

## 폐놀폐수를 처리하는 침적형 생물막 반응기에서 매질에 따른 미생물상의 차이

정재춘\* · 차병훈

\*연세대학교 환경과학과, 경기대학교 환경공학과

### Difference of Microorganisms Found in an Aerated Submerged Biofilm Reactor with Different Plastic Media Treating Phenol Wastewater

Jae-Chun Chung\* and Byong-Hun Cha

\*Department of Environmental Science, Yonsei University, Wonju 322-701, Korea

Department of Environmental Engineering, Kyonggi University, Suwon 94-6, Korea

**Abstract** — Net type polyvinylidene chloride (PVDC) media and cillium type polyethylene polypropylene (PEPP) media were installed in the aerated submerged biofilm reactors. Synthetic phenol wastewater for feed were made to contain 1,480 mg of phenol per liter of water. The organic loading range of reactors were 0.439~0.456 kg COD/m<sup>3</sup>, 0.882~0.919 kg COD/m<sup>3</sup> and 1.199~1.339 kg COD/m<sup>3</sup>. Comparing PVDC to PEPP media, the bacterial number found in biofilm on PEPP were slightly higher. With the low temperature (10°C), the number of bacteria was some what deceered. Number of bacterial strains identified from PVDC were 23 and those from PEPP were 42. Genera identified in the PVDC media were *Flavobacterium* (47.8%), *Unidentified* (17.6%), *Pseudomonas* (13.0%), *Micrococcus* (8.7%) and *Beggratoa* (8.7%). Genera identified in the PEPP media reactor were *Pseudomonas* (35.7%), *Alcaligenes* (19.0%), *Aeromonas* (14.33%) and *Micrococcus* (11.9%). In the steady state, a filamentous bacteria, type 1701 was identified in all of the reactors. *Paramecium* sp. and fungi were present in the PVDC media reactor. While, *Diffflugia* sp, *Paramecium* sp. and fungi were found in the PEPP media reactor. The low diversity of protozoa was ascribed to high concentration of phenol.

침적형 생물막법의 기질의 표면에서 성장하는 부착성 미생물군에 의해 폐수를 처리하는 고착성 생물막법의 일종으로서 최근에는 일본에서 이 공법의 변형들이 개발되어 활용되고 있다(3). 본 연구의 목적은 실험실 규모의 침적형 생물막 반응기를 설치하여 갖가지 실험조건에서 인공으로 합성한 폐놀폐수의 처리도 및 반응속도론적 연구와 함께 반응기에 출현하는 미생물상에 대한 연구를 수행하고자 함에 있었다. 폐수처리 시스템에 있어서 처리조건에 따라 달리 출현하는 미생물에 관한 연구는 대단히 중요한데 이는 생물학적 폐수처리의 공정발전에 있어서 중요한 열쇠가 되기 때문이다. 이제까지 발표된 공학적 논문을 보면 대부분이 미생물을 암상자로 취급하고 있으며 미생물 데이터는 조사되었더라도 일종의 보조적인 정보로서 취급되었을 뿐이다.

그런데 어떠한 생물학적 폐수처리시스템에 있어서도 미생물이 폐수처리의 주된 기능을 담당하고 있는 것이 사실이므로 공정의 최적화와 적절한 운용을 위해서는 미생물에 관한 연구가 필수적이다. 특히 본 연구는 폐놀폐수를 처리하는 생물막의 종합 미생물상에 관한 최초의 연구가 될 것이다. 본 연구는 또한 독성물질의 일종인 폐놀폐수를 대상으로 하고 있으므로 폐놀에 대한 폐수처리 미생물의 영향 및 내성에 관한 정보도 제공될 것이다.

### 재료 및 방법

#### 인공폐수의 조제

합성수지는 폐놀(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH)과 포름알데히드(HCHO)를 사용해서 제조하게 되는데, 제조과정 중에 합성수지 폐수가 산업장으로부터 발생된다. 즉 제조과정에서 재료의 혼합비율에 따라 Resol이거나 Novalak 공정으로 구분된다(1). Resol 공정은 흔히 포름알데

**Key words:** Aerated submerged biofilm reactor, bacteria, protozoa

\*Corresponding author

히드와 페놀의 mol 비가 1 : 1.5로 해서 제조되며 Novalak 공정은 Resol type과 제조공정이 유사한데 포름알데히드와 페놀의 mol 비가 0.8 : 1로 해서 제조된다(1). 따라서 본 실험에서의 인공합성수지 페수는 Soren-son(1)과 정(2)의 실험을 근거로 해서 비중이 1.073, 순도 98%인 페놀 141 g에 비중 1.956, 순도 37%인 formaldehyde 15.3 ml를 취해 증류수로 용해시켜 전량을 1000 ml 되게 하였다.

이 용액을 페놀 합성수지 페수원액(stock solution)으로 하였다. 유입페수(feed)의 조제는 원액을 100 ml 취하고, 유입 BOD : N : P의 비율을 100 : 5 : 1로 하기 위해 영양원으로는 ammonium chloride(NH<sub>4</sub>Cl) 8.048 g, potassium diphosphate(K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 1.827 g, ferric chloride(FeCl<sub>2</sub>) 0.05 g을 넣고, 10 l가 되게 증류수로 희석하였다. 이렇게 조제된 유입페수의 페놀 농도는 약 1,482 mg/l, CODcr 약 3,700 mg/l, BOD 2,590 mg/l pH는 약 7.5 정도가 되었다.

**실험장치**

본 실험을 수행하기 위하여 洞澤(3)씨의 문헌을 근거로 하여 유효용적이 9.0 l 인 정사각형(가로 20 cm, 세로 20 cm, 높이 22.5 cm, 두께 0.5 cm) 제1침적 폭기조에 유효용적이 8.5 l 인 정사각형(가로 20 cm, 세로 20 cm, 높이 21.25 cm, 두께 0.5 cm)의 제2침적 폭기조를 연결시켜 제1폭기조에서 제2폭기조로 자연 유하되도록 아크릴 반응조 6개를 제작하였다. 한편, 탈리된 생물막의 침전분리를 위하여 별도의 침전조를 설치하였다.

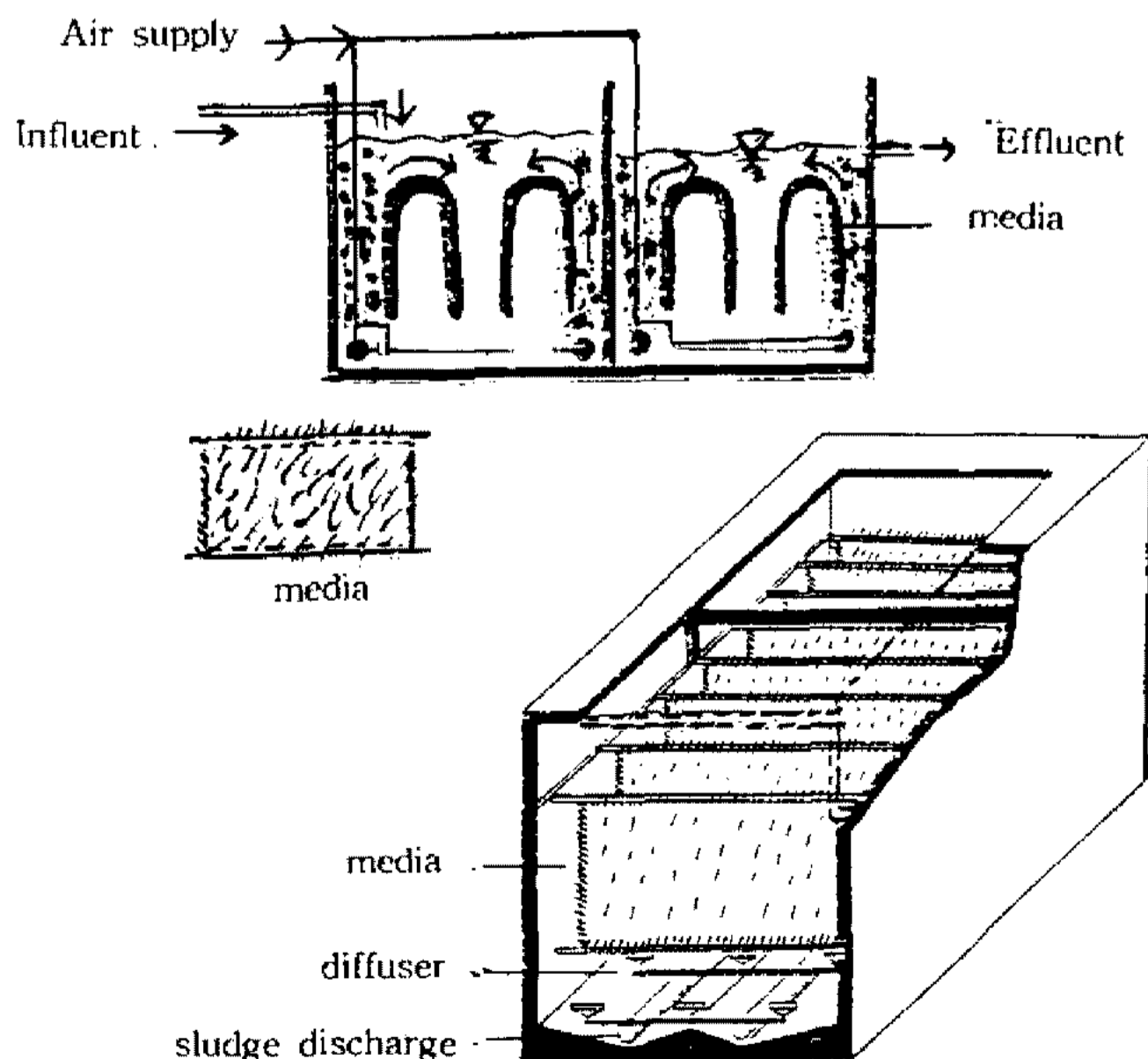


Fig. 1. The schematic diagram of the experimental reactor.

침전조는 수리학적 체류시간(hydraulic retention time, 이하 HRT)의 변화에서도 충분한 침전분리가 가능하도록 침전조를 각각 다르게 제작하였다. 그리고 공기와 합성수지페수가 균등한 혼합이 이루어지도록 하부에 분배장치를 설치하였으며 공기공급장치는 매질이 충전된 조내의 하부측벽에 여러 개의 어항용 산기적을 설치하여 페수의 균등한 폭기와 상향류가 이루어지도록 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 설치하였다.

온도 변화에 따른 원수의 변질을 막기 위해 시판 우유냉장고(cooling system box, 냉각조절상자)에 용량 200 l의 페수유입조(feed tank)를 넣고 4°C로 일정하게 조정시킨 다음 원수의 정량공급을 위해 원수이송용 미정량주입 펌프(master flux feed pump, Cole Parmer Co. USA)를 사용했으며 공기 주입펌프에서 콤프레샤(air compressor, Model AC 0602-A1003-al-0001 Medo. Co. Japan)를 사용하였다. 일정한 공기의 공급을 위해 공기 유량계(MDA scientific model No. 1355 CAI EIBAA. USA)를 설치하였다.

모든 반응조들은 특수 디지털 온도 제어장치가 부착된 대형 냉각조절상자내에 설치하여 온도가 일정하게 유지하도록 하였다(Fig. 2 참조). 그리고 정전시에는 변환장치(magnetic relay)에 의해 DC 공기 주입 펌프로 전환시켜 사용하였다.

**접촉매질의 특성과 충전**

접촉매질은 시중에서 판매되는 것으로 형상과 물리적인 특성이 서로 다른 망상조의 Polyvinylidene chloride(PVDC)의 합성섬유 매질과 섬모상 구조의 Polyethylene polypropylene(PEPP)의 매질을 사용하였다. 접촉매질의 특성은 Table 1과 같다.

PVDC의 합성섬유는 염화비닐리덴을 주성분으로

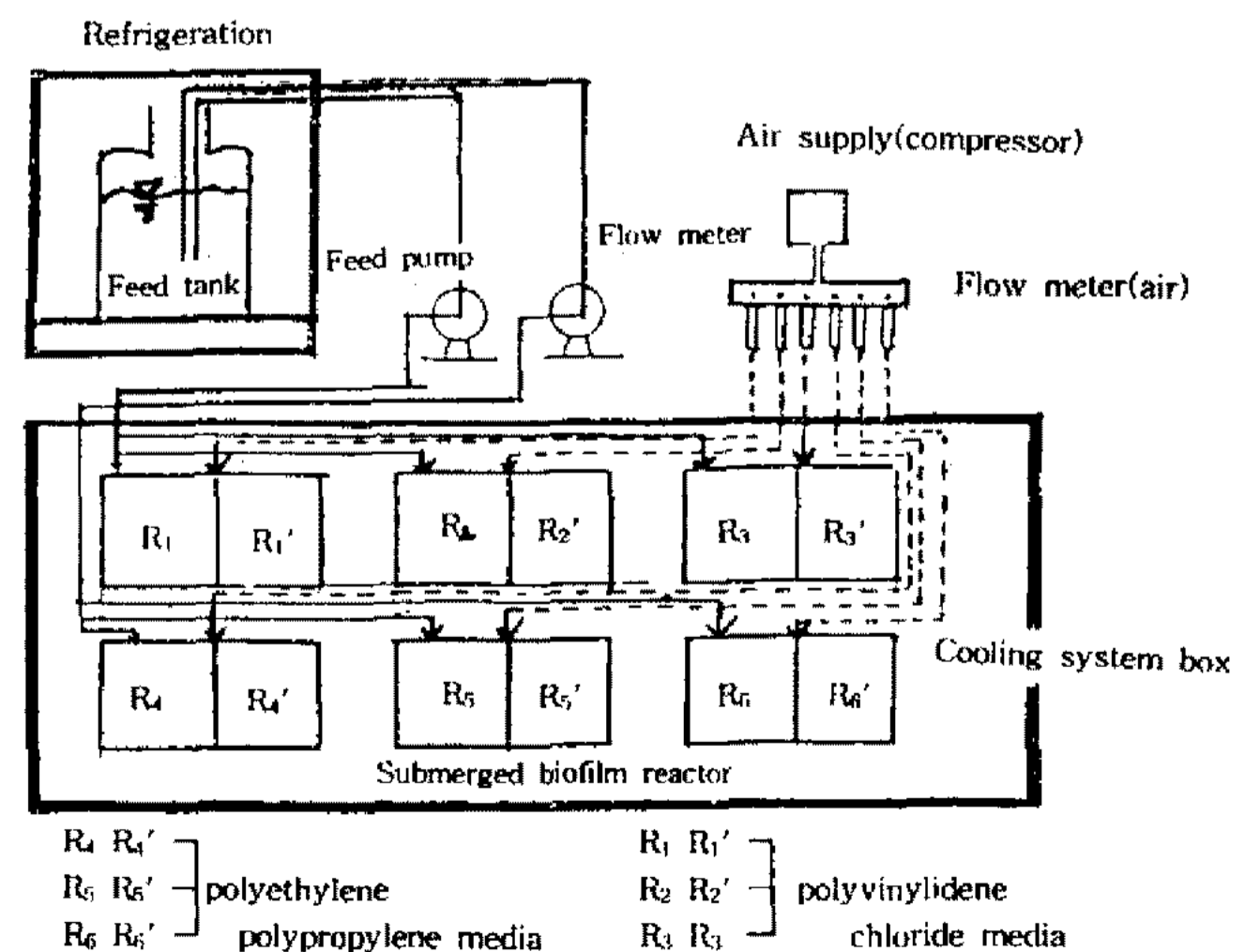


Fig. 2. Schematic diagram of the cooling system box.

Table 1. Property of the media used in the experiment

property	Media	
	PVDC	PEPP
Shape	net type	cillium type
Chemical structure	(-CH <sub>2</sub> .CCl <sub>2</sub> -) <sub>n</sub>	(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH-CH <sub>3</sub> -) <sub>n</sub>
Specific gravity	1.70	0.91
Water absorption	low than 0.1%	no
Heat resistance	140°C	165°C
Resistance to acid and alkali	good	good
Corroision resistance	very good	very good
Biodegradation of the media	not-degradable	not-degradable
Plasticity	1.4~2.2 g/den	*-
Porosity of the media	95%	*-
Contraction percentage of the media	2~4%	*-
Sunlight resistance	good	good

PVDC: polyvinylidene chloride, PEPP: ployethylene polupropylene, \*- not tested

Table 2. Dimensions of the experimental reactor

conditions	PVDC						PEPP					
	R1	R1'	R2	R2'	R3	R3'	R4	R4'	R5	R5'	R6	R6'
Reactor vol. (l)	8.97	8.32	8.90	8.20	8.80	8.20	8.80	8.30	8.80	8.23	8.83	8.23
Matrix weight (g)	85	89	80	91	91	98	80	80	80	80.5	80.5	80.5
Matrix vol. (cm <sup>3</sup> )	50	52.35	47.06	53.53	53.53	57.63	87.9	87.9	87.9	88.46	88.46	88.46
Stuffing rate (%)	0.56	0.63	0.53	0.65	0.61	0.75	1.0	1.06	1.0	1.07	1.0	1.07
*Total surface area (m <sup>2</sup> )	0.488	0.475	0.496	0.518	0.484	0.474	55.04	65.05	63.95	66.15	63.95	65.05

하는 공중합 원료로 하여 제조된 합성섬유이다. 타 매질보다 공간율이 커서 공기나 액체가 통과할 때의 저항이 아주 적고, 입자나 기체의 충돌 및 흡착에 작용하는 표면적이 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 정도이므로 미생물의 생육에 적합하며 아울러 흡수성이 아주 적어 폐수와 접촉되었을 때 중량변화가 거의 없는 것이 장점이다.

PVDC 매질에 비해 PEPP 매질은 공중합에 의해 만들어진 폴리에틸렌과 축중합에 의해 만들어진 폴리프로필렌을 원료로 하여 제조한 합성섬유이다. 이 매질은 비중이 0.91로 가벼우며 흡수성이 거의 없고 폐수에 침적되어도 중량변화가 없으며 내흡수성과 내용해성이 우수하다. 또한 장점은 용단처럼 수많은 섬모로 이루어져 있으므로 비표면적이(생물막 1 m<sup>2</sup> 당 1260 m<sup>2</sup>) 매우 커서 매질이 부착되는 미생물량이 기타의 매질보다. 많게 되며 미생물의 접착성이 우수

하여 슬러지 보유량이 높으므로 용적부하를 크게 할 수 있다.

한편, 각 반응조내의 매질의 충전율은 종합적으로 Table 2에 나타내었는데, 망상구조의 PVDC 매질 반응조는 PVDC 매질의 비표면적이 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>을 고려해서 산출했을 때 0.53~0.75%, 총표면적은 0.474~0.518 m<sup>2</sup>였다. 섬모상 구조의 PEPP 매질반응조에서는 섬모의 비표면적이 1260 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 막면적을 고려해서 산출했는데 충전율은 1.0~1.07%, 총 표면적은 55.04~66.15 m<sup>2</sup>였다. 반응조에 매질의 충전고정은 조내에서 폐수의 흐름과 공기주입으로 인해 유동되지 않도록 Fig. 1에서 보는 바와 같이 고정시켰다.

#### 식중(seeding) 및 부착형성

식중은 pH 6.7, MLSS(mixed liquor suspended so-

Table 3. Operational conditions of the experimental reactor

media	operational condition				
	reactor No	flow (ml/d)	organic loading		HRT (day)
			(kg COD/m <sup>3</sup> .d)	(kg BOD/m <sup>3</sup> .d)	
PVDC	R1	2030	0.439	0.288	8.62
	R2	4083	0.882	0.588	4.29
	R3	6268	1.339	0.886	2.76
PEPP	R4	2128	0.456	0.303	8.26
	R5	4266	0.919	0.614	4.09
	R6	5626	1.199	0.815	3.11

lid)가 약 4,700 mg/l 인 서울시 탄천 하수처리장의 반응오수를 채취하여 망상구조인 PVDC 매질로 충전된 반응조 3개와 섬모상 구조의 PEPP 매질이 충전된 반응조 3개에 각각 가득 채웠다.

초기에는 식종된 미생물이 새로운 환경조건에 대한 적응과 식종된 미생물이 기질에 대한 부착형성을 위해 조절된 인공합성 폐수를 매일 오전과 오후에 1회씩 주입하는 반회분(semi-batch)식으로 약 5일동안 운전하였는데 첫날에는 100 ml, 둘째날에는 200 ml, 셋째날에는 400 ml, 넷째날에는 800 ml, 다섯째날에는 1,000 ml 씩 증가시켜 적응시켰다.

#### 반응조의 운전

냉각조절상자 내의 온도를 일정하게 유지되도록 한 후 각 반응조에 미생물의 부착상태를 육안으로 확인한 후 Table 3의 조건으로 반응조를 운전하였다. 즉, 각 반응조에 유기물부하율(organic loading rate, kg COD/m<sup>3</sup>.day)을 0.439~0.456, 0.882~0.919, 1.199~1.339의 3단계와 수리학적 체류시간(HRT)은 8.26~8.62, 4.09~4.29, 2.79~3.11의 3단계로 운전하였다.

한편, 각 반응조의 정상상태(steady state)는 각 운전온도에서 운전시에 수리학적 체류시간(HRT)에 따른 처리수질의 농도가 큰 변동없이 일률적으로 분석되었을 때를 기준으로 하였고 운전중에 처리수의 수질이 급격히 불량해지면 미생물에 의해서 매질이 폐쇄된 것으로 보고 운전을 중지시킨 후 반응조내의 용액을 조심스럽게 배수시킨 후 기질 표면의 미생물을 떨어져서 부착량을 측정하였다.

20°C에서 10°C로 반응조의 운전을 변경시킬 때는 냉각조절상자의 온도를 하루에 2°C씩 낮추면서 10°C로 운전하였다. 이 경우에도 폐수주입은 Table 3의 조건으로 운전시켰다.

#### 미생물의 계수 및 분리 동정

**미생물의 생균수 계수방법** 기질과 운전조건에 따른 각 반응조의 생물막에 부착된 세균의 생균수 계수에 이용되었던 배지는 Tryptone Glucose Yeast Extract(TGY) 배지를 사용하였으며 배지의 조성은 tryptone 5.0 g, yeast extract 2.5 g, glucose 10.0 g에 물을 넣어 1000 ml 되게 한 후 멸균하여 사용하였다. 계수방법은 standard method 9215 A 항의 heterotrophic plate count를 따랐다. 이 방법은 1 ml의 생물막을 떼어낸 후 9 ml의 증류수를 가해 맹렬하게 흔들면서 희석시키고 이 희석액 0.1 ml를 TGT 배지에 전개시키고 30°C에서 48시간 배양한 후 형성된 집락수를 계수하였다.

**세균 분류 및 생화학적 성상 검사** 기질과 운전조건에 따른 생물막에 부착된 세균의 분리동정에 쓰이는 생화학적 성상검사방법은 Manual for the Identification of Medical Bacteria(4)를 따랐으며 세균의 동정에 있어서는 Bergey's Manual of determinative Bacteriology, vol.1(5)을 따랐다.

**사상세균 및 원생동물 계수 및 동정** 기질별 운전조건에 따라 사상세균 및 원생동물을 계수하기 위하여 각 반응조로부터 생물막을 떼어내어 반응조의 부유액과 함께 채취하였다. 침전시킨 후 침전한 생물막을 광구피펫(wide-bore pipette)으로 시료병 바닥에서 2 ml의 생물막을 채취하고 2 ml의 증류수를 첨가하여 혼합한 후 이 혼합액에서 0.1 ml를 취하여 슬라이드 상에 균일하게 전개하여 검정하였다. 미생물의 상대수도(relative abundance)를 결정하기 위하여 현미경 하에서 10개(microscope field)를 임의적으로 선정하여 미생물의 수를 계수하였다. 사상세균(filamentous bacteria)과 곰팡이 및 조류는 1000배의 배율에서, 원생동물은 100배의 배율에서 검정하였다. 1 시야의 직경은 100배에서 1950 μm, 1000배에서 195 μm이었다. 이렇게 계수한 미생물의 수는 10개 시야의 평균을 내어 상대수도를 나타내었다. 사상세균의 분류는

Eikelboom(6) 및 Eikelboom과 Jenkins(7) 방법을 개선한 Strom과 Jenkins(8)의 방법에 의하였다. 원생동물은 Jahn과 Jahn(9) 및 Lee 등(10)이 제시한 검색표에 의해 속(genus)까지 분류하였다.

## 결과 및 고찰

### 생물막 내의 세균수 계수

망상구조의 PVDC 매질과 섬모상 구조의 PEPP 매질을 이용하여 페놀과 포름알데히드의 합성수지폐수를 호기성 침적 생물막 공법으로 운전하고, 반응 온도별, 유기물부하량별로 각 반응조로부터 생물막을 채취하여 1ml의 생물막내에 존재하는 세균수를 계수한 결과는 Table 4와 같다.

일반적으로 볼 때 섬모상매질(PEPP)을 충전한 R4, R5, R6 반응조가 망상매질 PVDC를 침적한 반응조보다 세균수가 약간 많았다. 이는 PEPP 매질의 고유특성과 비표면적이 PVDC 매질보다 크기 때문에 세균이 증식할 환경 요소가 더 컸기 때문이라 사료된다.

반응온도를 20°C와 10°C로 달리하여 운전했을 때 PVDC와 PEPP 매질에서 모두 10°C에서 세균수가 감소한 것으로 나타났다.

반응온도는 반응조건내에서 미생물의 대사속도, 기질의 확산 및 침수속도, 산소이전속도 등이 생물막 형성에 영향을 미치는데 이러한 효과에 기인된 것으로 보여진다. 생물막내에 존재하는 세균수는 부유성장형인 활성슬러지법보다 많은 것이 보통이다. 생물막법의 대표적인 회전원판법의 경우는 제1단계 1mg의 건조 생물막당  $1.8 \times 10^8$  개체로 보고되었다(11). 본 연구에서는 계수된 생물막내의 세균수는 젖은 생물막 1ml 당  $1.5 \times 10^9 \sim 1.6 \times 10^{10}$ 으로 회전원판법보다 훨씬 많았다. 이는 회전판에서는 유기물 부하율이 낮게 운전되고 본 연구에서는 훨씬 높은 유기물 부하로 운전되었으므로 세균수가 크게 증가한 것으로 보여진다.

### 미생물의 분리 동정

세균의 분리와 동정을 위하여 총세균수(total count) 계수에서 사용한 TGY 배지상의 집락을 사면 배지에 이식한 후 동정하였다. 세균의 분리와 동정에 있어

Table 4. Number of bacteria attached to the biofilm in each reactor

Temp. (°C)	reactor					
	PVDC			PEPP		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
20	$8.8 \times 10^9$	$4.2 \times 10^9$	$6.0 \times 10^9$	$1.6 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$	$2.4 \times 10^{10}$
10	$2.1 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$	$2.3 \times 10^9$	$1.6 \times 10^9$	$0.8 \times 10^9$

\*10°C와 20°C에서 큰 차이가 나는 것을 생물막을 회석할 때 골고루 섞여지지 않았기 때문이라고 생각된다.

Table 5. Genera of bacteria isolated from the biofilm samples

Genus	PVDC (R <sub>1</sub> )		PEPP (R <sub>4</sub> )	
	No. of strains (%)	No. of bacteria (No./ml biofilm)	No. of strains (%)	No. of bacteria (No./ml biofilm)
Gram positives				
<i>Bacillus</i> spp.	0 (0)	0	1 (2.4)	$3.7 \times 10^5$
<i>Micrococcus</i> spp.	2 (8.7)	$7.6 \times 10^8$	5 (11.9)	$1.8 \times 10^6$
<i>Staphylococcus</i> spp.	0 (0)	0	1 (2.5)	$3.7 \times 10^6$
Gram negatives				
<i>Aeromonas</i> spp.	1 (4.3)	$3.8 \times 10^8$	6 (14.3)	$2.2 \times 10^6$
<i>Alcaligenes</i> spp.	1 (4.3)	$3.8 \times 10^8$	8 (19.0)	$3.0 \times 10^6$
<i>Beggiatoa</i> spp.	2 (8.7)	$7.6 \times 10^8$	1 (2.4)	$3.7 \times 10^5$
<i>Flavobacterium</i> spp.	10 (47.8)	$3.8 \times 10^9$	1 (2.4)	$3.7 \times 10^5$
<i>Pseudomonas</i> spp.	3 (13.0)	$1.2 \times 10^9$	15 (35.7)	$3.5 \times 10^6$
Unidentified	4 (17.4)	$1.5 \times 10^9$	4 (9.6)	$4.8 \times 10^6$
total	23 (100)	$8.8 \times 10^9$	42 (100)	$1.6 \times 10^7$

서는 작업량이 너무 방대하여 각 반응조를 모두 대상으로 하지 못했고 비교적 폭기액이 맑고 처리효율이 높고 유기물 부하량이 적은 망상매질의 대표적인 R1 반응조와 섬모상 매질의 R4 만을 선정하여 실시하였다.

R1 반응조의 생물막에서 계수용 TGY 배지로부터 66개의 균주를 분리하였으나 2차분리에서는 43균주가 사멸하고 23균주만 분리되었다. 반응조 R4의 생물막에서도 계수용 TGY 배지로부터 역시 66개의 균주를 분리하였으나 2차분리에서는 24균주가 사멸하고 42균주만 분리되었다(Table 5).

Table 5에서는 20°C에서 R1과 R4 반응조를 운전 시에 생물막으로부터 분리 동정된 세균속의 추정치를 나타내었다. 섬모상 반응조(R4)가 망상반응조(R1)보다 더욱 다양한 종류의 세균속이 동정되었다. 망상

반응조(R1)에서 가장 많이 출현했던 세균속은 Gram negatives에 속하는 *Flavobacterium*(47.8%)이었고 미동정 세균그룹(17.4%), *Pseudomonas*(13.0%), *Beggiatoa*(8.7%)와 Grampositive인 *Micrococcus*(8.7%)의 순이었다. 이러한 결과는 사별되지 않고 살아 남아서 분리된 균주에 관한 데이터이기 때문에 전체적인 세균상에 대한 정보가 아니라 부분적인 세균상에 관한 데이터라는 한계점을 가진다. 섬모상 반응조(R4)에서 가장 많이 출현했던 세균속은 *Pseudomonas*(35.7%)였고 *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Mirococcus*의 순이었다. 이와같이 망상(R1), 섬모상(R4) 양 반응조에 출현하는 세균속의 종류와 수도(abundance)는 상이했다.

Table 6에는 Pike(12)가 생물막에서 발견된 세균속과 본 연구에서 동정된 세균속을 비교한 것이다.

Table 6에서 보는 바와 같이 Pike의 결과와 본 연구의 결과에서 동정된 세균속의 종류가 훨씬 적음을 볼 수 있다. 이렇게 숫자가 줄어든 것은 본 실험에서 사용된 폐수의 기질이 페놀·포름알데히드 합성수지 폐수였고 농도도 고농도였고, 또한 미생물은 극단적인 환경으로 변할수록 다양성이 감소되기 때문으로 사료된다.

**사상미생물 및 원생동물의 계수 및 동정**

Table 7은 각 반응조로부터 채취한 생물막내에 존재하는 사상세균, 원생동물 및 미생물을 관찰한 결과이다. 사상세균에 있어서는 type 1701이 우점종으로 모든 반응조에서 되었다. 원생동물은 *Arcella*, *Diffugia*, *Paramerium* 등이 발견되었는데 출현 빈도는 많

**Table 6. Comparison of bacteria identified from the biofilm**

	Pike (12)	This Study
<i>Sphaerotilus</i>	<i>Streptococcus faecelis</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Zoogloea</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Thiobacillus</i>	<i>Paracolobacterium</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>Achromobacte</i>	<i>Nitrosomonas</i>	<i>Aeromonas</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Nitrobacter</i>	<i>Alcaligenes</i>
<i>Pseudomonas</i>		<i>Beggiatoa</i>
<i>Nocardia</i>		<i>Flavobacterium</i>
<i>Chromobacterium</i>		<i>Pseudomonas</i>
<i>Sarcina</i>		

**Table 7. Filamentous bacteria, protoza and other large microorganisms found in the reactor biobilm**

Microorganisms	PVDC						PEPP					
	R <sub>1</sub>		R <sub>2</sub>		R <sub>3</sub>		R <sub>4</sub>		R <sub>5</sub>		R <sub>6</sub>	
	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C
Type 1701	5.8 (3)*	6.2 (4)	2.5 (2)	2.5 (2)	9.2 (5)	9.1 (5)	8.3 (4)	8.1 (4)	1.3 (2)	1.2 (2)	8.3 (4)	8.1 (4)
Arcella (2) (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	1.5	0	0
Diffugia	0	0	0	0	0	0	6.3 (4)	3.3 (3)	4.1 (3)	4.6 (3)	0	0
Paramecium	0	0	3.2 (3)	3.1 (3)	0	0	0	0	0.9 (1)	1.2 (2)	0	0
Fungi (UI)**	6.2 (4)	5.7 (3)	0	0	3.8 (4)	4.4 (4)	0	0	0	0	7.6 (4)	6.2 (4)
Algae (UI)	0	0	0	0	1 (1)	0.5	0	0	0	0	0	0

\*Numbers in parentheses means the degree of abundance; 1: few; 2: some; 3: moderate; 4: common 5: abundant

\*\*Unidentified

지 않았다. 또한 반응조를 20°C에서 운전했을 때와 10°C에서 운전했을 때 사상미생물과 원생동물의 미생물상은 별 차이가 없었다. 이는 대형의 사상미생물이 일단 서식하게 되면 단기간의 변화에 의해 별 다른 변화를 보이지 않기 때문이라고 생각된다.

## 요 약

폐수처리 시스템에 있어서 신소재로 알려진 망상 구조의 polyvinylidene chlorid(PVDC)와 섬모상 구조의 polyethylene polypropylene(PEPP) 매질을 충전한 호기성 침적형 생물막 반응조를 이용하여 합성폐놀 폐수를 처리한 반응기에서 미생물을 동정한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미생물의 분리동정에서 PVDC 매질에서의 23개 균수가 분리되었고 PEPP 매질이 충전된 반응조에서는 모두 42개의 균수가 분리되어 후자가 보다 다양한 세균주를 부착하고 있었다.

2. 생화학적 성상검사에 의해 분리된 균수를 동정한 바 PVDC 매질반응조에서 많이 출현했던 세균속은 *Flavobacterium*(47.8%), *Unidentified*(17.6%), *Pseudomonas*(13.0%), *Micrococcus*(8.7%), *Beggiatoa*(8.7%)의 순이었고 PEPP매질 반응조에서는 *Pseudomonas*(35.7%), *Alcaligenes*(19.0%), *Aeromonas*(14.3%), *Micrococcus*(11.9%)의 순이었다.

3. 정상상태에서 운전이 이루어질 때 모든 반응조에서 사상세균인 Type 1701을 관찰할 수 있었고 PVDC 반응조 생물막에서 *Paramecium*과 Fungi가, 그리고 PEPP 반응조 생물막에서 *Diffugia*, *Paramecium* 및 Fungi가 발견되었다. 이와같이 원생동물의 다양성이 감소된 것은 높은 폐놀농도에 의해 미생물 생태계가 단순화된 때문이라고 생각된다.

4. 반응조를 10°C와 20°C에서 운전하여 미생물을 계수한 바 세균은 저온에서 상당한 감소가 있었으나 사상세균과 원생동물은 별 다른 감소가 없었다. 이것은 단세포 세균이 단기간의 온도변화에 민감한 것

임을 나타낸다.

## 참고문헌

1. Sorenson W.R. 1968. Preparative methods of polymer chemistry. *Interscience Publisher*, 445-470.
2. 정팔진. 1976. 완전혼합 활성 슬러지를 이용한 formaldehyde 폐수처리. 고려대학교 대학원 석사학위논문, Pp. 50.
3. 洞澤勇, 麻生昌則, 石崎昂司. 1982. 生物膜法. 思孝社
4. Cowan, S.P. 1974. Manual for the identification of medical bacteria. Cambridge Univ. Press, Pp. 527.
5. Krieg, N.R. 1984, Bergery's manual of determinative bacteriology. 1. Williams and Wilkins Company, Pp. 1146.
6. Eikelboom, D.H. 1974. Filamentous organism observed in activated sludge. *Water Res.* 9: 365-387.
7. Eikelboom, D.H. and Jenkins, D. 1981. Microscopic sludge investigation manual. TNO Research Institute for Environmental Hygiene. The Netherlands, Pp. 203.
8. Strom, P.F. and Jenkins, D. 1984. Identification and significance of filamentous microorganism in activated sludge. *J. Wat. Polluton Control Fed.* 56: 449-457.
9. Jahn, T.L. and Jahn, F.F. 1949. How to know the protozoa. W.M.C. Brown Company Publishers. Dubuque Iowa, Pp. 380.
10. Lee, J.J., Hutner, S.H. and Bovee, E.C. 1985. Illustrated guide to the protozoa. Society of Protozoologists. Lawrence, Kansas. Allen Press, Pp. 629.
11. 須藤隆一, 廢水處理の生物學. 1979. 産業用水調査會, Pp. 366.
12. Pike, E.B. 1975. Aerobic bacteria. In ecological aspects of used-water treatment. 1. edited by Curds, C.R. and Hawkes, H.A. Academic Press. London. 56.

(Received 8 March 1995)