

폐수처리 미생물

(다섯번째)



정재춘 교수

(연세대 보건과학대학 환경과학과)

III. 생물막 미생물

(5) 후생동물

(가) 윤충류

살수여상을 포함하여 생물막에 출현하는 윤충류의 종류는 활성오니와 비슷한데, 개체수는 활성오니보다 많은 편이다. *Philodina*, *Rotaria* 등의 윤충류는 포복할 장소가 충분히 주어지기 때문에 원생동물보다 증가하여 우점종이 되는 것도 있다.

(나) 선충류

선충류는 활성오니보다 많이 존재하며 생물막에서 흔히 볼 수 있다. 「나카시마」(1959)는 30분 침전 후의 생물막 1ml중 500~10,000개체의 선충(전 생물의 2~10% 정도를 점한다)이 존재하고, 선충의 개체수는 계절에 따라 별다른 변동이 없음을 보고하고 있다.

Schiemer(1975)는 주로 가정하수를 처리하는 생물막에 출현하는 선충을 몇개의 문헌을 정리하여 <표

4>와 같이 요약하고 있다. 살수여상 생물막에 많은 선충은 *Rhabditis*, *Pelodera*, *Rhabditoides*, *Caenohabditis*, *Mesorhabditis*, *Rhabditonema*, *Mononchoides*, *Diplogasteritus*, *Paroigolaimella*, *Demaniella*, *Fictor*, *Butlerius*, *Rhabditolaimus* 등이다.

(다) 환형동물(Annelid worms)

「나카시마」(1959)는 가정하수를 처리하는 1개소의 살수여상을 조사한 후, *Eisenia*, *Tubifex*, *Limnodrilus*의 3종의 빈모류가 30분 침전 후의 생물막 1ml중, 평균 640개체 서식하고 있다고 보고하였다.

Solbé(1975)는 출현빈도가 높은 빈모류(수치는 출현빈도를 나타낸다)로서 *Lumbricillus rivalis*(91%), *Enchytraeus buchholzi*(57%), *Nais variabilis*(54%), *Nais elinguis*(52%), *Eiseniella tetraedra f. typica*(52%), *Pristina idrensis*(48%), *Chaetogaster langi*(43%), *Pristina aequisetata*(42%), *Eisenia foetide*(31%), *Chaetogaster diaphanus*

(22%), *Enchytraeus coronatus*(22%), *Aeolosoma hemprichi*(21%), *Lumbricus rubellus*(18%), *Tubifex tubifex*(16%), *Pristina foreli*(15%), *Enchytraeus albidus*(9%), *Nais simplex*(8%), *Limnodrilus udekemianus*(8%) 등을 열거하고 있다. *Nais*, *Chaetogaster*, *Aeolosoma* 등의 미소빈모류는 생물막(건조중량) 1mg중, 1000개체이상 달하는 수도 있다고 한다.

(라) 곤충류

곤충류에는 나비파리, 또는 여상파리라고 불리는 *Psychoda*속이 가장 많다. *P. alternata*, *P. cinerea*, *P. severini* 등이 존재하는데 전자가 압도적으로 많고 여제 1ℓ중 40,000개체 이상에 달하는 수도 있다. (Learner, 1975). *Psychoda alternata*는 유충기에는 생물막에서 중요한 역할을 하지만 성충이 되면 여상주위를 날아다녀 성가신 존재가 된다. 이는 살수가 불균일할때 현저히 발생한다. 기타 류의 *Proiso-*

toma, Hypogastrura, 쌍시목(파리목)의 Anisopus, Hydrobaenus, Metriocnemus 등이 있다.

(마) 거미목(Arachinida)

물웅애류(water mite)에 속하는 *Erigone*, *Leptyphantes*, *Meoneta*, *Histogaster*, *Macrocheles*, *Hististoma*, *Rhizoglyphus*, *Platyseius* 등이 살수여상에 출현한다(Baker, 1975). 기타 *Lymnaea Pervia*, *Macrobrutus macrorynix* 등이 출현한다.

라. 살수여상에서의 미생물의 총화

살수여상에 있어서는 여상의 깊이에 따라서 미생물의 총화가 일어난다. <그림 6>에서는 Cooke와 Hirsch(1958)가 도식화한 살수여상의 상부 2mm에 있어서 미생물의 총화를 보였다. 상부의 맨 바깥층 0.3mm는 균류가 우점하며 그 다음의 중층(1.3mm정도의 두께)은 균류가 우점하고 基部層(0.4mm정도의 두께)에는 균류, 조류, 세균이 혼재한다.

(표 5)에는 살수여상의 전깊이에 따른 원생동물의 총화 및 계절적 변동(消長)을 보였다. *Arcella*는 중층과 하층에 많고 4~6월에 많이 출현하였고, *Trinema*는 역시 중층과 하층에 많고 8~1월에 많이 출현하였다. *Amoebina*는 중층에 많았고 연중 출현하였으며 편모충류는 상층에 많았고 연중 출현하였다. *Carchesium*은 하층에 많았고 5~6월에 많이 출현하였다. *Opercularia*는 5~7월에는 중·하층에, 나머지 달은 상·중층에 많이 출현하였다. 기타 섬모충류는 5~6월은 중·하층에 많이 분포하였고 나머지 달은 전층에 비슷하게 분포하였다.

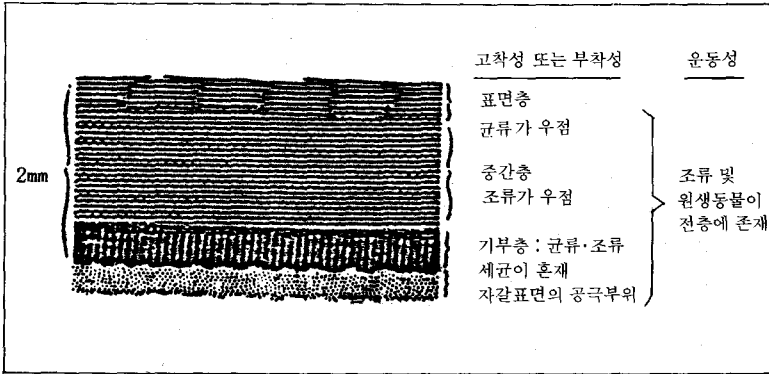
5. 「플라스틱」여상의 생물막

「플라스틱」여상은 여재가 균일한 환경관리인. 1989. 12

(표 4) 살수여상 생물막에 출현하는 선충류

種 名	別 名	보 고 자				
		Weniger (1964, 1971)			Peters (1930)	Taylor and Pillai (1968)
		a	b	c		
DIPLOGASTERINAE						
<i>Bulterius</i> sp.					+	
<i>Demanella</i> spp.					+	
<i>Diplogaster rivalis</i> (Leydig, 1854)	(<i>D. micans</i>)				+	
<i>Diplogasterius nudicapitatus</i> (Steiner, 1914)	(<i>Acrostichus, Diplogaster</i>)	++	++	+++	+++	
<i>Fictor anchicoprothage</i> (Paramonov, 1952)					++	
<i>Mononchoides striatus</i> (Bütschli, 1876)	(<i>Diplogaster, Eudiplog.</i>)	+		+++	+++	
<i>Mononchoides</i> spp.					++	
<i>Paragrolaimella bermensis</i> (Steiner, 1914)			+++	+++	+++	
<i>Rhabdonotolaimus</i> sp.					+++	
RHABDITINAE						
<i>Pelodera teres</i> (Schneider, 1866)				+	+	
<i>Rhabditis(Chlororhabditis)</i>				+	+	
<i>Producta</i> (Schneider, 1866)						
<i>Rhabditis sensu lato</i>			++	+	+++	
<i>Rhabditoides longispina</i> (Reiter, 1928)		+++	++			
OTHER RHABDITIDA						
<i>Cephalobus</i> spp.					+	
<i>Cylinurocorpus curzii</i> (T. Goodey, 1935)					+	
<i>Diploscapter coronata</i> (Cobb, 1893)					++	
<i>Panagrolaimus</i> sp.					++	
<i>Myolaimus</i> sp.					+	
<i>Turbatrix aceti</i> (Müller, 1783)					+	
NON RHABDITIDA						
<i>Dorylaimidae</i> spp.		+		+	+	
<i>Monhystera</i> spp.				+	+	
<i>Mononchus</i> sp.					+	
<i>Plectus</i> sp.				+	+	
<i>Tobrilus</i> sp.				+	+	
<i>Tripyla</i> sp.					+	

(Schiemer, 1975)



〈그림 6〉 실수여상 상부에 있어서 미생물의 층화

공극율로 형성되어 있기 때문에 자갈(쇄석)여상에 비하여 생물막이 여재표면에 비교적 균일하게 생성된다. 폐수의 성상이 같다면 「플라스틱」여상 생물막에 출현하는 생물은 자갈(쇄석)여상과 큰 차이가 없다. 즉, 자갈여상과 같이 세균, 균류, 조류, 원생동물, 운충류, 선충류, 빈모류, 곤충류 등이 출현한다.

金命木(1975)은 도시하수의 활성오니처리 처리수의 탈질을 행하기

〈표 5〉 실수여상에서 깊이에 따른 원생동물의 분포

(Barker, 1946)

Organisms	Depth in ft.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.
<i>Arcella</i>	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—
	3	9	9	4	—	—	—	—	—	—	—
	5	1	36	18	—	—	—	—	—	—	—
<i>Trinema</i>	1	—	—	—	—	1	1	1	4	1	1
	3	—	—	—	—	4	1	4	1	1	1
	5	—	—	—	—	1	4	40	14	6	4
<i>Amoebina</i>	1	27	18	9	9	9	9	23	36	19	456
	3	145	34	4	1	340	9	1	9	23	134
	5	27	14	1	4	9	32	4	49	9	61
<i>Flagellates</i>	1	227	420	34	260	250	126	158	797	372	828
	3	804	125	68	90	214	92	125	170	260	138
	5	885	162	148	69	82	137	125	329	72	80
<i>Chilodon</i>	1	1	4	32	68	—	4	9	23	45	1
	3	1	36	63	18	—	32	207	122	166	23
	5	9	114	27	1	—	14	4	32	57	9
<i>Cydidium</i>	1	—	14	—	—	—	1	1	14	3	—
	3	—	9	—	—	—	1	4	14	6	—
	5	—	4	—	—	—	4	1	1	3	—
<i>Cinetochilum</i>	1	9	1	1	—	—	1	—	—	1	1
	3	1	4	18	—	—	1	—	—	3	4
	5	9	14	18	—	—	14	—	—	1	1
<i>Carchesium</i>	1	—	32	91	1	—	1	—	—	6	4
	3	—	27	27	4	—	1	—	—	3	1
	5	—	72	268	1	—	4	—	—	6	1
<i>Opercularia</i>	1	1	100	68	1	32	1	4	23	15	18
	3	9	317	54	54	68	4	27	13	24	4
	5	1	337	18	23	4	1	1	4	3	1
<i>Podophrya</i>	1	1	1	18	—	—	1	1	—	1	—
	3	45	1	32	—	—	4	4	—	3	—
	5	9	45	132	—	—	1	4	—	6	—
<i>Other ciliates</i>	1	1	109	14	—	1	9	9	4	18	14
	3	1	136	45	—	9	1	1	31	14	4
	5	9	118	114	—	4	36	1	14	9	1

위해 「플라스틱」 여재를 충전한 2단 침적여상 생물막의 생물상을 조사하였다.

조사된 「플라스틱」 여상은 활성오니 처리수(수온 18.5°C, BOD 13mg/l, NH₄-N 7.9mg/l, NO₂-N 1.2mg/l, NO₃-N 1.9mg/l)를 포기를 수반하여 처리하는 일종의 침적여상인데, 2시간 체류시키면 질화가 진행된다(BOD 12mg/l, NH₄-N 0.3mg/l, NO₂-N 2.0mg/l, NO₃-N 8.8mg/l). 곧이어 여기에 산화해 질소의 3배량의 메타놀을 첨가하여 다음 단계의 침적여상으로 보낸다. 여기서는 포기를 행하지 않기 때문에 2시간동안 순환만을 시켜 혐기성 상태로 保持하고 탈질을 행한다.(BOD 10mg/l, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N은 모두 흔적량)이 경우, 질화조 및 탈질조에 생성된 생물막의 생물상을 <표 6>에 보였다.

질화용에서는 육질류와 조류가 우점적으로 출현하였다. 여상표면은 일광을 받으므로 조류가 출현한다. 육질류에는 *Arcella vulgaris*, *Euglypha*가 많다. 저부하의 여상에서는 이 2종류가 항상 출현한다. 조류에는 *Synedra ulna*, *Nitzschia palea*, *Navicula*가 많다.

<표 6> 플라스틱 침적여상의 생물상

미생물명	硝化槽	脱窒槽	미생물명	硝化槽	脱窒槽
<i>Loxophillum</i> sp.	20		<i>Arcella vulgaris</i>	7,340	240
<i>Aspidisca costata</i>	20	30	<i>Euglypha</i>	2,010	70
<i>Stylonychia</i> sp.	72		<i>Philodina</i> sp.		20
<i>Oxytricha</i> sp.		30	<i>Rotaria</i> sp.	4	
<i>Metopus es</i>		120	<i>Notommata</i>	4	
<i>Uronema</i> sp.		120	<i>Chaetonotus nodicaudus</i>	8	
<i>Zoothamnium</i> sp.		50	<i>Dorylaimus</i>	4	
<i>Paramecium caudatum</i>		30	<i>Diplogaster</i>	2	
<i>Vorticella microstoma</i>		90	<i>Tubifex</i> sp.	4	
<i>Spirostomum</i> sp.	2	10	<i>Cyclops</i> sp.		85
<i>Stentor</i> sp.		10	<i>Synedra ulna</i>	8,350	140
<i>Entosiphon sulcatum</i>	100	660	<i>Mclosira varians</i>	80	
<i>Monas</i> sp.		9,790	<i>Nitzschia palea</i>	4,230	270
<i>Pleuromonas</i> sp.	150		<i>Navicula</i> sp.	1,150	
<i>Actinophrys</i> sp.	8				

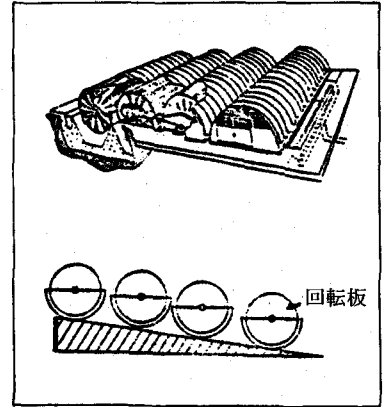
(乾燥重量 1mg中的 생물수)

탈질조에서는 용존산소가 0.1 mg/l이하임에도 불구하고 다양한 생물이 출현한다. 이 경우, *Monas*가 우점종이고, 회전원판(탈질용)과 같이 *Metopus es*, *Paramecium caudatum*이 출현한다. 용존산소가 전혀 없는데도 *Cyclops*가 출현한다.

6. 회전원판법

가. 공정의 개요

회전원판법은 살수여상법이 진화된 형태라 볼 수 있는 것으로서, 1960년 서독 Stuttgart공과대학에서 많은 연구가 진행되어 현재의 공정으로 발전하게 되었다. 회전원판법은 강철로 된 축대에 「폴리에틸렌」, 또는 「폴리스틸렌」으로 만든 파관을 많이 붙여 접촉면을 100,000ft²(표준형)~150,000ft²(고밀도형)정도 주었고, 이러한 원판체가 폐수중에 40%정도 침수되어 1~2rpm(주변속도: 30cm/sec)으로 회전한다. 이렇게 되면 「플라스틱」(폴리에틸렌, 또는 폴리스틸렌) 접촉재 표면에 생물막이 형성되어 폐수중의 오염물질을 흡수·흡착하여 오염물질을 제거한다. 생성된 생물막은 탈락작용에 의해 떨어지고 침



<그림 7> 회전원판 장치의 형태 및 원판체 단면도

전조에서 제거된다. 회전원판장치의 전반적인 형태와 원판체의 단면도를 <그림 1>에 보였다.

본 법의 특징은 ①반수 및 오히려 반수가 필요치 않으므로 동력소비가 적다. ②반수조의 체류시간이 짧다. ③운용이 매우 간단하다. ④다단(multi-stage)으로 한 경우 각단마다 다른 생물상이 구성되고 하단에서는 질화가 일어난다 등이 다.

설계에 있어서 BOD부하(g/m²/day)와 수량부하(l/m²/day)가 중요한데, BOD부하는 20g/m²/day, 수량부하는 100l/m²/day 정도이며, 90% 이상의 BOD제거율이 얻어진다.

회전원판은 질화용과 탈질용으로 구분되며 질화용은 원판체가 폐수중에 40%정도 잠겨서 가동되고 보통 4단이상의 다단으로 설치하여 유기탄소는 전단에서, 질화는 후단에서 성취된다. 탈질용은 원판체가 폐수속에 완전침수되어 가동되며 질화용 원판체 후단에 설치된다.

나. 회전원판의 생물상

회전원판에도 살수여상과 같이 세균, 원생동물, 후생동물, 미소곤충류, 환형동물, 거미목 등이 출현한다. 다만, 살수여상과 달리 덮개

를 하기 때문에 햇벌이 드는 부분을 제외하고는 조류는 발생하지 않으며 균류(fungi)도 살수역상보다 적게 출현한다.

(1) 세균

〈표 7〉에 BOD 및 NH_4-N 이 95% 이상 제거되고 있는 회전원판(질화용) 생물막에 있어서 종속영양세균, 아질산균, 질산균 등의 균수를 보였다.

건조중량 1mg 중의 생균수는 $10^7 \sim 10^8$ 이며, 1~2단에서는 활성오니보다 약간 많고, 3~4단에서는 활성오니보다 약간 적다. 아질산균, 질산균은 활성오니보다 많으며 $10^4 \sim 10^6$ /건조중량 1mg이고 1~2단에 비해 3~4단이 더 많다. 탈질균은 건조중량 1mg당 $10^5 \sim 10^6$ 이며 1~2단에 더 많다.

회전원판법에 있어서 제 1단에 있어서도 질화와 탈질이 일어나는데, 생물막이 자라서 두껍게 되면 생물막의 맨 바깥층 바로 밑에 있는 층에서(기부쪽으로) 질화가 일어나고, 생물막의 기부, 혐기성층에서 탈질이 일어난다. 그러나 질화·탈질의 양은 후단보다 작다. 이는 전단에서는 질화·탈질균이 종속영양세균과의 경쟁에서 떨어지기 때문이다

〈표 8〉는 탈질용 회전원판 생물막의 세균수(건조중량 1mg중)를 보인 것이다. 이것은 탈질율이 100%가까울 때 측정된 것인데 생균수는 $10^7 \sim 10^8$, 질화균은 $10^3 \sim 10^4$, 탈질균은 10^6 이다. 즉, 질화균은 질화용 원판보다 적고 탈질균은 10배정도 많다.

회전원판에 있어서도 사상세균이 출현한다. 〈표 9〉은 미국 각주에 존재하는 66개의 회전원판에서 발견된 사상세균을 보인 것이다. *Beggiatoa*가 가장 많이 출현하고(특히 1단), *Sphaerotilus*, Type 0041, Type 021N의 순이다.

(2) 원생동물 및 후생동물

〈표 7〉 회전원판(질화용)의 생균수, 아질산균, 질산균, 탈질균

	생균수	아질산균	질산균	탈질균
1 段	3.0×10^7	1.6×10^5	3.7×10^5	2.7×10^6
2 段	2.2×10^7	2.1×10^5	3.6×10^5	6.1×10^5
3 段	1.2×10^7	4.9×10^5	3.2×10^6	2.6×10^5
4 段	1.7×10^7	8.2×10^5	5.6×10^6	1.9×10^6
생활오니	2.0×10^7	3.3×10^5	2.3×10^5	2.7×10^6
1 段	1.3×10^8	4.2×10^5	1.5×10^5	6.3×10^5
2 段	5.0×10^7	3.4×10^5	3.2×10^4	5.2×10^5
3 段	3.1×10^7	2.1×10^5	2.3×10^6	2.6×10^5
4 段	3.9×10^7	6.4×10^5	5.2×10^6	2.8×10^5
생활오니	3.6×10^7	1.2×10^5	2.3×10^4	1.7×10^5

(건조중량 1mg 중의 균수)

〈표 8〉 회전원판(탈질용)의 생균수, 아질산균, 질산균, 탈질균

	생균수	아질산균	질산균	탈질균
1 段	1.8×10^8	3.8×10^4	5.3×10^3	7.2×10^6
2 段	5.6×10^7	9.2×10^3	2.8×10^3	6.1×10^6
3 段	4.2×10^7	1.6×10^4	1.4×10^3	2.5×10^6
4 段	4.6×10^7	1.5×10^4	1.0×10^3	2.8×10^6

(건조중량 1mg 중의 균수)

〈표 10〉 및 〈표 11〉에 질화용 회전원판에 있어서 각단 생물막의 생물상을 활성오니와 비교하여 보였다. 이 활성오니와 회전원판 처리의 원수는 동일하며 활성오니법의 BOD부하는 0.1 kg/kg MLSS/day이다. 회전원판 접촉층의 용존산소는 1단이 1mg/l, 4단이 5mg/l 정도이다. 〈표 11〉의 경우, 우점종은 1단이 *Epistylis*, 2단 *Zoothamnium* 단 *Chinetoctlum*, 4단 *Chinetoctlum*이다. 〈표 10〉의 우점종은 1~3단이 *Epistylis*, 4단이 *Euglypha*이다.

우점종은 1~3단이 *Epistylis*, 4단이 *Euglypha*이다.

원생동물에 있어서는 1~2단은 활성오니와 큰 차이가 없는데, 3~4단에서는 활성오니와 상당히 차이가 있다. 1~2단에서는 원생동물의 개체수는 활성오니와 같은 정도로 1mg중 1,000~3,000개체가 보통이며 출현하는 종류는 활성오니보다 약간 많다. *Epistylis*, *Carchesium*은 200~300개체가 군체를 이루는 것

도 종종 있다. 3~4단에서는 섬모충류보다 육질류가 많고 *Euglypha*, *Arcella*가 우점종이 된다. 활성오니에는 거의 출현하지 않는 *Chinetoctlum margaritaceum*, *Euglypha* 등이 회전원판에서는 상당히 많이 출현하고 있다.

〈표 12〉에는 20여개소의 회전원판을 조사하여 출현빈도가 가장 높은 원생동물과 미소 후생동물을 전단(제1단과 제2단) 및 후단(제3단과 제4단)으로 구분하여 나타낸 것이다. 전단에서는 *Epistylis*와 *Vorticella*의 출현빈도가 가장 높고, 우점종이 되는 때가 많다. *Litomotus fasciola*와 *Chinetoctlum margaritaceum* 및 *Amoeba*등도 출현빈도가 높으나 우점종으로 되는 경우는 거의 없다. 후단에서는 섬모충류보다 육질류(*Euglypha*, *Arcella vulgaris*, *Amoeba*)의 출현빈도도 높다. 또한, *Monas*와 *Pleuromonas jaculans* 등의 편모충류도 다량으로 출현한다.

생물막에서는 윤충류, 선충류, 빈모류와 곰벌레류의 미소 후생동

〈표 9〉 회전원판(질화용)에 존재하는 사상세균

사상세균	처리공정수	%*
<i>Beggiatoa</i>	53	80
<i>Sphaerotilus</i>	43	65
Type 0041	33	50
Type 021N	11	17
Type 1701	8	12
Unidentified (bead-shaped)	4	6
Filamentous bacilli	3	5
<i>Nocardia</i>	1	2
<i>Spirobetes</i>	4	6

*미국에 존재하는 66개의 회전원판 처리장의 통계치임.

〈표 10〉 회전원판(질화용)의 생물상

생물 막(mg/cm ²)	1단	2단	3단	4단	생할오리
	3.55	3.26	3.73	1.66	
<i>Vorticella</i> spp.	240	120	90		180
<i>Epistylis</i> sp.	720				120
<i>Opercularia</i> sp.	410				120
<i>Litonotus</i> sp.	100		140		
<i>Aspidisca lynceus</i>					320
<i>Trachelophyllum</i> sp.	100			40	60
<i>Zoothamnium</i> sp.		900			
<i>Chinetochilum marginatum</i>	30	120	210	410	
<i>Bodo</i> sp.	240				
<i>Monas</i> sp.	240	70	110	150	
<i>Pleuromonas</i> sp.					480
<i>Astasia</i> sp.	30				
<i>Amoeba</i> sp.				60	
<i>Euglypha</i> sp.			50	160	
<i>Arcella vulgaris</i>			70	260	480
<i>Colurella</i> sp.		40			
<i>Lepadella</i> sp.					180
<i>Trichoerca</i> sp.			90		
<i>Phloclina</i> sp.			30		
<i>Rhabdolumus</i> sp.					
<i>Sphaerotilus natans</i>	c	+	r		cc

(건조중량 1mg 중의 생물수)

수량부하: 94 ℓ / m² / day, 수온: 20.0°C

처리수질: NH₄-N 0.4mg/ℓ, NO₃-N 9.1mg/ℓ, BOD 3.6mg/ℓ

〈표 13〉 회전원판(탈질용)의 생물상

생물 막(mg/cm ²)	1 단	2 단	3 단	4 단
	7.67	4.33	1.74	0.98
<i>Carchesium polydatum</i>	1,100			
<i>Colpidium campyllum</i>	30			
<i>Vorticella extensa</i>		100		
<i>Paramecium caudatum</i>	30	80		
<i>Metopus es</i>	60	40	20	90
<i>Colpoda</i> sp.	40			
<i>Trachelophyllum</i> sp.	20	50		
<i>Lacrymaria</i> sp.	10			
<i>Euplates</i> sp.		50	160	
<i>Aspidisca lynceus</i>		400		
<i>Metopus variatus</i>	200	40	40	
<i>Vorticella corallaria</i>	150		4,320	
<i>Caenomorpha medusula</i>	10	30		
<i>Aspidisca costata</i>			280	520
<i>Trachinus</i> sp.			80	
<i>Spirastromus</i> sp.			80	
<i>Monas</i> sp.	300			
<i>Bodo</i> sp.		140	320	1,040
<i>Amoeba</i> spp.			560	480
<i>Arcella vulgaris</i>	40	210	600	680
<i>Lepadella</i> sp.			80	
<i>Rhabdolumus</i> sp.		40		
<i>Phloclina</i> sp.				240
<i>Sphaerotilus natans</i>		r	+	
Filamentous Bacteria	c			
<i>Beggiatoa</i> sp.	c		+	+

(건조중량 1mg 중 생물수)

수량부하: 90 ℓ / m² / day, 수온: 20.6°C

처리수질: NH₄-N 0.4mg/ℓ, NO₃-N < 0.1mg/ℓ, BOD 2.6mg/ℓ

〈표 11〉 회전원판(질화용)의 생물상

생물 막(mg/cm ²)	1단	2단	3단	4단	생할오리
	6.03	2.41	1.98	0.96	
<i>Epistylis</i> sp.	1,300	500	200		2,320
<i>Cercularia</i> sp.	110				
<i>Vorticella corallaria</i>		60	30		980
<i>Chinetochilum marginatum</i>	90	160		120	
<i>Uronema</i> sp.		20			
<i>Colpoda</i> sp.		30			20
<i>Trachelophyllum</i> sp.	30				
<i>Litonotus</i> sp.	20		30		
<i>Loxophyllum</i> sp.		40			20
<i>Colpidium campyllum</i>		20			
<i>Chilonella cucullata</i>				120	
<i>Aspidisca costata</i>					380
<i>Vorticella microstoma</i>					380
<i>Monas</i> sp.	150	200	160		
<i>Chilomonas</i> sp.			50	120	
<i>Amoeba</i> sp.	60		40		
<i>Arcella vulgaris</i>			60	150	780
<i>Euglypha</i> sp.				240	
<i>Monostyla</i> sp.			30		40
<i>Phloclina</i> sp.	120	80			
<i>Trichoerca</i> sp.		40			
<i>Chaetogaster</i> sp.		40			
<i>Nais</i> sp.		40			
<i>Rotaria</i> sp.					20
<i>Rhabdolumus</i> sp.	170	120			
<i>Lepadella</i> sp.					180
<i>Macrobrotus macromyx</i>		20			
<i>Sphaerotilus natans</i>	c				c
Fungi		+	+		f

(건조중량 1mg/ℓ의 생물수)

수량부하: 125 ℓ / m² / day, 수온: 20.6°C

처리수질: NH₄-N 2.7mg/ℓ, NO₃-N 3.3mg/ℓ, BOD 2.5mg/ℓ

〈표 12〉 가정수 처리용 회전원판 생물막에 많이 출현하는 원생동물 및 후생동물

생물 막(mg/cm ²)	제1단 및 제2단		제3단 및 제4단	
	출현빈도 (%)	최고출현수 (N/cm ²)	출현빈도 (%)	최고출현수 (N/cm ²)
<i>Vorticella corallaria</i>	75	6,900	70	9,700
<i>Aspidisca costata</i>	40	860	75	1,200
<i>Euplates</i> spp.	70	1,400	50	320
<i>Paramecium caudatum</i>	85	1,100	30	200
<i>Metopus es</i>	55	330	10	320
<i>Metopus variatus</i>	70	3,500	25	880
<i>Caenomorpha medusula</i>	75	230	40	230
<i>Bodo</i> sp.	65	4,600	50	2,600
<i>Pleuromonas jaculus</i>	40	3,900	55	5,100
<i>Arcella vulgaris</i>	70	2,700	50	1,100

〈표 14〉 회전원판(탈질용)의 생물상

생물 막(mg/cm ²)	1 단	2 단	3 단	4 단
	1.84	1.70	0.65	0.44
<i>Vorticella</i> spp.	480	400	970	930
<i>Epistylis</i> sp.	280			
<i>Oxytricha</i> sp.	120	100	280	940
<i>Aspidisca</i> sp.	60			370
<i>Spirastromus</i> sp.	180			
<i>Metopus es</i>	120	40		
<i>Bodo</i> sp.	180	200		
<i>Monas</i> sp.	420	370	520	
<i>Arcella vulgaris</i>	300	200		190
<i>Euglypha</i> sp.	120	50	140	
<i>Amoeba</i> sp.				
<i>Phloclina</i> sp.	160			
<i>Beggiatoa</i>	+	+	r	
<i>Sphaerotilus natans</i>	+	+		

(건조중량 1mg 중 생물수)

수량부하: 70 ℓ / m² / day, 수온: 20.2°C

처리수질: NH₄-N 0.1mg/ℓ, NO₃-N < 0.1mg/ℓ, BOD 4.9mg/ℓ

이상으로 많이 출현한다. 특히 *Philodina*는 생물막 1mg당의 개체수가 최고 2000정도로 관찰되고 있다. 이 외의 윤충류로는 *Trichocerca*, *Cephalodella Rotaria* 등이 출현한다. 선충류는 *Rhabdolaimus*, *Diplogaster*, *Dorylaimus* 등이 출현하고 개체수는 mg당 최고 500이다. 빈모류는 *Chaetogaster*, *Nais*, *Pristina* 등이 생물막 mg당 개체수가 각각 20~500으로 출현하는 경우도 많다. 활성슬러지에 거의 나타나지 않는 곰벌레류, *Microbiotus macronyx*의 출현빈도도 높으며 생물막 mg당의 개체수는 20~200으로 관찰된다.

〈표13〉 및 〈표14〉에서는 탈질을 행하기 위하여 회전원판을 100% 잠수시킨 탈질용 회전원판의 생물상을 보였다. 여기에서는 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 의 3배에 해당하는 「메타놀」을 첨가하고 있기 때문에 1단부터 4단까지 용존산소는 전혀 존재하지 않는다. 그런데도 많은 원생동물 및 후생동물이 출현하고 있다. 질화용 회전원판에 출현하는 *Vorticella*, *Epistylis*, *Carchesium*도 출현하며 용존산소가 낮은 곳을 좋아하는 *Metopus*, *Caenomorpha*, *Paramecium*, *Colpidium*이 흔히 출현한다. 탈질

물이 활성슬러지에 비해 5~10배 용 회전원판도 질화용과 같이 각단에 우점종이 다르며 〈표15〉에 있어서는 1단에 *Carchesium polypinum*, 2단 *Aspidisca lynceus*, 3단 *Vorticella convallaria*, 4단 *Bodo sp.*가 각각 우점종이다.

다. 회전원판 생물막에 있어서 미생물의 층화

회전원판 표면에 생물막이 자라서 두껍게 되면 생물막은 맨 바깥의 호기성층으로부터 기부의 혐기성층까지 몇개의 층이 형성되며 각 층에 알맞는 미생물군이 서식하게 된다. Jones(1980)는 이를 호기성층, Redoxcline층(산화환원躍層), 황산염환원층, 탄산염환원층으로 구분하였다.

1) 호기성 층: 이 층은 생물막 맨 바깥에 형성되며 호기성 타당영양생물이 서식한다. 이 층에서는 탄수화물이 분해되어 물과 탄산가스로 변화된다. ($\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) 즉, 탄소의 제거가 일어난다.

2) Redoxcline층(산화환원躍層): 이 층에서는 산화환원전위가 비약적으로 감소하는 층으로서 질산

환원균 및 탈질세균이 서식한다. 여기에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

$5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2 + 5\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$ 산화환원전위는 200mV~50mV이며, 이 층이하에서는 탈질이 일어난다. 탈질세균에는 *Acinetobacter*, *Gluconobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus* 등이 있다.

3) 황산염 환원층

이 층에서는 황산염이 환원되어 sulfide로 되는데 반응식은 다음과 같다.

$2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 이 층에서는 *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* 등이 서식하며 해양 저지(sediment)에서도 이 층이 현저히 발달한다.

4) 탄산염 환원층

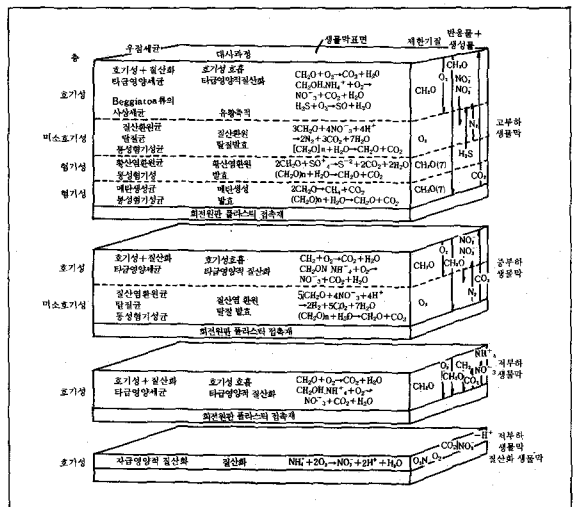
이 층에서는 SO_4^{2-} 의 농도가 낮고 메탄균이 서식하며 탄수화물이 메탄과 탄산가스로 변화된다 ($2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$). 이 층도 역시 해양저지에서 현저히 발달한다.

Kinner(1983)는 회전원판 생물막을 *Beggiatoa*층, 질산염환원·탈질층, 황산염환원층, 탄산염환원층으로 구분하였다. 그녀는 유기물부하

〈표 15〉 혐수미생물 접촉제 생물막의 생물상(일본)

생물막량 (mg / cm ²)	제1단	제2단
	7.0	-
<i>Paramecium caudatum</i>	940	
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	160	
<i>Loxophyllum meleagris</i>	100	
<i>Colpoda cucellus</i>	60	
<i>Cercobodo ovatus</i>	280	
<i>Monas sp.</i>	110	
<i>Pleuromonas jaculans</i>		3,900
<i>Bodo caudatus</i>	280	
<i>Amoeba sp.</i>	60	
<i>Arcella vulgaris</i>		1,900
<i>Philodina sp.</i>	140	3,000
<i>Diplogaster sp.</i>	40	
<i>Cyclops sp.</i>		2,100
<i>Nais sp.</i>		600
<i>Beggiatoa sp.</i>	cc	r
<i>Fungi</i>		+

생물막 1mg 중의 세균수



〈그림 8〉 회전원판 생물막 층화의 모식도

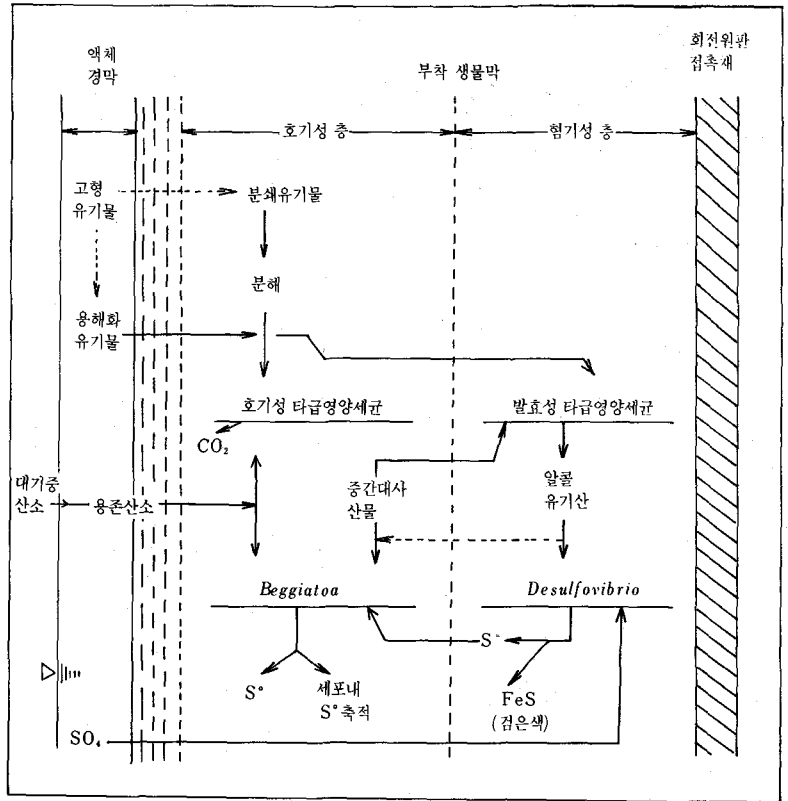
량이 낮을 때는 질산균이 많이 존재하는 호기성층이 형성되며 유기물부하가 높아지면 4개의 층이 모두 존재한다고 하였다. <그림 8>에 회전원판 생물막 층화의 모식도를 보였다.

라. 회전원판 생물막에 있어서 사상세균의 번성

(1) *Beggiatoa*

*Beggiatoa*는 흔히 부하가 높은 생물막에 흰색의 피막을 형성하여 자라며 흰색의 피막밑에는 검은색의 혐기성 층이 존재한다. 이 검은색의 혐기성 층은 황산염 환원균인 *Desulfovibrio* 등이 존재하여 *Beggiatoa*에게 필요한 sulfide(S^{2-})를 공급해주고 *Beggiatoa*는 이를 받아서 황산염, 또는 유황입자(S^0)까지 산화하여 세포내에 퇴적한다. 생성된 sulfide(예: H_2S 가스)는 유독하므로 *Beggiatoa*의 이러한 산화작용은 제독(detoxification)의 기능을 수행한다. 그러므로 *Beggiatoa*의 다량 출현은 반드시 유황환원균이 존재하는 혐기성 층의 존재를 필요로 한다.

생물막이 자라서 두껍게 되면 생물막 내부로의 산소이동이 저해받게 된다. 혐기성 층이 두텁게 되고 생물막 내부에 있어서의 산화환원전위가 감소하게 되면 미생물의 최종 전자수용체는 $O_2(700mV) \rightarrow NO_3^- / NO_2^-(700 \sim 300mV) \rightarrow Mn^{+4}, Fe^{+3}(300mV) \rightarrow SO_4^{2-}(0mV) \rightarrow CO_2(-220mV)$ 로 전화하게 된다. 철과 망간염이 소량 존재하고 황산염이 다량 존재시 저층에서 황산염의 환원과 발효와 동시에 일어난다. 이렇게 되면 발효생성물과 낮은 산화환원전위에 의해 *Desulfovibrio*같은 타급영양적 황산환원균이 서식하게 되며 생성된 sulfide는



<그림 9> *Beggiatoa*가 다량 출현하게 되는 가상적인 기작

외부 층에 서식하는 *Beggiatoa*의 기질로 이용된다. 이러한 관계를 그림으로 표시하면 <그림 9>과 같다.

(2) *Sphaerotilus*

*Sphaerotilus*도 회전원판 생물막에 흔히 출현하는데, 개개의 세포는 $1.0 \sim 3.5 \mu m \times 2.5 \sim 16 \mu m$ 의 크기이며 초(Sheath)로 둘러싸인 사상을 이루며 위분지(false branching)한다. *Sphaerotilus*가 회전원판 생물막에서 번성하는 이유로는 ① 환경이 나쁠때 유주자(free-swimmers)를 형성하여 환경이 좋아질때 다시 사상균체를 이룰 수 있는 점, ② 사상이므로 표면적이 크고, 생물막의 혐기성층 부근에서 호기성층까지 광범하게 분포할 수 있어서 자신에 알맞은 산화환원전

위층에 서식할 수 있으며 낮은 영양분 농도에서도 효과적으로 영양분을 섭취할 수 있는 점 ③ PHB입자를 세포 속에 건물중의 11~22.5%까지 축적할 수 있어서 기아환경속에서도 이를 소모하며 견딜 수 있는 점, ④ 자연수계에서의 최적 번성유속이 $0.18 \sim 0.45 m/sec$ 인데 이것이 회전원판 주변속도인 $0.3 m/sec$ 와 유사한 점 등을 들 수 있다.

<다음호에 계속>

상담 및 문의전화: (0371) 42-6204