

고정화 공생 Bacteria를 이용한 호발폐수 중 PVA분해 신공정 개발

김 정 목 · 조 무 환 · *조 윤 래 · *정 선 용
영남대학교 화학공학과, *응용 미생물학과

Development of a New Process for PVA Degradation in Desize Wastewater by Immobilized Symbiotic Bacteria

Jeong Mog Kim, Moo Hwan Cho, Youl Lae Cho* and Seon Yong Jeong*
Dept. of Chem. Eng., *Appli. Microbio., Yeungnam University

ABSTRACT

A new process was developed to degrade PVA(polyvinyl alcohol) in desize wastewater. Two symbiotic bacteria of *Pseudomonas* strain G₅Y and PW were immobilized on the media by adsorption. A natural zeolite was chosen as the best media considering cell adhesion capacity, sedimentation rate, and material cost. PVA and COD removal efficiencies of this system for synthetic wastewater were 84% and 85% at the retention time of 6 hr, when the volumetric loading rate was PVA 8 g/L·day and COD 8 g/L·day, and cell density was 19,775 mg/L. In case of desize wastewater, they were 78% and 72% at the retention time of 6 hr, respectively, when the volumetric loading rate was PVA 8 g/L·day and COD 13.2 g/L·day, and cell density was 32,899 mg/L. In case of desize wastewater, PVA and COD removal efficiencies were lower than synthetic wastewater, but cell density of the desize wastewater was lower than that of the synthetic wastewater, because there were insufficiency of necessary nutrition and variety of desize materials in the desize wastewater. A pilot test was successfully performed showing 88% and 82%, PVA and COD removal efficiencies at the retention time of 24 hr, when volumetric loading rate were 4.7 PVA g/L·day and COD 6.9 g/L·day, and cell density was 12,324 mg/L.

서 론

염색공장의 직포공정에서 경사에 먹여진 풀은 가공공정에서 처리하는 약액과 염료액의 침투를 방해함으로써 가공공정의 제 일단계에서 제거해 주어야 한다. 경사호제로는 전분계 호제와 부분검화 PVA(Polyvinyl Alcohol), acryl산계 호제 등의 합성호제류와 기타 평활제의 after wax등의 많은 약제들이 사용되고 있다. 특히 PVA는 적용범위가 다양하기 때문에 대부분의 염색공장에서 호제로 사용되고 있으며 이렇게 사용된 PVA는 다른

호제와 함께 호발공정에서 폐수에 함유되어 배출된다. 따라서 염색가공 공장폐수는 생물학적 난분해성 물질인 PVA를 다량 함유하고 있어 생물학적 공정에 의한 처리 시 거의 제거되지 않고 유출수에 함유되어 배출되므로 공공수역의 수질에 상당한 영향을 미치고 있다.

현재 대부분의 염색폐수 처리장에서 사용되고 있는 약품응집 후 활성오니처리 방법은 약품 소요량이 많으며, 약품처리에 의한 오탄 발생량이 많을 뿐만 아니라, 여기서 사용되는 활성오니조가 너무 커서 법적 방류수질 기준에 도달하는데 시설비와 운영비의 부담이 상당

히 크다. 그리고, 염색공장의 폐수는 유출수가 고온으로 배출되기 때문에 응집 후 황성오니공정으로 처리할 경우도 하절기에는 폐수의 온도가 높아지게 되므로 미생물의 활동에 영향을 미치게 된다.

PVA분해에 관한 연구는 Suzuki등(1, 2)이 도양에서 PVA를 분해하는 *Pseudomonas*속의 세균을 분리하면서 부터 활발히 진행되었으며, 교분등(3-6)은 황성오니법에 의한 PVA의 분해를 발표한 바 있으나 분해시간이 상당히 요구되며 처리공정의 관리가 어려운 점이 지적되었다.

본 연구에서는 황성오니법의 문제점을 해결하기 위해서 본 연구진이 분리·동정한 PVA분해 균주를 반응기 내에 고농도로 유지시키기 위하여 여러 담체의 성능을 조사하여 최적담체를 선정하였으며, 또한 실험실 개발을 위해서 air-lift reactor를 제작하여 pilot scale test를 통하여 반응기의 성능을 확인하였다.

재료 및 방법

미생물 고정화

생물반응기의 성능은 사용하는 생체촉매의 성질에 직접 관련되며 이에 따라 크게 달라진다. 미생물 고정화에 사용되는 담체로서 갖추어야 할 조건은 pH의 변화를 방지하고 bacteria의 막형성을 촉진해야 하며 입자들이 적절히 유동화 할 수 있어야 한다. 따라서 담체에 대한 물리적 특성, 표면 거칠기 등이 중요하며, 동일한 지지체에 대하여 입자크기와 입도분포가 중요한 변수가 된다.

각 담체는 ball mill로 분쇄한 후 체분리를 통하여 사용하였으며, SEM사진을 통하여 표면거칠기를 상대적 비교로 측정하였다.

PVA분해균은 본 연구진에 의하여 분리·동정한 *Pseudomonas Cepacia*와 *Pseudomonas Pseudomallei*의 유사균으로 이들은 각각 공생관계에 있음을 보고한 바 있다(7).

각 담체에 대한 미생물 부착속도 및 부착량을 측정하기 위하여 PVA 분해균을 분리용배지(Table 1)에서 충분히 배양하여 이 배양액 10ml와 탄소원으로 PVA만 사용한 합성폐수(Table 1) 90ml를 각각의 삼각 플라스크에 넣고 여기에 각 담체를 3g씩 투입하여 진탕 배양기에서 PVA의 제거율이 80%이상 되도록 배양하였다. 이 배양액을 100ml mass cylinder에 투입하여 자연침강법에 의하여 완전히 침강시킨 후 상등액을 제거하고 새로운 합성폐수(PVA 2,000mg/l)를 투입하여 전체가 100ml 되도록 하여 다시 배양하였다. 이와 같은 조작을 여러번 되풀이하여 각 담체에 대한 미생물 부착능, PVA분해능 및

Table 1. Medium for screening and Synthetic Wastewater

PVA broth medium		Synthetic Wastewater	
PVA 500	5.0 g	PVA 500	2~5 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.0 g	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.0 g
KH ₂ PO ₄	1.0 g	KH ₂ PO ₄	1.0 g
K ₂ HPO ₄	8.0 g	K ₂ HPO ₄	8.0 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.2 g	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2 g
NaCl	0.1 g	NaCl	0.1 g
Stock solution*	10ml	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.1 g
Distilled water	990ml	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.02 g
pH	7.5	MnSO ₄	0.5 g

* Stock solution:

FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.1 g	CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.02 g
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.5mg	MnSO ₄	0.5mg
Ca-pantothenate	0.5mg	inositol	0.2mg
p-aminobenzoate	0.2mg	niacin	0.4mg
pyridoxine	0.4mg	thiamine	0.4mg
biotin	2μg	vitamin B ₁₂	0.5μg
distilled water	100ml		

침강시간을 각각 측정하여 최적담체를 선정하였다.

진탕배양기는 회전형이며 1분간 회전수는 180, 배양기 내의 온도는 35℃로 유지하였다. PVA분해능은 Finley의 방법(8)으로 측정하였다. 미생물의 농도는 시료를 원심분리하여 105℃에서 무게가 일정하게 될 때까지 건조한 후 Zeolite 및 부착된 미생물의 전체무게를 정량하였으며 550℃에서 5 hr 회화시켜 미생물의 무게를 측정하였다.

연속공정

본 연구에 사용된 폐수처리 장치는 air-lift식 폭기조이며 Fig. 1에 나타내었다.

반응기는 1.3L이며 가로 5.3cm, 세로 7.5cm, 높이 32 cm인 아크릴수지로 제작하였다. 외부온도는 water jacket를 설치하여 항상 35±2℃를 유지하였으며 공기의 유속은 0.7L/min으로 하여 반응기 내의 DO는 0.7 ppm 이상을 유지하였다. 합성폐수와 호발폐수는 solenoid pump를 통하여 반응기의 상부에서 공급하였으며 공기는 반응기의 하부에서 공급하였다.

그림에서 보는 바와같이 반응기의 중간에 격벽을 두고 air-lift를 형성시켜 담체입자에 부착된 미생물을 회전시키며 폭기조 내에서 담체를 쉽게 순환시키기 위하여 반응

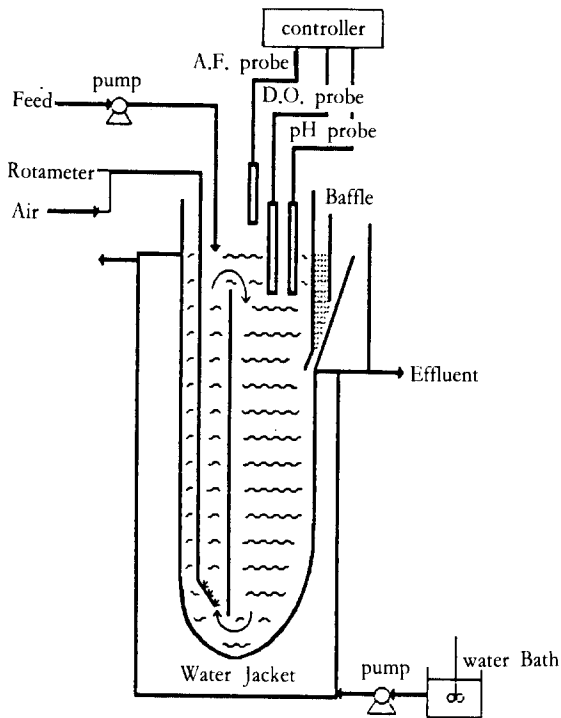


Fig. 1. Schematic diagram of air-lift reactor.

기의 하부를 둥글게 하였다.

유입되는 폐수의 반대편에 처리수가 유출되며 처리수의 수질을 양호하게 하고 입자의 침강성을 좋게하기 위하여 반응기와 10°의 경사를 두어 침강분리부를 설치하였다.

또한, 폭기조 내에 순환되지 않고 침강분리부에 들어온 담체를 침강시켜 다시 폭기조 하부로 내려가도록 하기 위하여 침강분리부에도 격벽을 설치하였다. 따라서 폭기조가 정상상태에 도달하면 담체나 미생물 floc은 거의 유출되지 않으며 미립담체나 박리된 미생물만 유출되도록 하여 새로운 담체를 자주 넣을 필요가 없도록 하였다.

고정화 실험에서 선정된 최적담체인 천연 zeolite를 연속공정에 사용하였다. 천연 zeolite 120g을 1,200 mL의 증류수에 한번 수세한후 폭기조에 투입 하였으며 수세에 의한 zeolite 감소량은 45g이었다. 폭기조 내에 미리 배양한 배양액 10%와 zeolite 75g을 넣은 후 초기 PVA농도를 3,000 mg/L로 하여 일주일간 미생물을 부착시킨 후 Table 1의 합성 폐수를 PVA 2,000 mg/L로 만든 후 부피부하를 PVA 2g/L·day, 체류시간 24 hr, PVA 4g/L·day, 체류시간 12 hr, PVA 8g/L·day, 체류

시간 6hr으로 각각 변화시켜 실험하였다. COD도 PVA와 동일한 부피부하로 변화시켜 실험 하였다.

또한, D방식의 호발폐수를 채취하여 BOD:N:P비율 100:5:1로 조정 한 후 pH 7.5, PVA 2,000 mg/L 및 COD 3,300 mg/L로 만들어서 체류시간을 24 hr, 12 hr, 6 hr으로 각각 변화시켜 가며 실험수에 대한 실험을 하였다. 호발폐수의 경우 PVA농도 보다 COD가 높은것은 starch와 같은 다른 호제들이 폐수에 첨가 되었기 때문이다. 따라서 PVA 부피부하는 합성폐수와 동일하여 COD 부피부하는 COD 3.3 g/L·day, 체류시간 24 hr, COD 6.6 g/L·day, 체류시간 12hr, COD 13.2 g/L·day, 체류시간 6hr으로 각각 변화하였다.

질소(N)원과 인(P)원은 urea와 H₃PO₄를 사용하였으며, COD는 공해공정 시험법에 의한 산성 KMnO₄법으로 측정하였다.

Pilot Scale Test

본 연구의 pilot scale은 Fig. 2와 같다.

반응기의 용량은 2m³로서 가로 115cm, 세로 90cm, 높이 210cm의 철판으로 제작하였으며 반응기의 상세한 것은 실험실의 반응기를 참고로 하여 scale-up 하였다.

산기관은 산소전달 효율이 우수한 다공성의 세라믹관을 사용하였으며 반응기 내의 DO를 0.7 ppm이상 유지하였다. 담체는 (주) 왕표화학의 1차처리(분쇄)된 천연 zeolite로 입자크기는 45µm 이하의 것을 사용하였다.

합성폐수(PVA 4,000 mg/L)를 반응기에 넣고, 미리

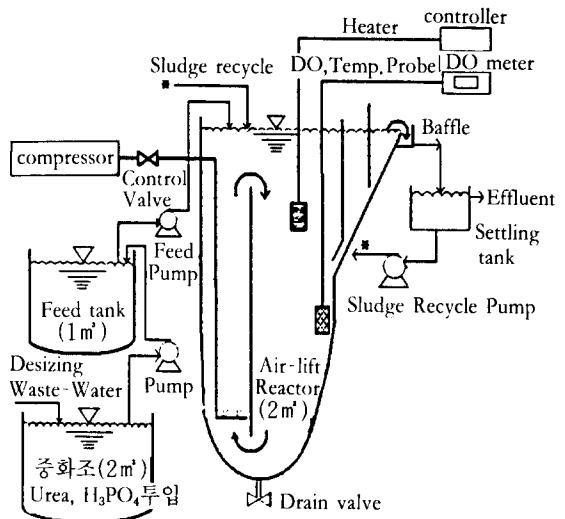


Fig. 2. Schematic diagram of pilot scale.

배양한 PVA분해균의 배양액 100L와 zeolite 110kg을 투입한 후 회분배양하여 미생물을 담체에 충분히 부착시킨 후 체류시간을 24 hr으로 하여 호발폐수를 상부에서 일정하게 공급하였다.

반응기 내의 온도는 heater를 사용하여 $35 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 또한 호발폐수는 pH가 산성이므로 15% NaOH를 사용하여 pH를 7.7 ± 0.7 로 조정하여 사용하였다.

D방식 호발폐수의 경우 성장과 유량의 일일 및 일중 변화가 상당히 심했으며 따라서 본 연구에서는 호발폐수를 2m²의 중화조에 받은 후 urea 및 H₃PO₄를 사용하여 COD:N:P비를 100:5:1로 조정하여 원료 Tank로 공급하였다. 이때 평균 부피부하는 PVA 4.7 g / L·day, COD 6.9 g / L·day, 체류시간 24hr로 나타났다. 또한 반응기 내의 미생물의 농도를 높이기 위하여 침전조를 부착하여 필요에 따라 슬러지를 반송하였다.

결과 및 고찰

Table 2. Physical properties of different media

Media	Partical size (μm)	Bulk density (g r / cm ³)	Wet density (g r / cm ³)	Roughness (relativity)	pH (1% solution)
Active Carbon	10-50	0.36	1.10	+++	9.8
Natural Zeolite	10-50	0.58	1.11	++++	8.0
Celite	10-50	0.38	1.29	+++++	7.1
Perlite	10-50	0.06	0.51	+	8.0
Busuk Stone	10-50	0.96	2.08	++++	7.4

Table 3. Change of PVA concentration in the shake flasks containing different media for the first batch culture (unit: mg / L)

Time / Media (days)	Perlite	Active Carbon	Natural Zeolite	Celite	Busuk Stone
0	1897	1897	1897	1897	1897
1	1571	549	565	1062	1137
2	964	386	439	479	450
3	417	292	323	379	361
4	367	255	305	348	354
Removal efficiency(%)	81	87	84	82	81

각 담체의 물리적 특성

표면거칠기는 구조도와 부석 및 천연 zeolite는 비교적 큰 편이었으나, 활성탄은 탄소결상으로 입자가 분쇄된 탓인지 다른 담체에 비하여 표면거칠기가 떨어지며 perlite는 입자표면이 매우 미끄러웠으며 겉보기 밀도도 낮았다.

본 연구에 사용된 담체의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

미생물 부착능

Table 3은 1차 회분배양시 시간의 변화에 따른 PVA의 농도를 나타낸 것이다. 활성탄과 zeolite는 흡착능이 뛰어나 배양 하루만에 PVA는 70%이상 제거되었으며 그중 90% 이상이 흡착에 의해 제거된 것으로 사료된다. 본 실험에 사용된 흡착제의 경우 24 hr 이내에 흡착 평형에 도달 하였으며, 따라서 2차 배양이후에는 담체에 부착된 미생물에 의하여 PVA가 제거된 것으로 사료된다.

Table 4는 4차 회분배양시 시간의 변화에 따른 PVA의 농도를 나타낸 것이다. 활성탄, zeolite, celite 등은 미생물 부착능이 perlite나 제주도산 부식보다 우수하며 1차 배양과 비교했을 때 부착된 미생물의 증가에 의해서 PVA 분해시간이 7배 이상 감소했음을 알 수 있다. 이와 같은 결과에서 난분해성 PVA를 단시간 내에 분해하기 위해서는 폭기조 내에 PVA분해균을 고평도로 유지시키는 것이 가장 중요하며 이는 담체를 사용한 미생물 고정화에 의해서만이 가능하다.

Table 5는 5차 회분배양이 끝난 후 담체에 부착된 미생물의 양 및 침전시간을 나타내었다. zeolite와 부식은 침강성이 우수했으며 perlite는 다른 담체에 비하여 담체 자체의 비중이 상당히 낮으며 침강성이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 이와 같은 자료로부터 천연 zeolite가 가장 우수한 담체이며 특히 천연 zeolite는 다른 담체에 비하여 국내 매장량이 풍부하며 값이 저렴하여 폐수처리를 위해서 가장 적합한 것으로 사료된다. 따라서 연속공정에서는 천연 zeolite를 고정화 담체로 사용하였다.

흡착등온식(Adsorption isotherm)

PVA용액의 평형농도와 평형흡착량과의 관계는 액상 흡착성능 비교에 널리 쓰이는 Freundlich식을 적용하였으며 식(1)에 나타내었다.

$$X = K C_e^{1/n} \tag{1}$$

여기서, X: zeolite의 단위 질량당의 PVA흡착량 (mg/g)

C_e : 흡착이 평형상태에 도달했을 때 용액내의 PVA농도 (mg/l)

K, n: 경험적 상수이다

식(1)은 다시 식(2)와 같이 쓸 수가 있다.

$$\ln X = \ln K + (1/n) \cdot \ln C_e \tag{2}$$

각각의 상수는 Fig. 3에 의하여 구할 수가 있으며, 흡착등온식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = 5.77 C_e^{14.17} \tag{3}$$

천연 zeolite를 담체로 사용할 경우 초기에는 물리적인 흡착이 상당히 중요하지만 시간의 경과와 함께 미생물이 부착·성장하면 흡착에 의한 PVA제거량은 무시할 수 있으며 순수하게 고정화된 미생물에 의해서만 PVA가 분해된다고 사료된다.

연속공정

Fig. 4는 합성폐수(PVA 2,000 mg/L)를 사용하여 체류시간을 24 hr로 했을 때의 처리수의 PVA 및 COD의 농도를 나타낸 것이다.

Fig. 5는 체류시간을 24 hr, 12 hr, 6 hr로 각각 변화시켰을 때 PVA 및 COD 제거율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 체류시간이 24 hr일 때는 PVA 및 COD제거율은 각각 99% 이상 되었으며, 체류시간

Table 4. Change of PVA concentration in the flasks containing different media for 4 times repeated batch culture (unit: mg/L)

Time / Media (hr)	Perlite	Active Carbon	Natural Zeolite	Celite	Busuk Stone
0	1600	1700	1717	1686	1739
4	1253	1234	1177	1171	1303
9	793	662	642	642	808
14	198	83	30	52	170
Removal efficiency (%)	88	95	98	97	90

Table 5. Attached cell mass and settling time for each media after 5 times repeated-batch culture

Media	Perlite	Active Carbon	Natural Zeolite	Celite	Busuk Stone
Cell mass (mg/g)	162	322	327	319	145
Settling time (min)	130	5	3	6	2

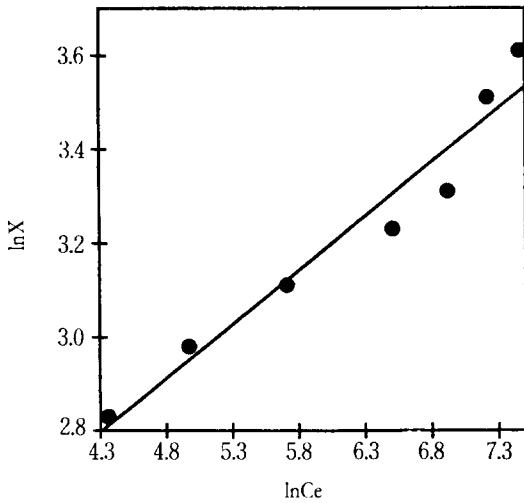


Fig. 3. Plot of lnX vs. lnCe.

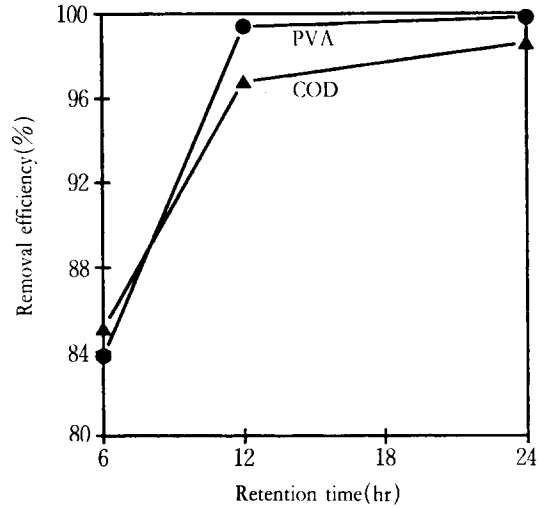


Fig. 5. Effect of retention time on removal efficiency (synthetic wastewater).

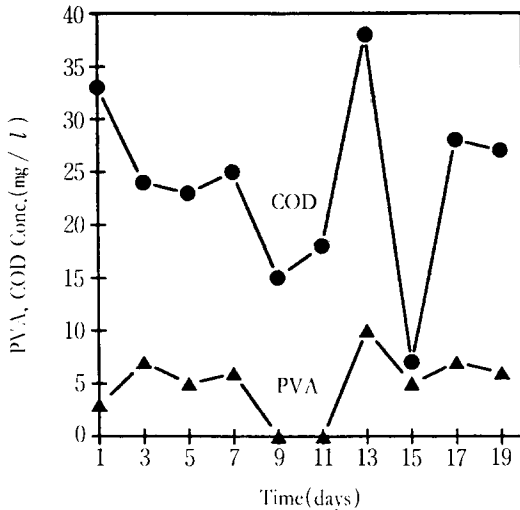


Fig. 4. Effluent concentration of PVA and COD (Influent concentration of PVA and COD was 2,000 mg/L, respectively).

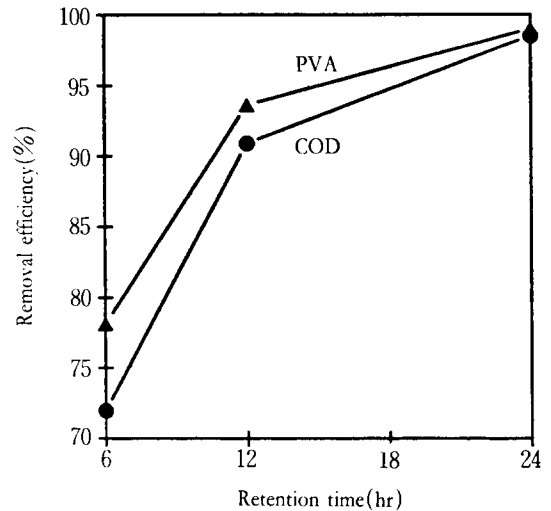


Fig. 6. Effect of retention time on removal efficiency (real wastewater).

6 hr에서도 각각 84%, 85%의 제거율을 보였다.

Fig. 6은 합성폐수 대신 D방직의 호발폐수를 사용하였을 때의 체류시간 변화에 따른 PVA 및 COD 제거율을 나타낸 것이다. 체류시간의 감소와 함께 PVA 및 COD 제거율이 감소 했으며, 합성폐수와 비교했을 때 각각의 체류시간에서 제거율이 낮았다. 이 결과는 미생물의 필수

영양소 부족에 기인된 것으로 사료되며, 체류시간 24 hr에서 PVA 및 COD 제거율은 각각 97%이상으로 나타났다.

Fig. 7은 각각의 체류시간에서 합성폐수와 호발폐수를 각각 공급했을 때 반응기 내의 전체 미생물농도를 나타낸 것이며 체류시간 6 hr에서 각각 19,775 mg/L,

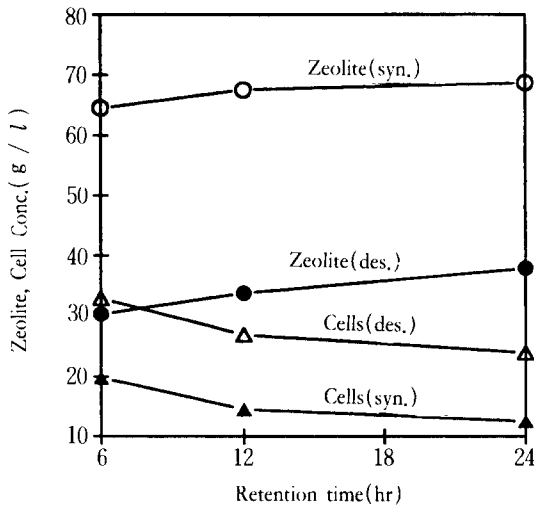


Fig. 7. Comparison of effect of retention time on cell mass and zeolite concentration (syn.: synthetic wastewater, des.: real wastewater).

32,899 mg/L로 나타났다. 합성폐수를 공급했을 때 보다 호발폐수를 공급했을 때 반응기 내의 zeolite농도가 현저히 낮음에도 불구하고 미생물 농도는 상당히 높았다. 이 결과는 호발폐수에는 탄소원이 PVA외에 다른물질, 즉 starch와 copolymer들이 다량 함유되어 *Bacillus* 계통의 미생물이 상당히 성장하였으며 광학현미경을 통하여 관찰되었다. 또한 유입수의 COD농도가 합성폐수보다 현저히 높음에도 불구하고 COD제거율이 그만큼 낮아지지 않았음을 Fig. 6에서도 보여주고 있다. 그러나 *Bacillus*는 성장속도가 빠르나 반응기 내에 먼저 PVA분해균이 고정화되어 있기 때문에 우점종이 되지 못하고 연속공정에서 계속 씻겨나가는 것으로 사료된다. 따라서, 담체에 고정화된 PVA분해균이 반응기내 우점종으로 유지되며, 장기간의 운전에도 반응기의 성능이 유지된다.

Pilot Scale Test

Fig. 8은 pilot scale test의 결과를 나타낸 것이다.

체류시간 24 hr에서 PVA 및 COD 제거율은 88%, 82%로 각각 나타났으며 반응기 내의 전체 미생물 농도는 평균 12,324mg/L였다. 연속공정으로 장기간 운전하더라도 PVA 및 COD 제거율이 상당히 높았으며, 유입수의 PVA농도에 비해서 COD 농도가 현저히 높은 것은 starch와 같은 다른 호재의 영향에 기인한다.

pilot scale test의 결과에서 본 공법은 반응기 내의 미생

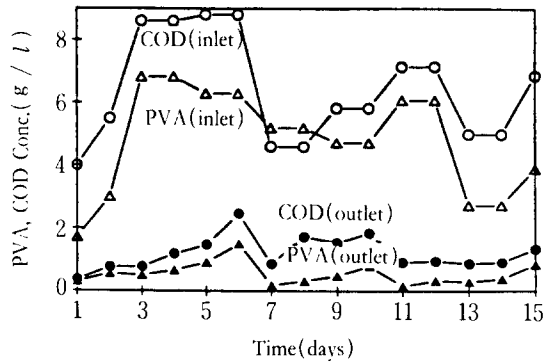


Fig. 8. Concentration of PVA and COD in pilot scale test.

물을 고농도(12,324mg/L)로 유지시킬 수 있으므로 처리수를 현저히 개선할 수 있었으며 bulking 현상이 발생하지 않았다. 또한, PVA분해균을 담체에 미리 부착함으로써 다른균이 반응기 내에서 우점종이 되지 못하였으며 반응기의 성능을 계속 유지할 수 있었다. 반응기 내의 온도를 30℃에서 39℃로, pH를 7에서 9까지 변화시켰으나 처리수가 악화되지 않았으며, 필요에 따라 유출된 담체를 순환시켜 새로운 담체의 첨가량을 감소시킬 수 있었다.

요 약

호발폐수에 함유된 PVA(Polyvinyl Alcohol)를 제거하기 위하여 새로운 공정을 개발하였다. 반응기 내에는 공생관계에 있는 두 종류의 bacteria(*Pseudomonas* strain G₆Y 및 PW)를 천연 Zeolite에 고정화시켜 사용하였다. 연속공정에 의한 PVA 및 COD의 분해는 합성폐수의 경우 PVA 8 g/L-day, COD 8 g/L-day, 체류시간 6 hr에서 각각 84%, 85%의 제거율을 보였으며 이때 미생물농도는 19,775 mg/L로 나타났다. 또한, 호발폐수의 경우 PVA 8 g/L-day, COD 13.2 g/L-day, 체류시간 6hr에서 각각 78%, 72%의 제거율을 보였으며, 미생물 농도는 32,899 mg/L였다. 호발폐수의 경우 PVA 및 COD 제거율은 낮았으나 미생물 농도는 높았으며, 그 이유는 필수 영양소의 부족 및 호재의 다양성에 기인된 것으로 사료된다. 호발폐수를 사용한 pilot scale test에서 PVA 4.7 g/L-day, COD 6.9 g/L-day, 체류시간 24 hr에서 각각 88%, 82%의 제거율을 보였으며 반응기 내의 미생물 농도는 12,324 mg/L로 나타났다.

감 사

본 연구는 (주)풍국건설의 연구비 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Suzuki, Y. Ichihara, M. Yamada, K. Tonomuk (1973), Agr. Biol. Chem., 37(4), 747.
2. T. Suzuki (1976), Agr. Biol. Chem., 40(3), 497.
3. 교본, 미기(1980), 하수도협회지, 17(195), 24.
4. 교본, 미기(1980), 하수도협회지, 17(189), 28.
5. 교본, 미기, 산천(1980), 하수도협회지, 17(198), 19.
6. 교본, 미기 (1980), 하수도협회지, 17(192), 17.
7. 김정목, 조무환(1991), 한국 화학공학회 1991년도 춘계학술발표회 논문 초록집, 137.
8. J. H. Finley(1961), Anal. Chem., 33, 1925.
9. K. Sakai, N. Hamada, Y. Watanabe (1986), Agric. Biol. Chem., 50(4), 989.
10. S. Hashimoto, M. Fujita(1985), J. Ferment. Technol., 63(5), 471.
11. H. Nishikawa, Y. Fujita(1975), Chemical Economy and Engineering Review, 7(4), 33.
12. C. Sakazawa, M. Shima, M. Taniguchi, N. Kato(1981), Appl. Environ. Microbiol., 41.
13. G. Ryhiner, S. Petrozzi, I. J. Dunn (1987), Biotechnol. Bioeng., 32, 677.
14. Gina S. Shreve, Ronald H. Olsen, Timothy M. Vogel (1991), Biotechnol. Bioeng., 37, 512.
15. T. Keshavarz, R. Eglin, E. Walker, C. Bucke, G. Holt, A. T. Bull, M. D. Lilly (1990), Biotechnol. Bioeng., 36, 763.
16. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters(1989), American Public Health Association, Washington, D. C., 17th Edition.
17. 환경오염 공정시험법(수질분야) (1988), 환경청.

(Received; November 28, 1991, Revised; December 10, 1991, Accepted; January 10, 1992)