Cr} removal at different positions in PBRs.

3.3. 고정상 반응기의 용존산소(DO) 변화에 따른 유기물 제거

용존산소의 농도가 처리성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수온 30°C, EBCT 8 hr로 일정하게 유지한 후 공기 유입량(0.2 L/min, 0.5 L/min, 1.0 L/min)을 변화시켜 반응기의 용존산소 농도에 따른 유출수의 SCOD_{Cr} 농도의 변화를 조사하였다(Fig. 6). 반응기 유출수의 용존산소 농도를 2 mg/L로 유지한 경우 SCOD_{Cr}은 약 40% 제거되었고, 용존산소 농도를 각각 5 mg/L, 7 mg/L로 증가시켰을 때 약 53%의 비슷한 유기물 제거효율을 나타내었다. 이러한 결과들로부터 호기성 생분해 조건을 유지하기 위해 용존산소는 염색폐수의 유기물 제거에 중요한 제한인자가 된다고 볼 수 있으며, DO의 농도가 5 mg/L 전·후, 공기유량을 500 mL/min(선속도 7 m³/m²·hr) 이상으로 유지하였을 때 담체 내부로의 원활한 DO의 확산 및 포괄고정화 한 담체내 호기성 미생물의 적절한 처리효율을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

3.4. 포괄고정화 담체의 물리·화학적 특성변화

Table 4는 담체의 압축강도와 염료(FDA)를 이용한 담체내부로의 확산 계수를 나타내고 있다. 물질확산속도를 바탕으로 시간경과에 따른 비교 시 고정상 반응기의 경우 운전 초기 3.15×10⁻⁹ m²/s에서 131일경과 후 2.21×10⁻⁹ m²/s로 확산 계수의 변화가 적은 것으로 나타났다. 이것은 담체 내부로 호기성 미생물의 생존에 필요한 적절한 산소공급 및 물질확산이 이루어져 담체 내부에서의 미생물이 안정적으로 유지하고 있는 것으로 사료되었다.

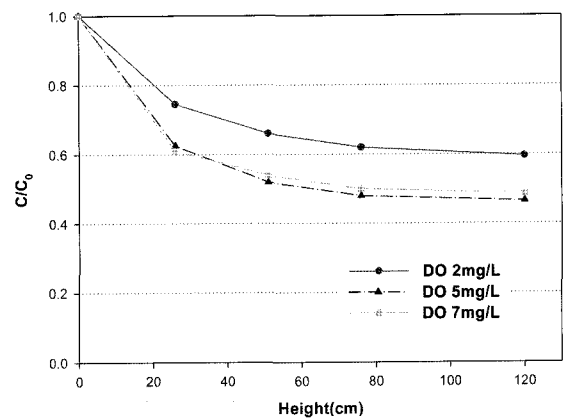


Fig. 6. SCOD_{Cr} removal with height under various DO concentrations in PBR.

Table 4. Compressive strength and diffusion coefficient of pellet

Time (days)	0	20	47	92	131
Reactor					
Compressive strength (kg/cm ²)	3.74	3.24	3.58	2.91	3.30
Diffusion coefficient (m ² /s)	3.15×10 ⁻⁹	4.38×10 ⁻⁹	1.48×10 ⁻⁹	1.70×10 ⁻⁹	2.21×10 ⁻⁹

Table 5. Microbe isolation/identification results in pellets after 150 days of reactor operation

Morphology	Strains	Microbe property(NCBI)
◆ Gram staining -Gram(+) : 4 species -Gram(-) : 10 species ◆ 형태학적 관찰 -Cocci : 2 species -Rod : 12 species	1. <i>Comamonas aquatica</i>	deep radioactive liquid waste repository
	2. <i>Stenotrophomonas sp.</i>	Polyphosphate Kinase
	3. <i>Staphylococcus sp.</i>	a deep subsurface environment
	4. <i>Stenotrophomonas sp.</i>	biodegraded Canadian oil reservoir
	5. <i>Brevundimonas diminuta</i>	trichloroethylene degradation
	6. <i>Flavobacterium-like sp.</i>	oxidation and reduction of arsenic in an unsaturated soil
	7. <i>Granulella daejeonensis</i>	isolated from granule
	8. <i>Zramigera</i>	quaternary ammonium alcohols
	9. <i>Rhodococcus sp.</i>	methylotrophic bacteria
	10. <i>Flavobacterium</i>	Distribution of biosurfactant producing bacteria
	11. <i>Burkholderia sp.</i>	diversity of Burkholderia cepacia complex
	12. <i>Pseudomonas putida</i>	Phenol degradation
	13. <i>Comamonas aquatica</i>	deep radioactive liquid waste repository
	14. <i>Ochrobactrum sp.</i>	isolates from soil samples and wheat roots

담체의 압축강도의 변화를 살펴보면 고정상 반응기의 담체에서는 운전초기와 비교할 때 거의 변화가 없는 것으로 나타났다는데 이는 고정상 반응기의 특성상 역세시기를 제외하고는 담체에 강도에 미치는 외부적 요인이 적었기 때문인 것으로 판단된다.

3.5. 포괄고정화 담체내의 미생물 관찰

반응기 운전 150일 경과 후의 고정화 담체에 대한 gram staining 결과 그람 음성균이 10종, 그람 양성균이 4종으로 나타났으며, 형태학적 관찰 결과 구균 2종, 간균이 12종으로 나타났다(Table 5). NCBI(National Center for Biotechnology Information)를 통해 미생물을 특성을 조사한 결과 분리/동정된 미생물은 aliphatic 및 aromatic 화합물로 구성된 난분해성 물질들을 분해하는 것으로 알려져 있다(Table 5).

특히 담체내에 *Stenotrophomonas sp.*와 *Pseudomonas Putida* 등이 우점종으로 존재하는 것을 확인하였으며, 특히 *Stenotrophomonas sp.*의 경우 PAH, PVA 및 Phenol 등을, *Pseudomonas Putida*의 경우 nonylphenol 등을 분해하는 균으로 알려져 있으며, 이러한 물질들은 섬유-염색공정 폐수에 존재하는 대표적인 hardly biodegradable한 물질들로 알려져 있어 활성슬러지를 포괄고정화한 담체내의 미생물들이 시간 경과에 따라 분해가 어려운 물질을 분해할 수 있는 종 선택이 이루어졌음을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 폐수처리시설의 활성슬러지를 PEG에 포괄고정화한 담체를 고정상 반응기를 이용한 공정에 적용시켜 난분해성 유기물질의 처리효율과 적용가능성을 평가하고 적정 운전인자를 검토하고자 하였으며, 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연속 호기성 고정상 반응기에서는 EBCT 8 hr 이상에서 51% 이상의 유기물(COD_{Cr}) 제거효율을 보였고, COD_{Mn}의 경우 배출허용기준치 90 mg/L보다 평균 18 mg/L 이상 낮은 처리수 농도를 나타내어 EBCT 8 hr이 유기물 제거효율과 배출허용기준을 고려할 때 필요한 효율을 얻을 수 있는 최소 체류시간이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

2) 고정상 반응기에서 높이별 SCOD_{Cr} 농도를 분석한 결과, 기질의 유입부인 반응기 하단부에서 전체 유기물 제거효율의 50% 이상의 제거효율을 보여 기질분해 활동이 큰 것으로 나타났으며, DO 공급에 따른 유기물 제거효율을 비교한 결과, 선속도 7 m³/m²·hr 이상으로 유지한 경우 호기성 미생물의 활발한 기질제거가 이루어져 안정된 처리효율을 나타내는 것으로 확인하였다.

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

따라서 이러한 담체공정은 난분해성 유기물질을 기질로 하여 성장하는 미생물들의 다른 종과의 경쟁과 SRT(슬러지 체류시간)의 구애를 받지 않고 안정적으로 성장할 수 있어, 염색폐수 뿐만 아니라 기타 난분해성 유기물질 처리에 있어서 매우 효과적인 공정으로, 화학적 처리비용의 대폭적인 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 기존 활성슬러지 공정의 후처리로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

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

참고문헌

1. 국립환경연구원, 폐수배출시설 표준 원단위 조사연구(II), L(1998).
2. Gibell, S., Environmental Pollution Control Textile Processing Industry, EPA Environmental Research Information Center, EPA-625/7-78-002, pp. 121~126(1978).
3. Hashimoto, N. and Sumino, T., "Waste treatment using activated sludge entrapped in polyethylene glycol prepoly-

- mer," *J. Ferment. and Bioeng.*, **86**(4), 424~426(1998).
4. Ahn, D., Chang, W., and Yoon, T., "Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption and fixed bed biofilm process," *Process Biochem.*, **34**, 429~439(1999).
 5. Lin, S. H. and Lin, C. M., "Treatment of textile waste effluents by ozonation and chemical coagulation," *Water Res.*, **27**(12), 1743~1748(1993).
 6. Nicolaou, M. and Hadjivassilis, I., "Treatment of wastewater from the textile industry," *Water Sci. Technol.*, **25**(1), 31~35(1992).
 7. Porter, J. J. and Shinder, E. H., "Long term biodegradability of textile chemicals," *Textile Chem. Color.*, **48**(9), 2199~2206(1976).
 8. Chen, K. C., Wu, J. Y., Huang, C. C., Liang, Y. M., and Hwang, J., "Decolorization of azo dye using PVA-immobilized microorganisms," *J. Biotechnol.*, **101**, 241~252(2003).
 9. 김현경, "특수 미생물 포괄 친수성 PEG 담체의 합성연구," 한양대학교 대학원, 석사학위 논문(2003).
 10. J. Crank, "The Mathematics of Diffusion," 2nd ed., Clarendon press, Oxford(1975).
 11. Benson, D., "An emerging technology : The biological aerated filter, A promising biological process," U.S. E.P.A. 832/R831/02, Water Engineering Res. Lab., Cincinnati, Ohio., 3~10(1983).
 12. Paulsen, J. E., Oppen E., and Bakke R., "Biofilm morphology in porous media, a study with microscopic and image techiques," *Water Sci. Technol.*, **36**, 1~9(1997).
 13. Tanaka K., Tada M., Kimata T., Harada S., Fujii Y., Mizuguchi T., Mori N., and Emori H., "Development of new nitrogen removal system using nitrifying bacteria immobilized in synthetic resin pellets," *Water Sci. Technol.*, **23**, 681~690(1991).
 14. 角野立夫 外, "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).