

폐수처리 미생물

(여섯번째)



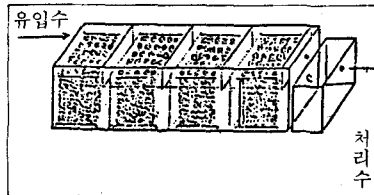
정재춘 교수
 <연세대 보건과학대학 환경과학과>

III. 생물막 미생물

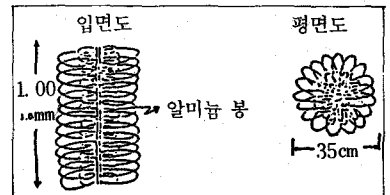
7. 현수미생물 접촉체법(섬유상 접촉제 접촉포기법)의 미생물상

가. 공정의 개요

현수미생물 접촉체법은 섬유상의 접촉재가 폐수속에 침수되어 있고 하부에 설치된 산기로 폐수를 포기해 주는 방식이다. 본 법은 처리효율이 좋고 슬러지의 발생량이 적은 장점이 있다. <그림 4>에 현수미생물 접촉체의 모형을, <그림 5>에 Polychlorovinylidene chloride로 제작된 섬유상 접촉제의 형상을 보였다.



<그림 4> 현수 미생물 접촉체의 모형



<그림 5> 섬유상 접촉제의 형상

<표 9> 현수 미생물 접촉체 생물막의 생물상(일본)

생물막량 (mg/cm ²)	제1단	제2단
<i>Paramecium caudatum</i>	940	-
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	160	
<i>Loxophyllum meleagris</i>	100	
<i>Colpoda cucullus</i>	60	
<i>Cercobodo ovatus</i>	280	
<i>Monas</i> sp.	110	
<i>Pleuromonas jaculans</i>		3,900
<i>Bodo caudatus</i>	280	
<i>Amoeba</i> sp.	60	1,900
<i>Arcella vulgaris</i>		3,000
<i>Philodina</i> sp.	140	2,100
<i>Diplogaster</i> sp.	40	600
<i>Cydops</i> sp.		r
<i>Nais</i> sp.	cc	+
<i>Beggiatoa</i> sp.		
Fungi		

생물막 1mg 중의 세균수.

나. 현수미생물 접촉체의 미생물상
 <표 9>는 일본에서 조사된 어느 현수미생물 접촉체 생물막의 미생물상을 보인 것이다. 조사된 생물막의 표면은 회색 내지 갈색을 띄고 있었으며 생물막 내부도 흑색으로 혐기성 부분이 많았다. 제1단계에는 *Beggiatoa*와 *Paramecium* 등이 우점종이고, 제2단계에는 *Pleuromonas*, *Arcella*, *Philodina* 등이 우점종이다.

(표 10) 현수미생물 접촉체 생물막의 미생물

(현미경의 시계당 개체수)

미생물명	처리장											
	연세대				위커킬				서울대			
	1**	2	3	4	1**	2	3	4	1**	2	3	
<i>Beggiatoa</i>	2.4	1.3	0.5	0	2.4	2.3	0.2	0.1	0	0	0	
<i>Peranema</i>	0	0	0	0	0.8	0.2	0	0	0	0	0	
<i>Amoeba</i>	0	2.1	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	
<i>Arcella</i>	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.2	0	0	0	
<i>Diffugia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	
<i>Paramecium</i>	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	
<i>Stylonychia</i>	0	0	0	0	3.2	1.5	2.1	3.5	0	0	0	
<i>Trachelocercer</i>	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	
<i>Aspidisca</i>	0	0	0	0	1.7	0.3	0.1	0	0	0	0	
<i>Limnolus</i>	0.2	2.1	0.3	0.3	0.6	1.0	0.3	0	0	0	0	
<i>Oxytricha</i>	0.2	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Colpoda</i>	0	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Trachelophyllum</i>	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Vorticella</i>	3.4	0.6	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Opercularia</i>	0	0	0	0	38.5	0	0	0	34.1	2.9	2.8	
<i>Carchesium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	22.1	2.3	0	
<i>Epistylis</i>	0	0	0	0	7.3	5.0	95.5	0	0	0	0	
<i>Podophrya</i>	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Tokophrya</i>	0	0	0	0	0.4	0.1	0	0	0	0	0	
<i>Diplogaster</i>	0.4	0.2	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	
(Nematode)												
<i>Philodina</i> (Rotifer)	0.4	0.7	1.5	0.3	0.7	6.9	2.1	3.1	5.9	6.2	6.2	
Annelid worm	0	0	0.2	0.2	0.1	0	0	0.1	1.5	1.7	1.0	
<i>Spirogyra</i> (alga)	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	0.3	0.3	
Unidentified alga	0	0	0	0	0	0	0	0	2.3	1.6	1.7	

*1 시계 평균, 원생동물 및 후생동물은 100×에서 사상세균, 조류는 1000배에서 세었다.

** 단

(표 10)에는 한국에서 조사된 3개의 현수미생물 접촉체 생물막의 미생물상을 보였다. 전단에는 *Beggiatoa*, *Peranema*, *Stylonychia*, *Opercularia* 등이 우점적이며 후단에는 *Epistylis*, *Philodina* 등이 우점함을 알 수 있다.

8. 생물막의 지표생물

洞澤(1946)은 여상생물을 濾膜 생물, 중간濾膜 생물, 非濾膜 생물, 濾膜 청소생물 등으로 분류하였으며, 이러한 생물의 많고 적음이 관리의 좋음과 나쁨, 처리수의 良否를 결

정하는 지표생물로 이요되고 있다. 여막, 중간, 비여막생물은 활성슬러지의 활성, 중간, 비활성 지표생물에 해당하는 것이다. 이들은 각각 고착성, 포복성, 유영성 생물이다. 여막청소생물은 생물막의 과도한 증식을 조절하는 윤충류, 선충류, 빈모류, 곤충류 등을 말한다. 처리수질과의 관계 및 생물막 관리에 있어서 중요한 지표생물을 들면 다음과 같다.

1) 고부하의 생물막

균류가 현저하게 증가하고 *Beggiatoa*의 흰색막이 형성된다. 섬모충류는 대부분의 경우에 적게 출현하

거나 나타나지 않는다. 편모충류인 *Oikomonas*, *Bodo*, *Cercobodo* 등이 많이 출현하며 이때의 처리수질은 매우 나쁘다.

2) 처리수질이 나쁜 생물막

Oikomonas, *Bodo*, *Cercobodo* 등의 편모충류, *Paramecium*, *Colpidium*, *Holophrya*, *Glaucoma* 등의 유영성 생물이 많아진다.

3) 적정부하에서 처리수질이 양호한 경우

Carchesium, *Zoothamnium*, *Epistylis*, *Opercularia* 등의 줄기가 있는 고착성 연모류(*Peritrichida*)의 큰 군체가 출현하며 *Vorticella*도 많아진다.

4) 저부하의 생물막

Carchesium, *Zoothamnium*, *Epistylis*, *Opercularia* 외에 *Aspidisca*, *Euplotes*, *Oxytricha*, *Arcella vulgaris*, *Euglypha* 등이 출현한다. 이러한 생물이 많아질때는 처리수의 BOD가 10mg/l 이하로 되는 경우가 많다. *Arcella vulgaris* 및 *Euglypha*는 질산화가 진행되는 경우에 우점종으로 된다.

5) 생물막의 갱신이 빠른 생물막 윤충류, 선충류, 빈모류, 곤충류가 많은 경우에는 이들이 생물막을 채식하기 때문에 혐기성층이 적어지고 생물막의 비후가 발생하지 않는다. 또한, 탈락「슬러지」의 발생량도 적어진다. 회전원판에서의 출현순위는 *Philodina*, *Chaetogaster*, *Pristina*, *Rhabdolaimus*이다.

6) 혐기성 층이 두꺼운 생물막 *Metopus*, *Caenomorpha*, *Cercobodo*, *Beggiatoa* 등이 출현한다. 이들이 출현하는 생물막에서는 악취가 심하게 발생한다.

7) 여상의 폐색

균류나 *Zoogloea*가 현저하게 증식되는 경우에는 살수여상에서 연못화가 일어난다. 또한, 잠수여상에서는 막힘화가 일어나고, 회전원판에서는 가교현상(bridging)이 일어

나며(개개의 원판사이가 과도한 생물막에 의해 붙는 현상) 처리효율이 저하됨과 동시에 악취도 발생한다.

8) 저해물질이 유입된 경우

저해의 정도에 따라 원생동물과 후생동물이 없어진다. 윤충류보다 緣毛類가 저해물질에 대한 감수성이 강하므로 *Carchesium*이나 *Epistylis*가 정상적일때 나타나는 생물막에서는 이러한 생물의 다과를 지표로 삼으면 좋다.

9. 생물막법의 특징

생물막에 의한 폐수처리에서는 미생물이 기반에 고정되어 있기 때문에 활성슬러지법에 비해 부하나 환경조건의 변동에 대해 강하다고 생각된다. 또한 호라성슬러지와 같이 「슬러지」량과 용존산소농도를 조절할 필요가 없으므로 운전이 용이하고 노동력이 적게 든다. 또한 생물막에서는 활성슬러지와 같은 「벌킹」이 일어나지 않으며 처리수질도 활성슬러지법에 비해 손색이 없다. 특히, 활성슬러지가 생성되지 않는 저농도의 폐수에서도 효과적으로 처리할 수 있다. 한편, 건설비가 약간 높고, 냄새가 나며 처리수질을 운전조건으로 할 수 없는 단점이 있다. 생물막법은 다음과 같은 특징이 있다.

1) 정화에 관여하는 미생물 종류의 다양성이 높다.

활성슬러지법에서는 비증식속도가 낮은 생물(통상적인 비증식속도가 0.3~0.5day 이하인 생물)은 씻겨 나가므로 슬러지 층에 살아남을 수 없으나, 생물막법에서는 물의 체류시간에 무관하게 비증식속도가 낮은 생물도 서식할 가능성이 있다. 또한, 미소 후생동물 중에는 교반의 세기에 감수성이 현저하게 강한 것도 있으나, 생물막법에서는

이러한 충격이 적은 편이다. 이 때문에 활성슬러지법보다 생물종의 다양성이 증가하고 먹이연쇄가 복잡하게 되어 안정한 생태계를 형성하게 되므로 수질변동에 대응할 수 있다고 생각된다. 일반적으로 수온이 저하하면 생물의 비증식속도가 저하하나 저온에서도 생물막중에는 각종의 생물이 출현한다. 수온이 8°C정도로 저하하여도 비교적 풍부한 생물상이 존재하는 수가 많다. 그러나 수온이 저하하면 물론 처리수율은 저하하게 된다.

2) 각단 생물막에서의 우점종이 다르다.

회전원판에서는 초단에서 후단으로 가면서 정화가 진행되고 유기물 농도범위에 적합한 미생물군이 서식하게 된다. 즉 각단마다 우점적인 생물종이 달라진다. 슬러지나 처리수의 반응이 없는 것이 각단의 미생물상이 달라지는 요인중의 하나이다. 처리수를 순환시키면 각단의 미생물상이 비교적 균일하게 된다.

3) 먹이연쇄가 길게 된다.

생물막에서는 활성슬러지법에 비하여 미소후생동물의 현존량이 상당히 크며, 더 고차적인 영양수준의 생물이 서식하고 있으므로 먹이연쇄도 길어지게 된다. 긴 먹이연쇄가 되면 호흡과 대사에 의한 에너지 소실량이 그만큼 더 커지므로 슬러지의 발생량은 적어진다. 인공하수를 이용한 실험에 의하면 생물막으로부터 발생하는 슬러지량은 활성슬러지보다 약 25%가 적다. 또한, 동물성 성분이 높은 슬러지는 고액분리가 양호하므로 상등액이 투명하게 되는 수가 많다.

4) 질산화세균과 탈질세균이 잘 증식한다.

암모니아 산화세균 및 아질산 산화세균의 비증식속도가 상당히 작

으므로 통상의 활성오니법에서는 씻겨져나가기 쉽다. 그러나 생물막에서는 폐수의 체류시간에 관계없이 미생물이 증식할 수 있으므로 질산화세균과 같은 비증식속도가 작은 세균도 안정하게 증식할 수 있다. 그리고 생물막의 내부가 혐기성이 되므로 어느 정도의 탈질이 발생하게 된다. 그러므로 활성오니법에 비해 생물막법의 질소제거율이 높게 된다.

10. 폐수처리에 있어서 각 생물막 미생물군의 역할

1) 단세포세균

단세포 세균은 탄소제거(유기물 질제거)에 있어서 가장 중요한 역할을 담당한다. 이는 양적으로도 가장 많고 대사양식이 타급영양형이기 때문이다.

2) 사상세균

회전원판법에 흔히 출현하는 사상세균인 *Beggiatoa*는 폐수처리에 있어서 별다른 공헌을 하지 않는 것같이 보인다. 왜냐하면 대부분의 *Beggiatoa*균주가 소량의 유기물만을 필요로하는 혼합영양생물이기 때문이다. 또한 *Beggiatoa*는 회전원판생물막에서 유해생물로 간주되고 있다. 이것은 *Beggiatoa*가 생물막의 최외층에 서식하여 최고 500~700 μ m의 흰색 막을 형성하므로 폐수처리에 공헌하는 호기성 타급영양세균에 공급되는 산소를 차단하기 때문이다. 그러나 특수한 경우, 예컨대 H_2S 를 제거할 경우에는 *Beggiatoa* 생물막이 사용될 수 있다. 이때 *Beggiatoa*는 H_2S 를 SO_4^{2-} , 또는 S^0 (유황입자)로 산화시켜 유독한 H_2S 가스를 제거한다.

*Sphaerotilus*를 비롯한 타 사상세균은 폐수처리에 상당히 공헌하는 것 같다. 왜냐하면 이들은 대부분

이 종속영양세균이며 *Sphaerotilus* 같은 것은 PHB(poly-hydroxy-butyrates) 입자를 균체내에 긴물중의 10~40%까지 축적하여 탄소를 제거해 주기 때문이다. 또한, 생물막에 있어서 사상세균은 살아 있을 때(Type 0041) 및 죽었을 때(모든 종류) 단세포세균이 부착할 수 있는 표면을 제공하며 생물막의 골격물질로 작용하는 것 같다.

3) 원생동물

원생동물이 폐수처리에 있어서 담당하는 역할은 여러 연구자에 의해서 제시되었다. 주된 역할로서 공동적으로 제시된 것이 폐수속에 분산된 세균의 포식이다. 즉, 원생동물은 연약하고 노쇄한 세균을 포식하므로서 건강한 세균집락을 유지시키며, 포식에 의해 급속히 성장하는 타급영양세균을 선별하므로서 무기화(mineralization)와 분해도를 증진시킨다. 그리하여 원생동물의 수가 많이 포함된 활성오니일수록 더 깨끗한 처리수가 얻어지며, 생물막에 있어서 원생동물의 역할은 생물막을 채식하여 과도한 생물막의 성장을 억제하고 오니발생량을 감소시킨다.

4) 선충류

폐수처리에 있어서 선충류의 역할도 또한 세균에 대한 채식(graazing)이 가장 중요한 것으로 여겨지고 있다. 폐수처리에 있어서 선충류의 섭식율(feeding rate)에 대한 연구는 없으나 민물水低에 사는 선충의 한 종류인 *Plectus*의 경우를 보면, 분당 500개의 단세포를 섭식한다고 한다. 이는 1일당 *Plectus* 체중의 65%에 해당하는 양이다(Schiemer, 1975). 기타의 부차적인 역할로는 대사에 의한 유기물의 분해, 분비물, 배설물, 사체에 의해 생성되는 에너지원이 풍부한 물질들의 재순환을 들 수 있다. Schiemer(1975)는 또한 선충의 밀도와 호흡

율에 근거하여 살수여상에서 선충의 총 산소소비량을 계산한 결과, 전 「커뮤니티」호흡량의 0.01%였다. 이 양이 매우 적었으므로 그는 선충이 유기물 분해에 별다른 공헌을 하지 않는다고 결론지었다. 그러나 선충이 비록 호흡량이 적다 하더라도 생물막에 있어서 세균을 채식하므로서 활력있는 새 생물막의 성장을 촉진하고 두터운 생물막의 두께를 얇게 하므로서 생물막 내부로의 산소이전등에 공헌하는 것 같다.

몇몇의 연구자들은 폐수처리 공정에 있어서의 선충류 집단의 밀도를 조사하였다. Weninger(1964)는 실험실 규모의 살수여상에 형성된 *Sphaerotilus*와 선충류, 기타의 미생물이 서식하는 생물막에서 선충류를 계수한 바 젖은 생물막 1ml당 240개체로 보고하였다. 「슈도」(1979) 등은 회전원판 생물막 1cm²당 860개체의 선충을 보고 하였다.

5) 윤충류

윤충류인 *Philodina*는 BOD를 제거하므로서 처리수의 수질을 향상시킨다고 알려져 있다. 「슈도」(1979) 등은 인공폐수를 처리하는 실험실 규모의 회전원판에서 *philodina*의 존재가 처리수질에 미치는 영향을 조사한 바, *Philodina*가 접종된 회전원판이 그렇지 않은 경우보다 처리수질이 좋았다.

폐수처리에 있어서 윤충류의 역할은 Calaway(1968)가 주로 활성오니를 대상으로 한 연구에서 상세히 고찰하였다. 그에 의하면 윤충류는 커다란 「홀록」을 깨뜨려 작은 입자로 만들기 때문에 더 많은 「홀록」형성에 쓰여질 핵으로서 제공된다는 것이다. 또한 폐수속에 분산된 세균을 포식하므로서 처리수질을 향상시키며, 배설물이 뚜렷한 球體(Pellets)모양이므로 세균이나 세균 「플록」이 이곳에 흡착될 수 있기 때

문에 「홀록」형성에 공헌한다고 하였다. 생물막에 있어서 윤충류의 역할은 역시 세균의 채식과 과도한 생물막의 성장억제에 있다고 보여진다.

6) 환형동물(annelid worms)

폐수처리에 있어서 환형동물의 역할에 대해 상당수의 연구자들이 조사하였다. Reynoldson(1939)은 실험실 규모의 살수여상에서 *Lumbricillus lineatus*를 접종한 결과 집중안한 경우보다 처리수질이 향상되고 질산화도 더 잘 일어났다고 하였다. Terry(1951)도 *Eisenia foetida*를 가지고 한 실험에서 동일한 결과를 얻었다.

환형동물이 폐수처리에 있어서의 역할도 또한 그들의 채식성(graazing)에 있다고 보여진다. 섭식율에 대해서는, 토양중에 서식하는 환형동물의 경우, 1일 Lumbricid의 건체중 1g당 27mg의 먹이를 취한다고 하였고(Satchell, 1967) Solbé(1971)는 *Dendrobaena subrubicunda*의 경우, 15°C에서 1일 생물중 1g당 133mg의 취한다고 했다. 또한, 살수여상에 있어서 전체 Lumbricid군이 섭식하는 생물막량은 살수여상에 유입되는 日常 탄수화물의 55%에 해당한다고 계산하였다. 환형동물도 또한 과도한 생물막의 성장을 억제하고 배설물에 세균등이 흡착할 수 있어 「슬러지」의 침강성을 증강시킬 수 있을 것이다.

(다음호에 계속)

상담 및 문의전화: (0371) 42-6204

