

공기부상 생물막 반응기를 이용한 산업폐수 처리

최 광 수 · 한 기 백*
경상대학교 해양환경공학과 · 서라벌대학 환경시스템학과
(2000년 6월 13일 접수)

Wastewater Treatment using Air-lift Biofilm Reactor

Kwang-Soo Choi and Kee-Baek Han

Dept. of Marine Environmental Engineering, College of Marine Science, Kyeongsang National University. The Institute of Marine Industry
*Dept. of Environmental System, Sorabol College
(Manuscript received 13 June, 2000)

Air-lift biofilm reactor should be an admirable process substituting conventional activated sludge process, because of its small area requirement as well as high volumetric loading capacity and stability against loading and chemical shocks. However most of the past research on the performance of ABR was focused on the sewage treatment. This research studied the applicability of ABR to treat high strength wastewater. A bench-scale ABR was operated to treat high strength synthetic wastewater, tannery wastewater and petrochemical wastewater, and its applicability was conclusive.

In case of synthetic wastewater, ABR showed good performance in which the substrate removal efficiency was higher than 80 % even under short HRT(1.4 hr) and high volumetric loading rate(9.3 kgCODcr/m³ · day). When ABR was applied to treat tannery wastewater, it was suggested that the maximum volumetric loading rate and F/M ratio should be 7.7 kgCODcr/m³ · day, 0.76 day⁻¹, respectively. And high substrate removal efficiency over than 90 % was observed with 4,000 mgCODcr/L of petrochemical wastewater. Even though effluent concentration was quite high, ABR should be applicable to treat the high strength wastewater, because of its high loading capacity.

Key words : Air-lift biofilm reactor, tannery wastewater, petrochemical wastewater, volumetric loading rate, attached biomass

1. 서 론

공기부상 생물막 반응기는 비표면적이 매우 큰 매디아에 미생물을 부착시킴으로써 반응기내에 고농도의 미생물 유지가 가능하여 여타의 재래식 폐수처리공법 보다 용적부하율을 높게 유지할 수 있고, 반응기의 표면적 당 높이가 크기 때문에 소요 부지가 적게 요구된다.

생물막 유동층 반응기(Fluidized Bed Biofilm Reactor, FBBR)는 일반적으로 2상 및 3상 FBBR로 구분되며, 반응조 안에 매디아를 투입하여 유동시키는 것은 동일하나, 2상 FBBR은 산소공급을 위하여 순환수에 순산소를 주입하여 반응기내에 용존산소를 공급하는 반면, 3상 FBBR은 공기를 반응기 내부에 직접 공급하고 상, 하향 흐름(riser, down-comer)의 순환경로를 형성하여 생물막이 부착된 담체(bioparticle)를 상, 하향으로 순환 유동시킨다. 또한 3상 FBBR은 공기부상 생물막 반응기(Air-lift biofilm reactor)라고도 불린다.

살수여상은 12-30m²/m³, 회전원판은 40-50m²/m³의

비표면적을 갖는 반면에 생물막 유동층 반응기는 800-1,200m²/m³ 정도의 비표면적을 유지할 수 있고, 반응기내 미생물 농도도 타 반응기에서는 1,000-5,000mg/ℓ 정도가 일반적이나 FBBR에서는 8,000-40,000mg/ℓ 까지 유지할 수 있다. 용적기준 공정부하율은 8-16 kgBOD₅,removed/m³ · day로 다른 공법에 비해 10배 정도이고, 슬러지 체류시간이 길게 유지될 수 있어서, 슬러지 발생량이 적으며 슬러지 침전성도 대단히 양호하다. 슬러지 체류시간이 길기 때문에 질산화 반응이 자연스럽게 일어나서, 무산소성 FBBR에 의한 탈질 공정이 추가될 경우 질소제거에 효율적인 공정이 될 수 있다. 그리고 부하변동이나 유독성 폐수의 유입에 대해서 높은 안전성이 있다.¹⁾

반면에, 반응속도 및 미생물 농도에 영향을 미치는 인자가 너무 많아 공정제어가 까다로우며, 반응기 구조 및 조작조건에 따라서 반응기 상태와 성능이 민감하기 때문에 운전조작이 쉽지 않고, 유동에 따른 동력비가 비교적

많이 소요된다는 문제점이 있다.

이러한 단점에도 불구하고 소요 부지가 적고, 고 부하율 및 외부충격에 강하다는 특징들로 인해 인구밀도가 높고 토지이용에 제한을 받는 네덜란드를 중심으로 하수 처리장에서의 적용을 위한 연구가 많이 이루어졌고 실 규모로 상용화되어 운전되고 있다.

호기성 생물막 공법을 이용한 도시하수처리의 경우 용적부하는 $3\text{kgBOD}_5/\text{m}^3\text{-day}$ 로 재래식 활성슬러지 공정의 $0.45\text{kgBOD}_5/\text{m}^3\text{-day}$ 보다 훨씬 우수하였다.²⁾ 미국에서는 이 공법을 이용하여 실제의 생활하수를 처리하기 위한 시험공정을 건설하면서 미래의 하폐수처리공법으로 아주 유망하다고 예상한 바가 있다.³⁾ 그리고 미국의 Dorr-Oliver사에서 이를 상업화하여 General Moter사에 반응조 용적이 $60\text{-}70\text{m}^3$ 되는 2상 FBBR을 10여기 설치하였다.⁴⁾

반응기내의 미생물 농도가 생물막 유동층 반응기에 간접폭기식으로 산소를 공급하는 호기성 2상 생물막 유동층 반응기에서는 산소공급이 제한되는 경우가 있어서 이를 방지하기 위해 순산소를 사용해야 하고, 유동상태를 유지하기 위해서는 슬러지 회전을 매우 높게 유지해야 한다. 이러한 운전방법은 과다한 에너지 소모를 요구하기 때문에 유동층 공법의 다양한 장점을 상쇄시키고 만다. 이에 대한 대안으로 공기를 반응조 내부의 draft tube를 통하여 공급함으로써 산소공급과 유동의 목적을 동시에 달성할 수 있는 3상 유동층 반응기가 연구되었다.^{5),6)} 네덜란드에서는 약 4 년간에 걸친 pilot scale의 연구에서 0.5-2 시간의 짧은 수리체류시간에서 CODcr용적부하를 $5\text{-}20\text{kg}/\text{m}^3\text{-day}$ 로 유지할 수 있었다.⁷⁾

공기부상 생물막 유동층 반응기 연구가 가장 활발하게 이루어지고 있는 네덜란드의 연구결과에 의하면, Concentric tube type FBBR을 이용하였을 때, 높은 처리효율과 안정적인 운전결과를 나타내었다. 용량 25 l의 bench scale reactor에서 CODcr 산화, 질산화, sulphide 산화를 포함해 총산화능력이 $14\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{-day}$, 생물막이 0.05-0.15mm 두께로 형성되었음을 보고하였다. 용량 284 m^3 , 액체높이 19m, 직경 4.5m의 full scale 반응기에서 수행한 수년간의 운전결과를 보면, 용적제거율이 $8.5\text{kg CODcr}/\text{m}^3\text{-day}$, 총산화능력은 $12\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{-day}$, biomass 농도는 lab scale, pilot scale(25, 350 l)의 경우보다 높게 나타났고, 장기간에 걸쳐 안정적인 처리효율을 나타내어 scale-up에 성공하였음을 보고하였다.⁸⁾

그러나 이러한 대부분의 연구들이 생활하수를 대상으로 이루어진 반면, 산업폐수처리를 위한 공기부상 생물막 반응기의 적용은 연구된 바가 그리 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 공기부상 생물막 반응기를 이용하여 합성폐수, 석유화학폐수, 피혁폐수 등을 처리하기 위한 적절한 조건들을 고찰함으로써 고농도의 산업폐수 처리를 위한 공기부상 생물막 반응기의 타당성을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 공기부상 생물막 반응기를 이용한 산업폐수의 처리 특성을 파악하기 위하여 합성폐수, 석유

화학폐수, 피혁폐수를 대상으로 각각 상이한 부하율 아래에서 실험을 수행하였다. 합성폐수와 현무암을 이용한 RUN A에서는 두 가지의 부하율을, 피혁폐수와 활성탄을 이용한 RUN B에서는 세 가지의 부하율을, 석유화학폐수와 현무암을 이용한 RUN C에서는 두 가지의 부하율을, 모두 7가지 조건에서 처리 성능 비교실험을 하였다.

2.1. 실험장치 및 폐수 특성

Fig. 1과 같은 공기부상 생물막 반응기 시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 원폐수는 상·하향 흐름의 전환이 있는 상부 또는 하부로 주입하였으며, 부유 담체로는 활성탄 또는 현무암을 이용하였다.

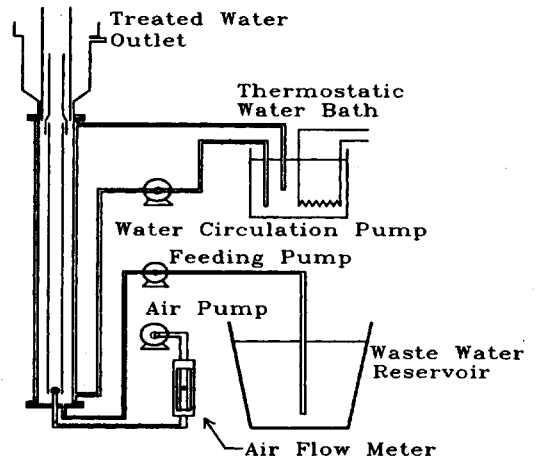


Fig. 1. Schematic diagram of the Air-Lift Biofilm Reactor.

반응기내의 온도를 $20\pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위하여 반응기 외부에 water jacket을 설치하여 항온조에서 항온수를 연속 공급하였으며, 반응기 하부로 주입되는 공기는 공기유량계를 이용하여 일정하게 조절하였다.

Table 1. Specifications of air-lift biofilm reactor

	RUN A	RUN B	RUN C
Reactor volume, L	10	29	10
Clarifier volume, L	1.7	13	16
H/D, -	15	15	15
Ar/Ad, -	0.1	0.6	0.1

각 실험에서 이용한 장치의 사양은 Table 1과 같다. 반응기는 모두 아크릴로 제작하여 내부의 bioparticle 유동상태를 관찰 가능하도록 하였다. 반응기 상부의 고-액-기 분리부에서 3상이 분리되어 가스는 대기 중으로 방출되고, 담체와 액체의 일부는 반응기 하부로 재 순환되

며, 액체의 일부는 outlet을 통해 외부로 유출되도록 하였다. 상향흐름(riser)과 하향흐름(downcomer) 사이의 평균 밀도차 내지 정압차에 의해 순환흐름이 형성되는데 산소의 용존율을 증대시키기 위해서는 반응기의 높이 대 직경 비(H/D)가 클수록 유리하기 때문에,⁷⁾ 본 시스템에서는 모두 15의 높은 값을 유지하였다.

Table 2. Composition of synthetic wastewater*

Compo- nents	Nutrient broth	Na ₂ HPO ₄	Glucose	KCl	Urea	CaCl ₂	NaCl	MgSO ₄
Conc., g/L	0.016	0.16	0.64	0.0224	0.16	0.0224	0.048	0.016

* CODcr 600 mg/l

RUN A의 실험에서 이용한 합성폐수의 조성은 Table 2와 같이 미생물의 성장에 필요한 영양소가 골고루 공급 되도록 조제하였으며, pH는 7±1로 유지하였다.

Table 3. Composition of the tannery wastewater

Components	pH	TSS	T-Cr	CODcr	n-H	Cl ⁻
Conc., mg/L	7-8	2,300	160	6,200	210	3,400

RUN C에서 이용한 피혁폐수의 조성은 Table 3에서 보는 바와 같이, pH는 중성에 가까우며, 총 부유고형물이 2,300mg/l, CODcr가 6,200mg/l이며, 활성슬러지의 성장에 장애를 초래하는 염소이온의 농도가 3,400mg/l로 높게 나타났다.

2.2. 반응기 운전 방법

RUN A에서는 수리체류시간을 1.4시간으로 고정한 상태에서 합성폐수의 농도를 600에서 1,200mgCODcr/l로 변화시켜 용적부하율을 각각 9.3, 18.6kgCODcr/m³·day로 변화시키며 운전하였다. 담체는 현무암을 이용하였으며, 현무암의 비중과 반응기내 농도는 각각 2.53g/ml, 140g/l, 평균 입경은 0.18~0.25mm이었다.

RUN B에서는 수리체류시간을 4.8 시간으로 일정하게 유지하면서, 피혁폐수를 희석하여 각각 700, 1,500, 3,000 mg/l의 농도로 조제하여 유입 용적부하율을 3.4, 7.7, 15.1kgCODcr/m³·day로 변화시키면서 운전하였다. 이때 담체로는 0.2~0.6mm의 입경을 가진 활성탄을 이용하였으며, 담체의 비중과 반응기내 농도는 각각 1.23g/ml, 170g/l이었다. 담체의 총비표면적은 2,000m²/m³이었다.

RUN C에서는 poly phthalic acid가 주성분이며 난분해성 물질이 다량 함유되어 있을 것으로 예상되는 석유화학폐수를 처리하기 위하여 수리체류시간을 2일로 연장하여 CODcr 4,000mg/l의 폐수를 2kgCODcr/m³·day의 용적부하율로 유입시켜 운전하였다. 담체는 RUN A와 동일하게 입경 0.18~0.25mm인 현무암을 140g/l의

농도로 주입하였다. 각 실험에서의 운전조건을 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Nominal operating conditions of the air-lift biofilm reactor for treatment of the wastewater

	RUN A		RUN B			RUN C	
	A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2
Influent CODcr, mg/L	600	1,200	700	1500	3000	4,000	4,000
HRT, hr	1.4	1.4	4.8	4.8	4.8	48	24
Lv, kgCODcr/m ³ ·day	9.3	18.6	3.4	7.7	15.1	2.0	4.0
Carrier conc., g/L	140	140	170	170	170	140	140

2.3. 분석방법

담체 농도와 미생물 농도는, 반응기내 상향흐름의 최상부에서 시료를 일정량 취하여 SS를 측정하여 휘발성분을 미생물 농도로 하고, 비휘발성분을 담체농도로 구분함으로써 구하였다. 이때 미생물이 부착된 담체, 미부착 담체, 부유미생물, 유체가 공존하는 시료를 시험관에서 증류수로 수 차례 수세하여 담체에 부착되어 있는 Biomass와 부유상태에 있는 Biomass를 분리하여 측정함으로써, 각각 부착미생물 농도(X_{v,att})와 부유미생물 농도(X_{v,sus})를 구하였다.

Media나 Bioparticle은 구형이라고 가정되지만, 실제로는 모양과 크기가 불규칙하기 때문에 평균 입자크기를 구해야 한다. 대체로 짧은지름(b)과 긴지름(a)을 가지는 타원형으로 된 것이 많아, 각 입자는 volume-equivalent 구형으로 전환된다.

$$d_i = \sqrt[3]{a_i b_i^2} \tag{1}$$

평균 입자크기를 측정하기 위해 반응기에서 30개의 bioparticle을 채취하여, 현미경을 이용하여 장축과 단축을 재었으며, 평균 bioparticle 입경 (\bar{dp})의 계산은 volume surface mean 또는 sauter mean을 이용하였다.^{9,10)}

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \tag{2}$$

\bar{d} : Sauter mean diameter

n : 측정횟수

별도로, 미생물이 부착되지 않은 담체를 이용하여 평균 담체입경(\bar{d}_m)을 측정하여 아래 식과 같이 평균 생물막 두께($\bar{\delta}$)를 구하였다.

$$\bar{\delta} = \frac{\bar{dp} - \bar{dm}}{2} \quad 3)$$

또한 반응기에서 무작위로 채취한 담체 100개의 생물막 부착 여부를 현미경으로 관찰하여 생물막 부착 담체와 미부착 담체의 비율을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성폐수 처리 실험

본 실험에서는 공기부상 생물막 반응기를 이용하여 산업폐수를 처리하기에 앞서 합성폐수를 대상으로 적절한 처리성능을 확인하였다. 처리 성능 실험을 수행하기 위하여 일정기간 동안 연속적으로 반응기를 운전하면서 유입수의 농도를 점차 증가시켜 담체표면에 미생물을 부착시키는 순차 기간(1개월)을 거쳐, 반응기내의 미생물 총 농도가 약 4,000mg/l가 되었을 때 본 실험을 시작하였다.

수리체류시간을 1.4 시간으로 고정된 상태에서 유입수의 CODcr 농도를 우선 600mg/l로 하여 운전하였다. 유입 용적부하율은 9.3kgCODcr/m³·day이었으며, 담체의 농도는 140g/l를 주입하였다. 한달 여 동안 운전한 다음 합성폐수의 농도를 두 배로 증가시켜 용적부하율을 18.6kgCODcr/m³·day로 증가시켜 마찬가지로 한달 여 동안 운전하였다. 이때 유입 공기 유량은 각각 170, 230 l/h로 증가시켜 증가된 부하율에 따른 산소요구량을 충족시킬 수 있도록 하였다.

1단계 실험에서, 정상상태에 도달하였을 때 반응기내 총 MLVSS 농도가 약 9,000mg/l이었으며, 총 기질 제거효율이 82%에 이르렀다. 기질제거에 미치는 부착성 및 부유성 미생물의 영향을 검토하기 위해 부착성 미생물과 부유성 미생물을 분리하여 측정된 결과 Fig. 2와 같이, 부착성 미생물이 평균 8,300mg/l, 부유성 미생물이 730mg/l로 부착성 미생물이 약 90% 이상을 차지하고, 부유미생물이 전체 biomass중 10%가 채 되지 않아 매우 뛰어난 미생물 부착특성을 나타내었다. 그리고 담체의 일부가 유출되어 초기 투입농도인 140mg/l에서 다소 감소하여 127mg/l 정도로 유지되었다. 생물막이

도포된 담체의 비율은 73%로 관찰되었으며, 잉여슬러지 발생량은 0.05kgVSS/day로 나타났다(Table 5).

Table 5. Operational results at steady state(RUN A)

Item	RUN No.		
	RUN A-1	RUN A-2	
Volumetric loading rate, kgCODcr/m ³ ·day	9.6±0.5	18.6±1.1	
F/M ratio, kgCODcr/kgVSS·day	1.1±0.1	0.9±0.1	
Sludge wasting rate, kgVSS/day	0.05±0.01	0.08±0.02	
CODcr removal efficiency, %	82±4	59±12	
Covered ratio, %	73±13	87±17	
Biofilm thickness, μm	120±21	130±27	
Carrier concentration, g/l	130±21	190±19	
VSS, mg/l	X _v	9,050±810	21,430±1,980
	X _{v,att}	8,320±940	16,950±1,690
	X _{v,sus}	730±260	4,250±730

부하율을 2 배 높게 운전한 2단계 실험에서는, 정상 상태에 도달하였을 때 반응기내 총 MLVSS 농도가 약 21,400mg/l로서 1단계에 비해 두 배 이상 증가하였으나, 총 기질 제거효율은 59%로 현저히 감소하여 유출수의 CODcr 농도가 400~600mg/l로 악화되었다. 부착성 미생물과 부유성 미생물이 각각 17,000mg/l, 4,300 mg/l로 부착성 미생물의 점유율이 약 80% 가량으로 앞의 실험보다 10% 감소하였다. 반면 생물막의 두께가 1단계 실험의 123μm에서 132μm로 증가하였으며, 생물막이 도포된 담체의 비율은 87%로 증가하였다. 잉여슬러지 발생량은 0.08kgVSS/day, SRT는 2.8day로 나타났다. 용적부하율은 18.6kgCODcr/m³·day로 1단계 실험에 비해 2배 증가하였지만, 미생물 농도가 2배 이상 증가하였기 때문에 결과적으로 F/M 비는 1단계의 1.1 kgCODcr/kgVSS·day 보다 감소한 0.9kgCODcr/kgVSS·day로 나타났다.

생물막 유동층 반응기의 유출수 CODcr 농도가 1, 2단

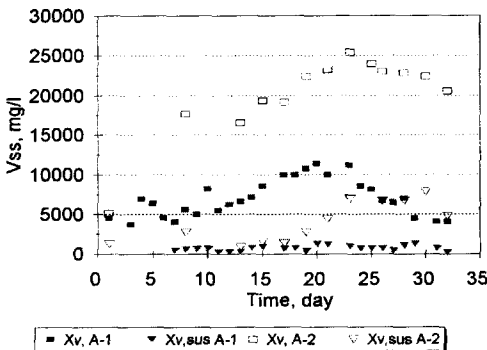


Fig. 2. Temporal variation of MLVSS in reactor(RUN A).

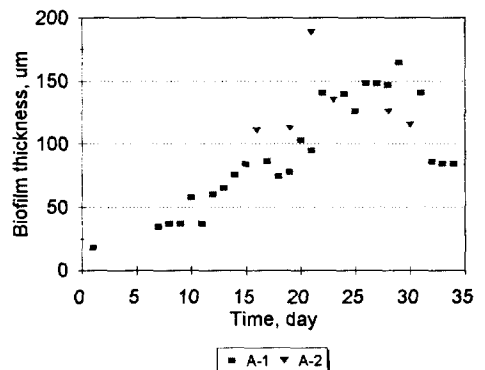


Fig. 3. Temporal variation of biofilm thickness(RUN A).

계 실험에서 각각 110, 450mg/ℓ로 다소 높게 나타났으나, 각각 9.3, 18.6kgCODcr/m³·day에 달하는 유입부하율과 1.4 시간의 짧은 수리체류시간을 고려할 때 고농도 산업폐수의 처리에 매우 타당한 공정임을 확인할 수 있었다.

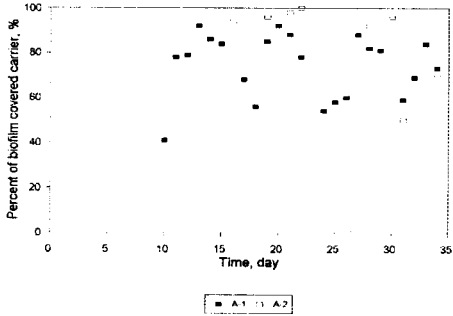


Fig. 4. Temporal variation of the percentage of biofilm covered carrier(RUN A).

3.2. 피혁폐수 처리 실험

피혁공단에서 발생하는 폐수를 기질로 이용하는 미생물들을 현장에서 직접 채취하여 본 연구에서 사용한 bench-scale 반응기에 100mg/ℓ로 집중한 다음 피혁폐수를 수돗물로 희석하여 일정 기간 주입함으로써 순치기간(1개월)을 거쳐 본 실험을 시작하였다. 현미경으로 관찰하여 생물막이 어느 정도 형성되었을 때, HRT를 4.8hr으로 고정하고 유입폐수의 CODcr 농도를 평균 670 mg/ℓ로 일정하게 유지하였다. 이때의 용적부하율은 3.35kgCODcr/m³·day이었다. 후반부에 이르러 반응기내 미생물의 농도가 10,000mg/ℓ를 훨씬 상회하였고 기질 제거효율도 83% 이상을 나타내었다. RUN B-1의 운전 결과를 Fig. 5, 6에 나타내었다.

RUN B-2 실험에서는 유입폐수의 CODcr 농도를 RUN B-1 보다 두 배 이상 더 높여 평균 1,500mg/ℓ로

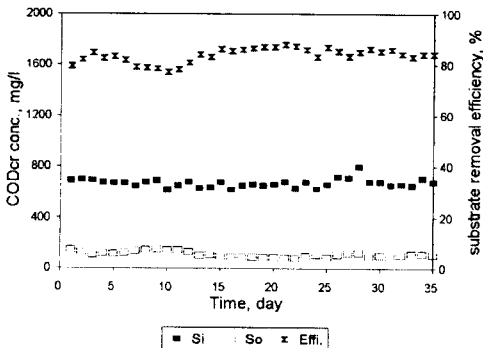


Fig. 5. Temporal variation of CODcr concentration(RUN B-1).

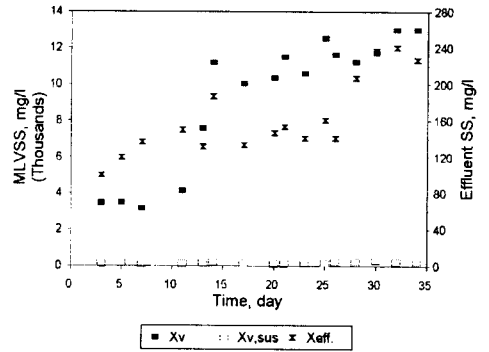


Fig. 6. Temporal variation of MLVSS concentration(RUN B-1).

하였고, 용적부하율도 7.7kgCODcr/m³·day로 증가되었다. 운전초기 며칠 동안은 갑작스러운 용적부하율 증가에 의해 기질제거효율이 다소 감소되었지만 시간이 경과할 수록 적응이 되어 평균 83.9%의 기질제거 효율을 보였다. 이 단계의 실험결과를 Fig. 7, 8에 나타내었다.

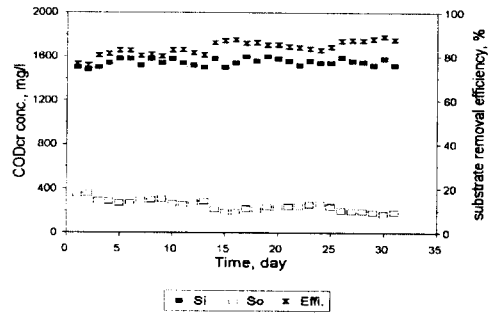


Fig. 7. Temporal variation of CODcr concentration (RUN B-2).

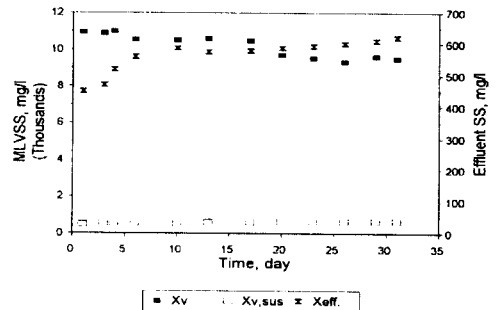


Fig. 8. Temporal variation of MLVSS concentration (RUN B-2).

마지막 RUN B-3 실험에서는 유입수의 농도를 평균 3,000mg/ℓ로 높였다. 앞 단계에서의 증가폭보다 훨씬

높아서 처리능력이 급격히 악화되었다. 용적부하율은 15.1kgCODcr/m³·day이었고, 유출수의 CODcr 농도는 평균 700mg/l이었다. 반응기내 미생물의 농도도 전단계보다 다소 감소하여 9,400mg/l을 유지하였고, 유출수 중에 포함된 미생물의 농도도 증가하였다. 이 단계의 실험에서 전체의 기질제거효율은 평균 76.7%이었다(Fig. 9, 10).

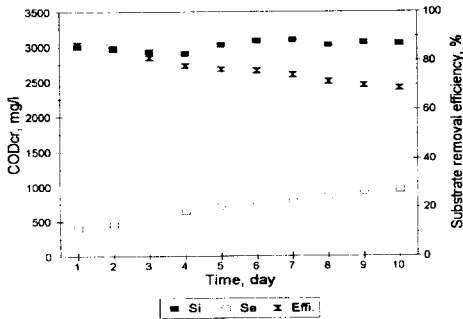


Fig. 9. Temporal variation of CODcr concentration (RUN B-3).

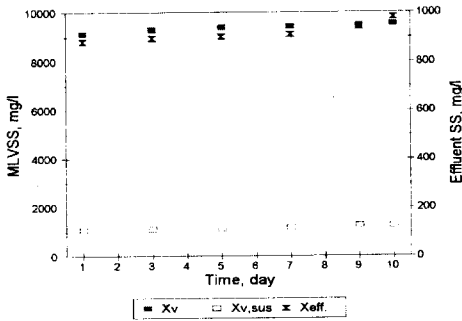


Fig. 10. Temporal variation of MLVSS concentration (RUN B-3).

Table 6. Summary of experimental results using ABR for treating tannery wastewater

Item	RUN No.	RUN B-1	RUN B-2	RUN B-3
Influent CODcr conc., mg/l		671	1547	3012
Effluent CODcr conc., mg/l		109	248	703
Substrate removal efficiency, %		83.4	83.9	76.7
MLVSS, mg/l		9285	10211	9380
Volumetric loading rate, kgCODcr/m ³ ·day		3.35	7.74	15.06
HRT, hr		4.8	4.8	4.8
F/M, day ⁻¹		0.39	0.76	1.61

RUN B-1에서 RUN B-3까지 용적부하율 증가 실험

의 결과를 Table 6에 종합적으로 나타내었다. RUN B-1과 RUN B-2는 용적부하율에 따른 기질제거 효율이 80% 이상을 계속 유지하며 안정적인 처리 결과를 보였다. 그러나 용적부하율이 15kgCODcr/m³·day로 크게 증가된 RUN B-3에서의 기질제거효율은 80% 이하로 감소하였다.

그리고 평균 F/M 비는 RUN B-1에서는 0.39day⁻¹이던 것이 용적부하율을 2배씩 증가시킬수록 F/M비도 따라서 2배씩 증가하여 RUN B-3에서는 1.61day⁻¹의 값을 나타내었다. 이는 부하율 증가가 미생물량의 증가로 이어지지 못하여 비슷하게 유지되는 MLVSS 농도에 기인한 것으로 판단된다.

기질제거효율의 면에서 검토하면 RUN B-1, B-2의 실험에서는 85% 이상을 유지하였지만 RUN B-3에서는 77%로 감소하여, 본 공기부상 생물막 반응기를 이용하여 피혁폐수를 처리하는 경우, 용적부하율은 10.3kgCODcr/m³·day, F/M 비는 1.1day⁻¹ 이하로 운전하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

3.3. 석유화학폐수 처리 실험

CODcr 4,000mg/l, TSS 40mg/l, VSS 30mg/l의 석유화학폐수를 공기부상 생물막 반응기를 이용하여 처리하기 위한 실험은 수리체류시간을 48시간, 24시간으로 조정하여 두 차례에 걸쳐 수행하였다. 공기부상 생물막의 경우 일반적인 활성슬러지 공정과 달리 부착성 미생물과 부유성 미생물의 경쟁관계에서 부착성 미생물의 우점화를 도모하기 위하여 수리체류시간을 수 시간 이내로 짧게 유지하는 것이 바람직하지만 석유화학폐수의 경우 기질농도가 지나치게 높으므로 인해 수리체류시간을 짧게 가져갈 수 없어 2일을 시작 조건으로 삼은 것이었다.

수리체류시간이 길어짐에 따라 유입용적부하율도 앞의 RUN A, B에 비해 훨씬 낮은 2.0, 4.0kgCODcr/m³·day로 운전하였다. RUN C-1 실험에서는 정상상태에서의 평균기질제거율이 92.5%로서 양호한 처리율을 보였으며, 반응기내 미생물 농도(Xv)는 6,000mg/l로서 그리 높지 않았다(Fig. 11). 담체농도가 초기의 목표치인 140g/l에서 크게 낮아져 100g/l 정도에서 운전되어 생물막의 성장 및 미생물 농도의 증가에 악영향을 준 것으로

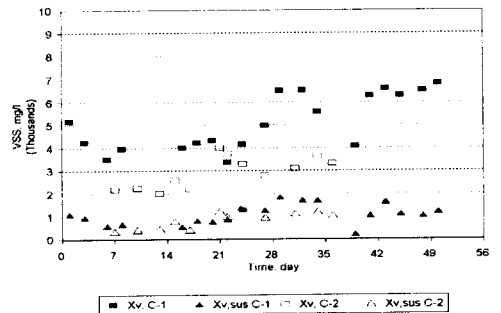


Fig. 11. Temporal variation of MLVSS in reactor (RUN C).

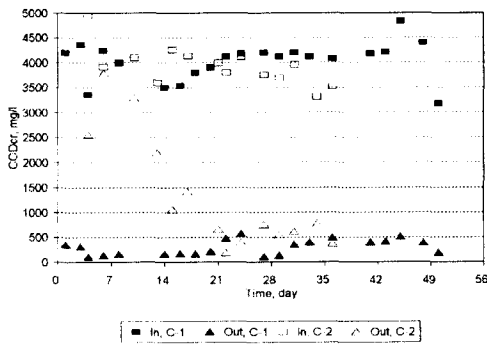


Fig. 12. Temporal variation of influent and effluent CODcr concentration(RUN C).

판단된다. 생물막 두께는 140 μ m로 높게 유지되었다.

수리체류시간을 1일로 단축하여 용적부하율을 4kg CODcr/m³·day로 두 배 증가시켜 운전한 Run C-2에서는 기질제거율이 85.4%로 Run C-1에 비해 약간 감소하였지만 여전히 높은 값을 나타내었다. 일단 생물막이 형성된 경우에는 수리체류시간을 단축하여도 생물막 특성에는 별 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. MLVSS는 3,500mg/l로 감소하였으며, 부착성 미생물의 점유율도 60%에 그쳤다. 유출수 CODcr 농도가 550mg/l로 C-1의 310mg/l에 비해 오히려 악화되었다(Fig. 12). 결국 C-1의 실험에서 얻어진 처리 성능을 바탕으로 수리체류시간을 감소시켜 용적부하율을 2배 증가시켜 운전한 C-2의 실험에서는 유출수질의 악화와 더불어 반응기내부의 미생물 농도도 감소하는 효과를 볼수왔다. 그러므로 24시간에 이르는 긴 수리체류시간 아래에서는 RUN A, B에서 얻어졌던 공기부상 생물막 반응기의 운전 성능을 얻을 수 없었다. 각 조건의 실험에서 용적부하율은 평균, 2.0, 3.9kgCODcr/m³·day, F/M 비는 0.43, 1.12 day⁻¹로 나타났다.

4. 결 론

공기부상 생물막 반응기를 이용한 산업폐수 처리의 타당성을 평가하고 적절한 운전 조건을 도출하기 위하여 bench-scale의 공기부상 생물막 반응기를 이용하여 합성폐수, 피혁폐수, 석유화학폐수를 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 합성폐수의 경우, 짧은 수리체류시간(1.4h)과 높은 용적부하율(9.3kgCODcr/m³·day)에서도 80% 이상의 기질 제거 효율을 획득하였다.
2. 난분해성 물질이 많이 포함되어 있는 피혁폐수의 경우, 용적부하율 7.7kgCODcr/m³·day, F/M 비 0.76 day⁻¹까지 운전하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.
3. 유입수 CODcr 농도가 4,000mg/l가 되는 석유화학폐수를 이용하였을 때, 평균 기질제거율이 90%를 상회하여 매우 뛰어난 제거능을 보여주었다.

4. 따라서, 기존에 생활하수를 대상으로 적용되어 오던 공기부상 생물막 반응기를 고농도의 산업폐수에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) Cooper, P. F., 1981, "The use of biological fluidized beds for the treatment of domestic and industrial wastewater," The Chemical Engineers, pp.373.
- 2) Shieh, W. K., P. M. Sutton, and P. Kos, 1981, "Predicting reactor biomass concentration in a Fluidized Bed System", J. WPCF, Vol. 53, pp. 1574-1584.
- 3) Oppelt, E. T. and J. M. Smith, 1981, "United States Environmental Protection Agency Research and Current Thinking on Fluidized Bed Biological Treatment", in Biological Fluidized Bed Treatment Water and Wastewater, Cooper and Atkinson(eds.), Ellis Horwood Limited.
- 4) Sutton, P. M. and P. N. Mishra, 1990, "Fluidized Bed Biological wastewater treatment: Effect of Scale-up on System Performance", Water Science and Technology, Vol. 22, No. 112, pp. 419-430.
- 5) Wisecarver K. D. and L.-S. Fan, 1989, "Biological Phenol Degradation in a Gas-liquid-solid Fluidized Bed Reactor", Biotech. and Bioeng., Vol. 33, pp. 1029-1038.
- 6) Shieh, W. K. and T. L. Chun, 1989, "Performance and Kinetics of Aerated Fluidized Bed Biofilm Reactor", Journal of Environment Engineering, Vol. 115, No. 1, pp. 65-79.
- 7) Mulder, A., R. Kampf and D. H. Eikelboom, 1990, "Application of a Three-phase Airlift Reactor for Aerobic Treatment of Domestic Sewage", 3rd Netherlands Biotechnology Congress, Amsterdam, April 3-4.
- 8) Heijnen, J. J., M. C. M. van Loosdrecht, R. Mulder, R. Weltevrede and A. Mulder, 1993, "Development and Scale-up of an Aerobic Biofilm Air-lift Suspension Reactor", Wat. Sci. Tech., Vol. 27, No. 5-6, pp. 253-261.
- 9) Mulcahy, L. T. and La Motta, E. J., 1978, "Mathematical model of the Fluidized Bed Biofilm Reactor" Report NO. Env. E. 59-78-2, Environ. Eng. Prog., Dept. Civil Eng., Univ. of Massachusetts, Amherst.
- 10) Bailey, J. E. and Ollis, D. F., 1977, "Biochemical Engineering Fundamentals," McGraw-Hill, New York, N.Y., pp.438.
- 11) Tjihuis, L., L.P.M. van der Pluym, M.C.M. van Loosdrecht and J.J. Heijnen, 1992, "Formation of Biofilms on small Suspended Particles in Air-lift Reactors," Water Science and Technology, Vol. 26, No. 9-11, pp.2015-2019.