

미생물 실험을 이용한 생물학적 폐·하수처리



*** 연재 ***

이 문 호 | 이호환경컨설팅 대표이사

한국과학기술원 생물공학과 이학석사, 국립환경과학원 12년 근무
(95~현재) 이호환경컨설팅 대표
tel. 031-407-8001 | leehojamun@hanmail.net

폐수처리에 관여하는 미생물의 분류

폐수처리장을 운영하는 기술인들의 대부분이 폐수처리의 주역이 미생물이라는 것쯤은 알고 있다. 그러나 어떤 미생물들이 폐수처리에서 어떤 역할을 하며 어느 종류까지가 미생물인지 알지 못하는 분들이 많다. 다음에 폐수처리미생물의 종류와 분류를 살펴보고자 한다.

활성슬러지는 미생물학적으로는 集積培養(enrichment culture)으로서 여러 그룹의 미생물로 구성된 混合培養(mixed culture)이다. 생물량으로 보면 활성슬러지의 95%가 세균이고 나머지 5%정도가 원생동물과 후생동물이 차지한다. 물론 이것은 생물량만 봤을 때이고 활성슬러지라고 전부가 미생물이 아니다. 산업폐수에 따라서는 활성슬러지에서 미생물이 차지하는 비가 60%도 안되는 것도 있다. 활성슬러지에는 죽은 미생물 세포도 있고 무기질도 있고 생명이 없는 고형물, 모래 등도 포함되어 있다.

표-1. 활성슬러지를 구성하는 생물군집

1차 분해균	세균, 방선균, 효모, 곰팡이, 조류
원생 동물	편모충류, 육질충류, 섬모충류
후생 동물	선충류, 윤충류, 원보동물 등

후생동물은 분류학적 미생물이 아니고 동물이나 편의상 활성슬러지미생물과 함께 다루는 경우가 많다

에너지원과 탄소원을 어디서 구하느냐에 따라 미생물을 분류해보면 표-2와 같다. 에너지원은 2가지다. 태양에너지(phototrophy)와 화학물질(chemotrophy)이다. 빛을 에너지원으로 하여 광합성을 하는 미생물은 조류와 광합성세균이다. 광합성세균은 모두 혐기성이다. 폐수처리에서는 lagoon법에서 조류가 이용되지만 우리나라에선 보기 드문 폐수처리공법이다. 유기물을 탄소원으로 하는 광합성세균이 폐수처리에 이용될 수 있지만 현장규모의 처리가 아직 널리 이루어지지 않고 있다.

화학물질중 무기물을 산화시켜 얻어지는 에너지를 이용하고 탄소원으로는 CO₂를 이용하는 균(chemolithotrophy) 중에는 폐수처리에 활용되는 균이 많다. 특히, 질소제거공정에서 질산화에 관여하는 아질산화균과 질산화균이 여기에 해당된다. 에너지를 얻는 무기물은 NH₄⁺와 NO₂⁻이다. 그리고 S와 S₂O₃²⁻를 산화시켜 얻어지는 에너지를 이용하고 역시 탄소원으로는 CO₂를 이용하는 균(황탈질균)도 탈질에 이용하고 있다. 황탈질균은 무산소조건이어야 하는 반면 아질산화균과 질산화균은 산소가 필요하다.

우리가 흔히 BOD제거균이라고 말하는 균은 호기성균(폭기조내 대부분의 균)이고 에너지와 탄소를 유기물로부터 구하는 균이다. 그래야 유기물이 최대한 제거될 것이기 때문이다. 물론 혐기조건에서도 유기물을 제거하는 균이 성장하므로 혐기성폐수처리에 이용할 수 있는데

주로 발효성세균을 이용한다. 유기물분해의 중간과정에서 반응이 끝나고 발효산물이 생산되므로 BOD제거라는 측면에서 보면 호기성보다 효율이 낮고 반응속도 또한 호기성보다 느리다.

표-2. 에너지원, 탄소원에 따른 미생물 분류

에너지원		탄소원	생육조건	미생물	
빛 (1)	CO ₂ (3)		+	남조류(예:Anabaena)	
			-	녹조류(예:Scenedesmus)	
	혐기	S화합물	+	홍색황세균(예:Chromatium)	
	혐기	S화합물	+	녹색황세균(예:Chlorobium)	
	유기물(4)	혐기	+	홍색비황세균(예:Rhodospseudomonas)	
화학물질 (2)	CO ₂ (5)	호기	NH ₄ ⁺	-	아질산화균(예:Nitrosomonas)
			NO ₂ ⁻	-	질산화균(예:Nitrobacter)
			H ₂	-	수소세균(예:Hydrogenomonas)
			Fe ²⁺	-	철세균(예:Ferrobacillus)
		혐기	S, S ₂ O ₃ ²⁻	-	무색황세균(예:Thiobacillus)
	유기물(6)	호기		+	호기적질소고정균(예:Azotobacter)
				-	다수의 호기성세균(예:Pseudomonas)
		무산소	(NO ₃ ⁻ 환원)	-	탈질균(예:Micrococcus)
			(SO ₄ ²⁻ 환원)	-	황환원균(예:Desulfovibrio)
			혐기		+
		-	다수의 발효성세균(예:Aerobacter)		

(1):phototrophy, (2):chemotrophy, (3):photolithotrophy, (4):photoorganotrophy, (5)chemolithotrophy, (6):chemoorganotrophy

(1) 세균

세균을 편의상 형태적으로 구분하여 부르기도 한다. 활성슬러지 검경에서도 세균의 형태적 관찰만으로도 상당히 많은 정보를 얻을 수 있다. 활성슬러지에 주로 나타나는 세균의 형태는 다음과 같다.

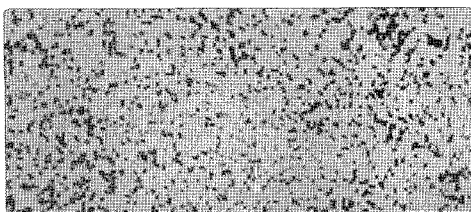


사진-1. 구균(coccus)



사진-2. 간균(bacillus)

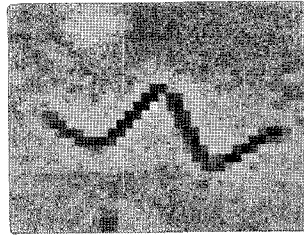


사진-3. 나선균(spirillum)

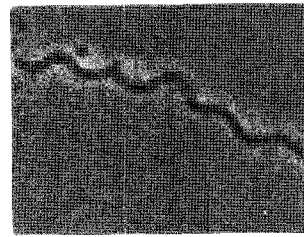


사진-4. 스피로헤타(spirochete)

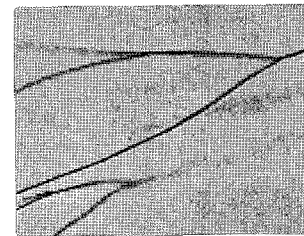


사진-5. 사상체(filamentous bacterium)

다음으로 활성슬러지에 나타나는 세균을 기능적인 면(대사활성)으로 분류하고 많이 사용한다.

종속영양세균	광합성세균
아질산산화균	섬유소분해균
질산산화균	황산화균
탈질균	황산화원균
산생성균	대장균군
메탄생성균	

(2) 기타 1차분해균

활성슬러지에 나타나는 다른 1차분해균은 전부 장해미생물이다. 정상적인 활성슬러지에서는 증식되지 않아야 할 균들이다. 이들 균이 번창하면 활성슬러지에 이상현상이 나타난다.



사진-6. 곰팡이

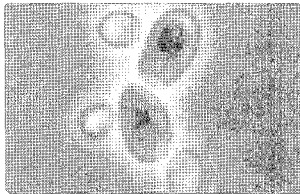


사진-7. 효모



사진-8. 방선균 Nocardia



사진-9. 조류 Oscillatoria

(3) 원생동물

원생동물은 형태적으로 또는 운동성으로 구분이 가능하여 균동정(identification)이 쉽다. 그리하여 폐수처리장에서 지표미생물로 활용되어 폐수처리의 정도(처리효율 등), 폭기조 상태(DO, pH 등), 이상현상 진단(별킹 등) 등에 활용이 많이 되고 있다. 그러나 현장의 기술인들은 원생동물의 동정에 지레 겁을 먹고는 아예 시도조차 하지 않거나 또는 지속적으로 검경을 하지 않게 된다. 그래서 다음에 원생동물의

그림과 실제 활성슬러지에 나타나는 모습의 사진을 비교해봄으로서 좀더 원생동물의 동정이 쉽도록 했다.

원생동물의 생활형태를 보면 3가지가 있다. 플럭 사이를 유유히 헤엄치며 돌아다니는 자유유영형, 플럭 표면을 기어다니는 포복형, 플럭 표면에 붙어서 생활하는 고착형이 있다. 그러나 원생동물에 따라서는 2가지의 생활형태를 함께 하는 것도 있다. 고착형과 자유유영형(Stentor, Podophrya, Vorticella 등), 포복형과 자유유영형(Aspidisca, Trachelophylum, Drepanomonas, Euplotes 등)이 그 예다.

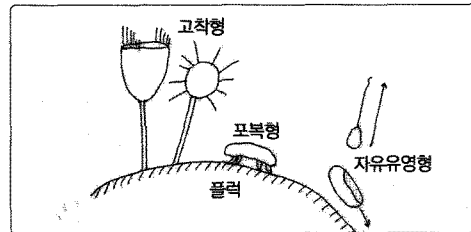
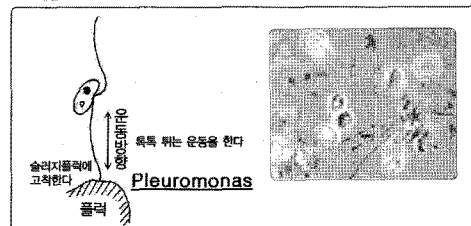
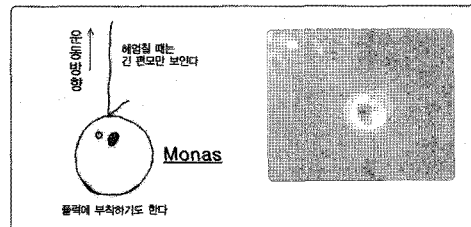
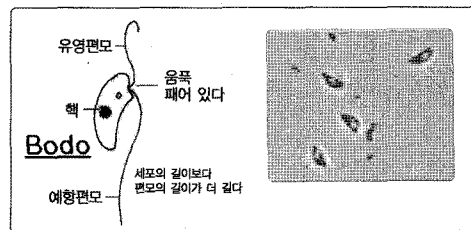
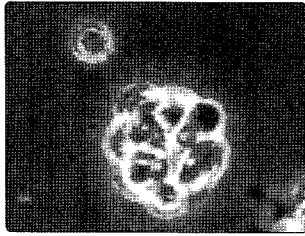


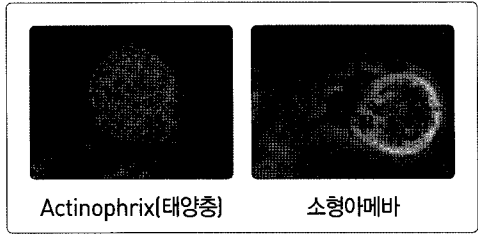
그림-1. 원생동물의 생활형태

1) 편모충류



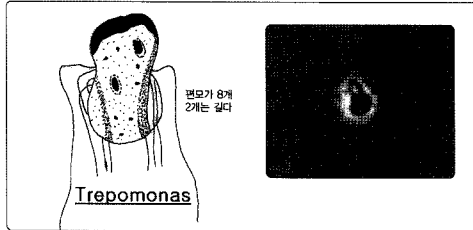


Oikomonas군체

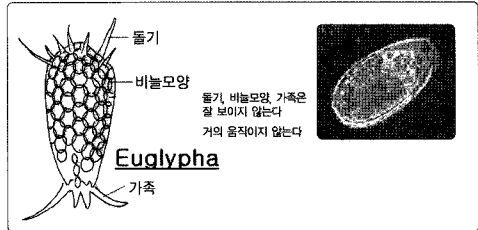


Actinophrix(태양충)

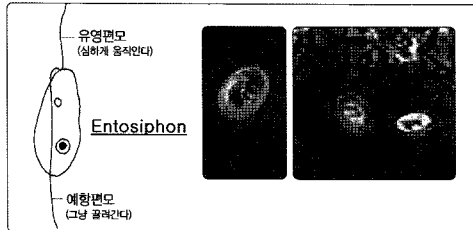
소형아메바



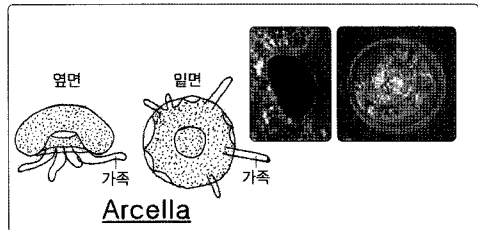
Trepomonas



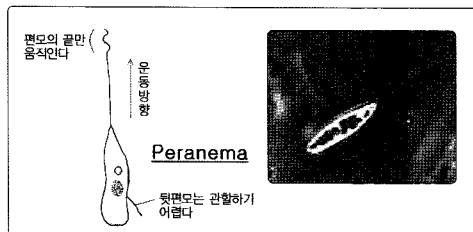
Euglypha



Entosiphon



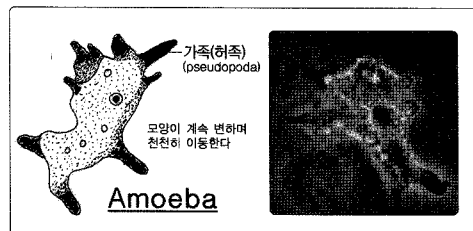
Arcella



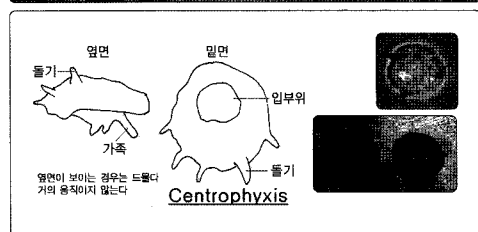
Peranema



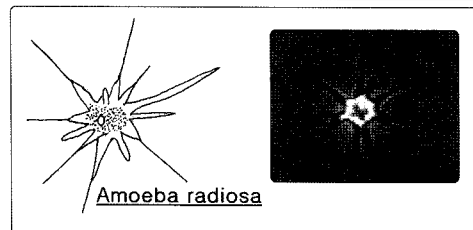
2) 육질충류



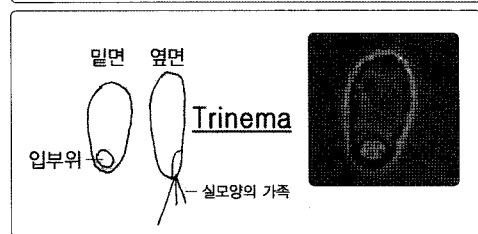
Amoeba



Centrophyxis

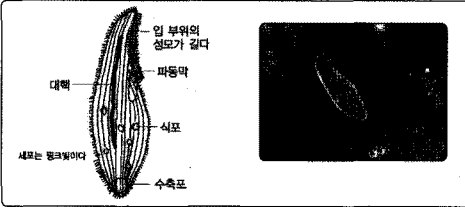
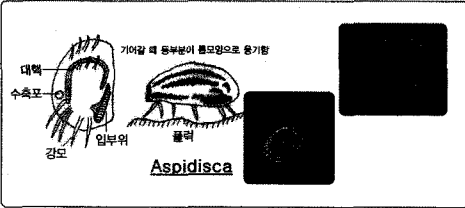
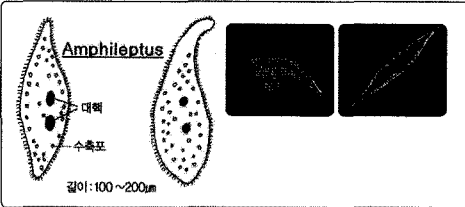


Amoeba radiosa

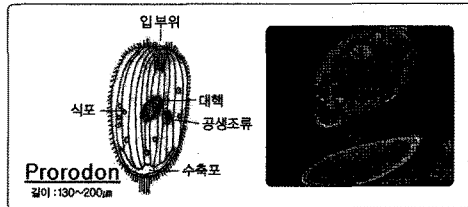
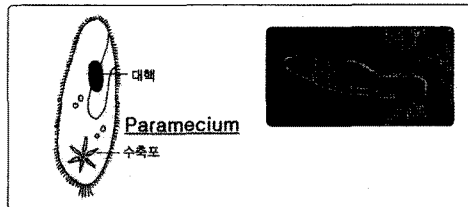
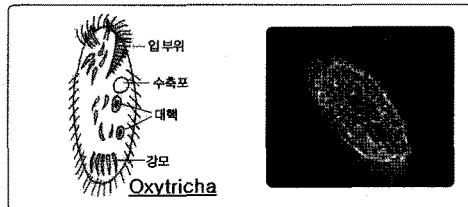
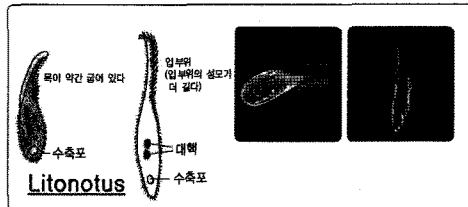
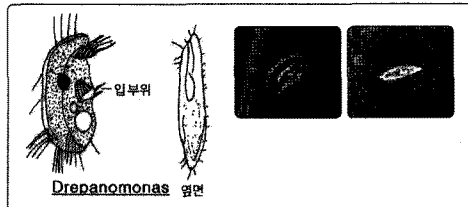
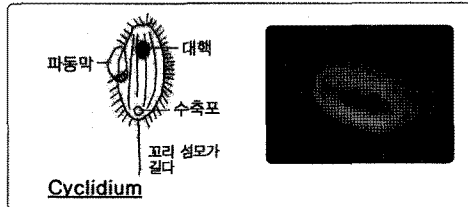
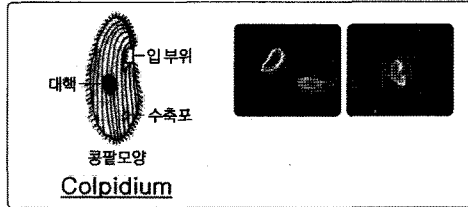
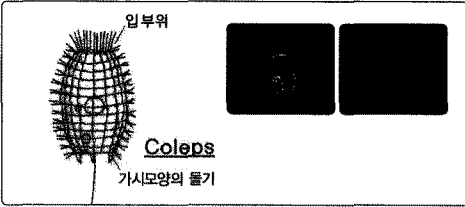
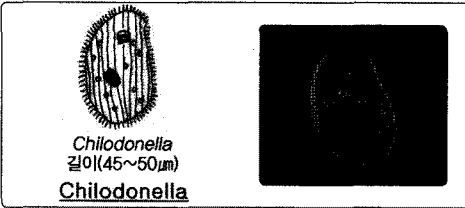
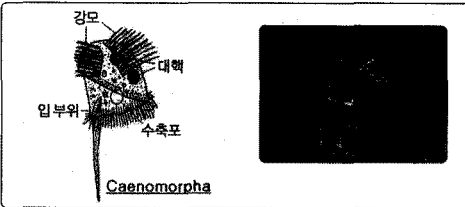


Trinema

3) 섬모충류



* 유영섬모



대핵 — 입부위
Spirostomum
수축포

강모
갑질 (lorica)
Chaetospira
대핵
수축포

입부위
고착했을 때
유영할 때
Stentor
플럭

Epistylis
2분지로 증식
근사가 없으므로 병이 신축하지 않는다

길이와 약간 더 길다 (꽃수염 모양)
Trachelophylum
수축포

흡관은 4곳에 밀집
Multifasciculatum

Trithigmostoma
Trithigmostoma 길이(130~150μ)

고착하기 전
대핵
수축포
흡관
병(病)
플럭

머리섬모
수축포
대핵
기어 다닐 때
플럭
포리섬모

흡관은 세포의 2곳, 4곳에 밀집하고 있다
Tokophrya
Acineta(병이 짧다) Acineta

대핵 — 입부위
Uronema
수축포
포리섬모가 길다

Vaginicola
대핵
투명한 갑질
플럭
플럭
플럭

* 고착성모

Carchesium
— 가지별로 움직인다
근사가 연결되어 있지 않으므로

입부위
대핵
Vorticella
근사 (myoneme)
병(病)은 신축이 가능하다
플럭
섬모활동 중
이분열 중
Opercularia(병이 짧다) 휴면세포(cyst)