

# 폐수처리 미생물

## (네번째)



정재춘 교수  
 (연세대 보건과학대학 환경과학과)

### II. 산화지 미생물

산화지법은 폐수를 연못에 체류시켜 연못의 자정작용에 의해 오염물질을 처리하는 것으로 수중미생물이 관여하며, 특히 조류의 산소생성이 정화작용에 큰 기능을 한다. 본법은 lagoon, 또는 안정화지(stabilization pond)와 같은 의미로도 쓰이나 엄밀하게 말하면 3者は 약간씩 다르다.

일반적으로 산화지는 예비처리, 또는 생물처리를 행한 후, 폐수를 연못에 저류하여 조류의 증식을 수반하는 경우에 쓰이며, 「라군」은 生廢水를 그대로 연못에 유입시키는 경우를 지칭하고, 안정화지는 연못에 폐수를 저류시켜 호기성, 또는 혐기성으로 처리하는 경우에 사용되는 이른바 산화지 및 「라군」을 포함하는 개념이다.

산화지법의 장점으로서는 「① 건설비 및 유지비가 싸다. ② 관리·운용이 쉽다. ③ 각종 공장폐수에 광범하게 적용될 수 있다.」 등이 열

거된다. 반면에 단점으로는 「① 체류시간이 10~50일로 길기 때문에(표준산화지) 넓은 부지면적이 소요된다. ② 모기나 악취가 발생하기 쉽다. ③ 강우량이 적은 조건에서만 효율이 좋다.」 등이 있다.

미국에서는 가정하수의 처리(1962년도 통계)로서 1차 및 2차 처리에 1,304시설, 3차처리에 343시설이 가동되고 있고, 처리대상인구는 430만명에 달한다. 이러한 시설은 대부분이 소규모로서 처리인구 25,000인 이하가 많다. 가정하수용의 산화지는 「캘리포니아」주 및 「텍

### 1. 처리공정의 개요

산화지에는 <표 1>에 보인 것같이 표준산화지와 고속산화지가 있는데, 보통 표준산화지가 많이 사용된다. 표준산화지는 유효수심이 1.5~1.8m정도이고 보통 0.9~1.2m의 수심이 많이 사용된다.

광합성은 수심이 0.9m보다 깊은 곳에서는 일어나지 않으므로 수심이 얕을수록 효과적이다. 그러나 수심이 너무 얕으면 水生植物이 번성하거나 여름에 온도가 지나치게 상승하므로 수심은 최저 0.7m를 확

<표 1> 산화지의 종류

	수심(m)	체류시간(day)	BOD부하(g / m <sup>2</sup> · day)
표준산화지	0.7~1.5	10~50	2~6
고속산화지	0.2~0.3	2~6	10~30

사스」주에 많다. 공장폐수로서는 847개의 시설이 있고(1962년), 31개 업종에 달한다. 이 중 28%가 통출임공장, 21%가 食肉가공공장, 7%가 화학공장이다(porges등, 1963).

보할 필요가 있다. 연못의 밑바닥은 폐수가 침투하기 어려운 토양이 바람직하다. 침투를 방지하기 위해서 「폴리에틸렌·시트」를 까는 수도 있다. 파도에 의한 침식을 방지

하기 위해 2.4m정도의 제방을 연못 주위에 축조하고 제방위에는 작업차가 다닐 수 있도록 한다. 연못내의 흐름이 균일하도록하며 停水域이 있으면 악취발생의 원인이 되므로 연못의 가장자리(岸)는 요철이 없도록 한다. 폐수는 연못의 중심에서, 또는 數個所에서 나누어 유입시킨다. 短絡흐름을 적게하기 위해서는 연못水를 순환시키든가 baffle(仕切版)을 설치하면 좋다.

처리에 가장 중요한 조건은 BOD의 표면적 부하(g/m<sup>2</sup>/day)이다. BOD부하가 2.2g/m<sup>2</sup>/day이하로 되면 악취는 전혀 발생하지 않는다. 겨울에 얼지않는 산화지라면 5.6g/m<sup>2</sup>/day정도의 BOD까지는 만족할만한 결과가 얻어진다. 기후조건이 好適하다면 11g/m<sup>2</sup>/day이상의 높은 부하라도 호기적으로 처리할 수 있다. 체류시간은 30~40일로 잡는 것이 좋다. 1개의 산화지를 사용하는 것보다도 2~3개의 산화지를 직렬로 연결하여 사용할 수도 있다. 증식한 세균 및 조류의 제거효율을 높이고 양호한 처리수를 얻기 위해서는 직렬로 연결한 산화지를 통과시키면 좋다.

호기성을 유지하기 위해서는 조류가 충분히 증식해야 한다. 표면으로 부터의 산소이동보다 광합성에 의한 산소생산으로 부터의 산소이동이 훨씬 크다. 겨울철에 산소생산이 부족할때는 인공적인 포기를 행하든가, 산소원으로서 「질산나트륨」을 투입한다. 산화지에 있어서 산소생산은 0~0.6g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr, 호흡속도는 0.10~0.23g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr정도이다. 산화지에서의 용존산소 농도는 변동이 심하며, 오후가 최고로 높고 아침에 가장 낮다. 수심 1.2m의 산화지에서는 표층과 저층의 용존산소의 차가 30mg/l달할 수도 있다.

BOD제거율은 온도에 따라 크게 좌우되어 여름에 높고 겨울에 낮

며 연간평균은 80%정도인 경우가 많다. 여름에는 98%의 제거율이 얻어질 때도 있다. BOD부하를 0.5~1.0g/m<sup>2</sup>/day정도로 작게하면 처리수의 BOD는 여름이 10~15mg/l, 겨울이 45mg/l정도가 되며 他 호기성처리와 비등한 처리수질이 얻어진다. 석유화학 공장폐수의 처리에 있어서는(BOD부하: 3.1g/m<sup>2</sup>/day)「폐놀」이 97%제거되고 있다.

혐기성처리에 있어서 BOD부하는 20~160g/m<sup>2</sup>/day정도가 된다. 혐기성池로부터의 방류수는 산화池에 유입시켜 2단으로 처리하는 수가 많다. 이러한 경우에는 90%이상의 BOD제거율이 얻어진다.

한냉지의 산화池에서는 얼음이 녹을때 가장 악취가 발생한다. 한냉지의 산화지에 있어서 질소의 제거율은 여름이 80~90%, 겨울에는 6%정도이다. 인은 여름에는 58~80% 제거되나 겨울에는 전혀 감소되지 않는다. 온난한 지역의 산화지에서는, 질소 94~98%, 인 83~92%의 높은 제거율이 얻어진다. 이렇게 산화지는 기후조건에 따라 제거효율이 상당히 달라진다.

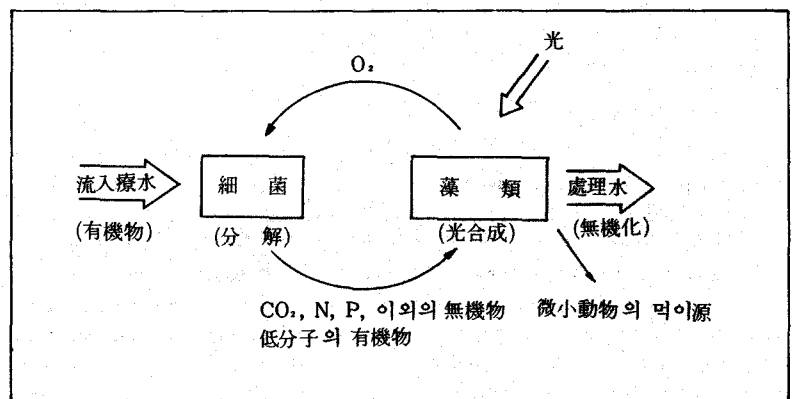
## 2. 정화에 관여하는 미생물

산화지에 있어서는 광합성에 의해 발생한 산소를 세균의 호기성

대사에 이용하기 때문에 정화에 직접적으로 관여하는 생물은 세균과 조류이다. <그림 1>에 보인 것같이 산화지에 있어서 세균과 조류는 공생관계를 보이고 있다.

세균은 조류가 생산한 산소를 이용하여 유입수中の 유기물을 분해한다. 분해산물인 무기물이나 일부 저분자의 유기물은 조류의 영양원이 된다. 생산된 조류는 미소동물 또는 어류의 먹이로 이용되는 것이 바람직하며, 처리수중에 다량으로 유출되어서는 안된다. 산화지의 처리효율은 조류의 수확에 의해 크게 향상된다. 따라서 산화지의 유출수에 대해서 응집·침전 및 부상처리를 행하고 조류를 제거하면 처리수질은 매우 좋아진다(parker 등, 1973). 직렬로 연결한 3池이상의 多段처리를 행하는 경우, 최종池에 어류를 번식시키면, 조류의 잔존량이 적은 방류수가 얻어진다. 번식된 어류는 때때로 산화지에서 채취한다.

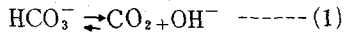
조류는 대부분이 독립영양이므로 산화지에 우점적으로 출현하는 조류는 아미노산, 뇨산, 단당류, 2당류, 유기산 등의 저분자 유기질을 직접 섭취할 수 있다. 대부분의 산화지에 출현하는 Chlorella, Chlamydomonas, Scenedesmus 등은 배양액 중의 영양농도가 높을 때는 필요이상으로 과잉의 인 및 질소를 섭취한다(사치성 섭취). 이 현상은



<그림 1> 산화지에 있어서 세균과 조류의 공생관계

산화지에 있어서 질소 및 인의 제거 효율을 높혀준다(Benson-Evans 등, 1975).

산화지에 있어서 광합성이 활발하게 되면 다음 식과 같이 탄산가스가 소비되기 때문에 OH<sup>-</sup>이온이 생성되어 PH가 상승한다.



따라서 PH가 10~11까지 상승하는 수도 있다. PH가 상승하면 인의 침전 및 암모니아성 질소의 「스트라핑」이 일어난다. 이것은 폐수중의 영양염류가 제거될수록 높아지게 된다. 그러나 PH가 9.0 이상이 되면 세균에 의한 유기질의 분해속도가 저하하는 것도 있다.

표면에 특히 조류가 「매트」狀으로 증식하면 내부에 햇빛이 도달치 못하므로 전체적인 산소생산은 감소하게 된다. *Chlamydomonas* 및 *Oscillatoria* 등의 「스킵」형성에 의해 내부의 산소생산이 감소되는 예가 이것이다. 광합성을 유지하기 위해서는 320~1,070Lux 정도의 조도가 필요하다. 조류농도(건조중량)이 50~400mg/l의 경우 日中에 이러한 조도를 확보하기 위한 수심은 10~60cm이다. 산화지의 저층에서는 광

합성이 수행되지 않고 혐기성층이 형성되어 혐기성 분해가 일어난다.

#### 가. 세균

Pike(1975)는 산화지에서 이제까지 동정된 세균을 정리하여 <표 2>와 같이 요약하였다. 높은 부하로 인해 유화수소를 발생하는 산화지에는 광합성 자색유황세균이 출현한다. 이러한 세균은 최고 10<sup>8</sup>~5×10<sup>9</sup>/ml에 달하는 수도 있다. 이러한 때에는 유기산, 유화물, 황산염의 농도가 현저히 감소한다. 세균은 표면의 조류층보다 하부에 많이 존재한다. 저부의 혐기성층에는 황산염환원균 및 메탄생선균도 존재한다. BOD부하가 낮고 호기성을 유지하고 있는 산화지에는 *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus* 등이 우점종이 되는 수가 많다.

#### 나. 조류

<표 3>에 산화지에 출현하는 조류의 목록을 보였다(Benson-Evans 등, 1975). 어떠한 산화지라도 비교적 다량으로 출현하는 조류는 *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydo-*

*monas*, *Euglena*이다. 일반적으로 산화가 진행되지 않는 산화지에서는 조류가 적으며, 산화의 진행에 따라서 조류의 다양성이 증가한다. 조류의 종과 개체수에는 계절적 消長이 인정된다. 통상 여름철에는 겨울철에 비해 종수, 개체수가 상당히 많다. 겨울철에 있어서 조류의 생산은 여름철의 1/2~1/5 정도인 경우가 많다(예를 들면 冬期: 9kg 건조중량/m<sup>2</sup>/year, 夏期: 19kg/m<sup>2</sup>/year).

*Chlorella*는 분해가 매우 왕성할 때 우점종이 되며 *Chlamydomonas*는 산화가 충분히 진행될때에 우점종이 되는 수가 많다. 조류 개체수가 많은 경우는 1,300,000~4,700,000/ml에 달한다. 조류의 세포용량은 2,000~7,000 μl/l 정도이며 최고 34,700 μl/l가 보고된 바 있다.

산화지에는 남조류(*Cyanobacteria*)가 우점적으로 증식하며 표면에 mat를 형성하는 것도 있다.

*Oscillatoria*, *Phormidium* 등이 증식할 때에는 돼지우리 냄새가 난다.

산화지에 보통 출현하는 조류를 <그림 2>에 보였다.

Dust(1970)는 Trinity River Authority의 처리장(텍사스 주)에 있어서 64ha되는 산화지의 조류종과 염류소a를 70주에 걸쳐서 조사하였다. 이 처리장은 114,000m<sup>3</sup>/day(처리인구 240,000人)의 가정하수를 고속살수여상으로 처리한 후, 그 처리수를 산화지로 유입시키고 있다. 조류개체수의 週間평균은 50만~500만/ml의 범위였다. 실험기간중에 다수 출현한 조류는 *Oocystis*, *Anacystis(Microcystis)*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Desmids*, *Coelastrum*, *Zygenema*, *Closterium*의 8종이었다.

#### 다. 원생동물

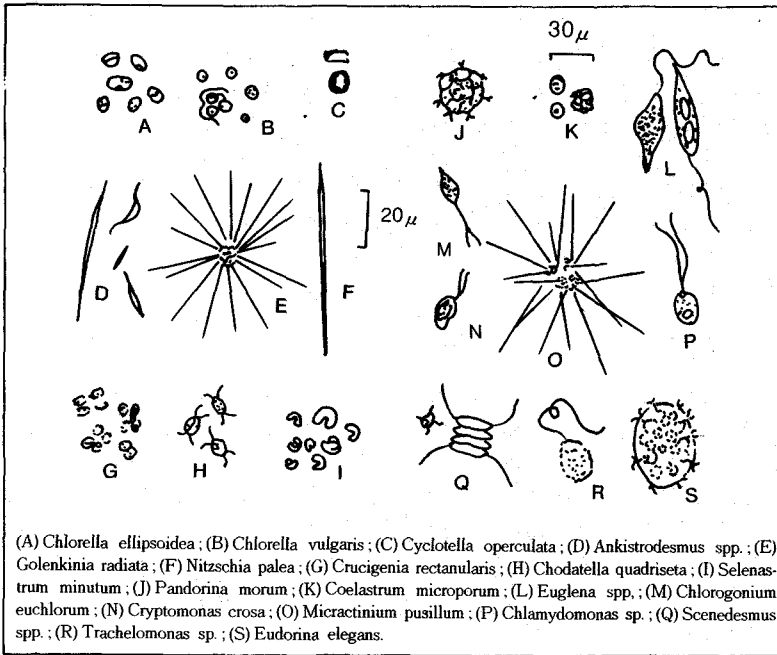
산화지에는 식물성 편모충인

<표 2> 산화지에 출현하는 세균

*Micrococcus*, *Escherichia*, *Serratia marcescens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Thiopedia rosea*, *Chromatium*, 홍색-황색세균, *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Streptococcus faecalis*, *Thiocapsa floridana*, *Chromatium vinosum*, 황산염속원세균, *Thiospirillum*, *Thiopedia*, *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megatherium*, *Micrococcus luteus*, *Sarcina lutea*, *Sarcina urea*, *Azotobacter*, 밀소고정능이 있는 *Pseudomonas* (Pike, 1975)

<표 3> 산화지에 출현하는 조류 (Benson-Evans 등, 1975)

*Merismopedia*, *Microcystis*, *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Arthrospira*, *Phormidium*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Cylindrospermum*, *Plectonema*, *Navicula*, *Amphora*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Hantzschia*, *Chlamydomonas*, *Polytoma*, *Gonium*, *Pandorina*, *Eudorina*, *Carteria*, *Chlorogonium*, *Chlamydotryps*, *Spondylomorom*, *Tetraspora*, *Characium*, *Hydrodictyon*, *Chlorella*, *Radiococcus*, *Golenkinia*, *Microactinium*, *Oocystis*, *Ankistrodesmus*, *Closteriopsis*, *Aetinastrum*, *Selenastrum*, *Kirchmeriella*, *Crucigenia*, *Tetrastrum*, *Scenedesmus*, *Coelestrum*, *Sphaerocystis*, *Stigeoclonium*, *Chaetopeltis*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Zygenema*, *Euglena*, *Lepocinelis*, *Phacus*, *Trachelomonas*, *Cryptomonas*



(A) *Chlorella ellipsoidea*; (B) *Chlorella vulgaris*; (C) *Cyclotella operculata*; (D) *Ankistrodesmus* spp.; (E) *Golenkinia radiata*; (F) *Nitzschia palea*; (G) *Crucigenia rectangularis*; (H) *Chodatella quadriseta*; (I) *Selenastrum minutum*; (J) *Pandorina morum*; (K) *Coelastrum microporum*; (L) *Euglena* spp.; (M) *Chlorogonium euchlorum*; (N) *Cryptomonas crosa*; (O) *Microactinium pusillum*; (P) *Chlamydomonas* sp.; (Q) *Scenedesmus* spp.; (R) *Trachelomonas* sp.; (S) *Eudorina elegans*.

〈그림 2〉 산화지에서의 출현빈도가 높은 종류(Porges 등, 1963)

*Euglena* 등이 다수 출현하며 Bodo, *Cercobodo*, *Oikomonas*, *Anthophysa* 등의 동물성 편모충류도 부하가 높은 산화지에는 다량으로 출현한다. 섬모충류는 他 호기성처리보다 중수, 개체수 모두 적다. *Cyclidium Citrullus*, *Phascalodon Vorticella*, *Vorticella* SP., *Strombilidium humile* 등이 흔히 출현한다. *Cyclidium citrullus* 는 1000/ml에 달하는 수도 있다 (Curds, 1975).

#### 라. 후생동물

윤층은 *Bdelloidea* (·型目)에 속하는 것은 적고 *Monogononta* (單生殖巢目)에 속하는 것이 많다. 즉 *Brachionus*, *Keratella*, *Colurella*, *Lepadella*, *Lecane*, *Notommata*, *Asplanchna*, *Filina* 등의 출현빈도가 높다 (Doohan, 1975).

산화지의 底泥에는 각다구 (*Chironomidae*)의 유충이 존재한다. 이러한 유충은 조류나 底泥의 미생물을 먹고 성장하여 羽化하여 산화지로부터 이탈하므로 폐수로부

터 영양물질을 제거한 셈이 된다. 산화지가 겨울에 혐기성으로 되면 각다구의 생식이 불가능하게 되어 각다구에 의한 영양물질의 제거는 기대할 수 없다. 각다구의 羽化에 의한 영양물질 제거량은 정량적으로 파악되어 있지 않다. 각다구의 유충은 이른 봄에 400/m<sup>2</sup>, 늦은 가을에는 10,000/m<sup>2</sup> 정도 존재한다 (Porges, 1963).

枝角類도 다량으로 출현하며 *Moina*, *Simocephalus*, *Daphnia* 등이 흔하다. Loedolff(1964)는 남아프리카에 존재하는 3단의 산화지에 있어서 枝角類의 消長과 그 역할에 대해 고찰하고 있다. 제 1단에는 *Moina dubia*가 많았고 제 2단, 제 3단에서는 *Daphnia magna*가 다량으로 출현하였다. 中秋에는 3池에 모두 *Ceriodaphnia rigaudi*가 출현하였다. 이른 봄에는 *Simocephalus exspinosus*가 출현하였고 中春에는 제 2단, 제 3단에 *Alona diaphona*가 출현하였다. 枝角類의 개체수는 상당한 계절적 변동이 있었다.

이러한 枝角類는 산화지에 있어서 SS 및 미생물(세균, 조류)을 섭취하여 제거하므로 처리수의 탁도를 감소시킨다. *Moina dubia* 1000개체로 실험한 결과에 의하면 10시간 처리로 明所에서는 79%, 暗所에서는 75%의 탁도가 감소하였다는 보고가 있다.

### Ⅲ. 생물막 미생물

#### 1. 생물막법의 원리

생물막법은 어떠한 접촉재 표면에 형성된 생물막을 이용하여 오염물질을 제거하는 폐수처리의 한 방법이다. 이에 크게 호기성 생물막법과 혐기성 생물막법이 있다. 이러한 생물막은 영양물질과 세균, 균류, 원생동물, 후생동물이 혼합 존재하는 하나의 생태계이며 이 중 세균이 오염물질의 제거에 가장 중요하다고 알려져 있다.

세균이 어찌서 가장 중요한가 하면 이것이 생물막에 존재하는 미생물 중 가장 많이 존재하며 주로 이들의 대사작용에 의해 유기성 탄소화합물이 탄산가스와 물로 분해되기 때문이다.

생물막에는 세균외에도 균류, 조류, 원생동물, 후생동물 등이 존재하는데 이들도 유기성 탄소화합물의 분해에 어느정도 공헌하며, 특히 원생동물 및 후생동물은 세균을 포식하므로써 과잉의 생물막 성장을 제어하고 슬러지의 발생량을 감소시킨다.

#### 2. 생물막 형성기전

미생물은 일정한 접촉 표면이 주어지면 이에 부착하여 생물막을 형성하는데 이러한 부착은 다음의 2 단계로 구분된다.

가. 가역성 부착: 이 단계는 접촉면이 주어진 후 처음의 몇 초 동

안에 표면에 약하게 부착하는 것을 말한다. 이 단계에서는 약한 세척으로도 접촉면에서 떨어진다.

나. 비가역성 부착: 이 단계는 가역성 부착이 있는 후, 시간이 경과하여 단단하게 부착하는 단계를 말한다. 이때는 일종의 "시멘트 물질"이 관여하여 접촉면에 단단하게 부착하게 되고 그 위에 미생물들이 계속 "시멘트 물질"에 의해 서로 간에 접촉하여 점점 더 두꺼운 생물막이 형성된다. 이 "시멘트 물질"은 분자량이 2000~5000의 세포외 생성 다당류(extracellular polysaccharide)로서 "산성 점액성 다당류", "多陰이온성 탄수화물"이라고도 불려진다.

1969년 Jones등은 생물막의 단면을 전자현미경으로 관찰했던 바 "세포외 생성 다당류"는 선상, 또는 망상형 구성을 하고 있음을 보



(그림 1) 7일간 경과된 생물막의 전자현미경 사진

AS: 인공접촉재표면 M: 미생물 생물막이 접촉재표면과 평행한 선상 또는 망상구조를 하고 있다.



(그림 2) 포도당과 인공해수로 형성시킨 생물막의 현미경 사진

PP: 1차 다당류 SP: 2차 다당류 세포주위에 빈공간이 보인다.

았다(그림 1). 그는 이 세포외 물질을 세포막 바로 외곽에 있는 1차 다당류와 세포막에서 떨어진 곳에 존재하는 2차 다당류로 구분했으며, 그 중간에 빈 공간(Voids)이 있음을 발견하였다(그림 2). 이 빈 공간의 기능은 잘 알려져 있지 않으며 세포에 대해 완충, 또는 보호역할을 하는 미세환경지대로 추측된다.

### 3. 생물막 부착 촉진 및 억제인자

가. 촉진인자: 생물막의 부착을 촉진시키는 인자에 대해서는 별다른 연구가 진행된 것이 없으나  $Ca^{++}$  이온과  $Mg^{++}$  이온이 접촉면과 미생물 사이의 가교(bridge)를 형성하여 비가역성 부착에 관여한다는 것이 알려져 있고 「폴리머」(Polymer)로 접촉면을 「코팅」(coating)시키면 일반적으로 부착이 촉진된다고 한다.

나. 억제인자: 생물막의 부착을 억제하는 물질에는 Periodate (EDTA와 함께), NaOH, 음이온·비이온 세척제, 킬레이트제, 산화제, 단백질변성제 등이 있다.

또한, 전단력이 너무 작용하거나 독성물질이 유입되면 부착돼 있던 생물막의 탈락이 발생하는데 어떤 경우에는 플라스틱 접촉면 제조과정에서 제품속에 중금속 등 유해물질이 함유되어 생물막의 탈락을 일으키는 경우도 있다.

### 4. 살수여상법(Trickling filter)

가. 처리공정의 개요

본 법은 영국에서 1893년부터 수년간 거치른 여재에 하수를 살수하는 실험을 반복하여 하수를 정화하는데 성공하였고, 1900년 초기부터 살수여상법으로서 각국에 채용되었다. 초기에는 濾材로서 쇠석(자갈)이 많이 사용되었으나, 현재에는 플라스틱 제품(Flocor, Surf-pac), 활성탄, 대나무 조각, 고기 그물, 조개껍데기, 스폰지 등도 사

용된다.

폐수를 여재에 살수해주면 여재 표면에 미생물에 의한 생물막이 형성된다. 처리에 충분할 정도의 생물막이 형성되려면 여름에는 1개월, 겨울에는 2~3개월 정도 걸린다. 일단 생물막이 형성되면 살수된 폐수가 여재상부에서 하부로 흘러 내릴 때 생물막에 있는 미생물이 폐수속에 함유된 유기오염물을 흡수·흡착하여 제거하며 생물막은 계속 성장하게 된다. 생물막이 계속 성장하여 두꺼워지면 생물막 내부에 혐기성 층이 증대한다. 이렇게 되면 이곳에서는 유기물질이 혐기성으로 분해하고 혐기성 층에서 증식된 미생물의 일부도 분해되어 생물막은 기반에서 탈락되고 새로운 생물막이 형성되기 시작한다. 이러한 탈락(sloughing)은 봄과 가을에 대량으로 일어나서 처리효율이 급격히 떨어지게 된다. 보통 산소가 침투할 수 있는 생물막의 깊이는 2~3mm로 알려져 있다.



(그림 3) 회전살수기를 비치한 살수여상의 모식도

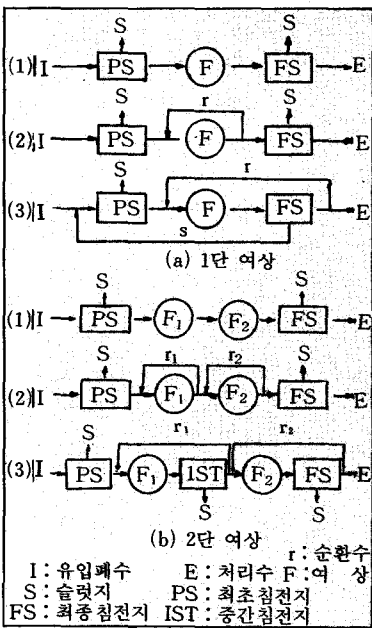
나. 기초설계지표

#### (1) 반송수

살수여상은 표준살수여상과 고속살수여상으로 대별된다. 표준살수여상은 초기의 살수여상으로서 5~20분간의 휴지시간을 두고 살수하며 반송수의 순환은 보통 행하지 않는다. 수량부하는  $1\sim 4m^3/m^2/day$ , BOD부하는  $0.1\sim 0.4kg/m^3/day$ 를 표준으로 한다. BOD제거율은 80~90%이며 고속살수여상에 비해, 질화가 진행된 처리수가 얻어진다. 또한, 본 법에서는 여상파리가 발생하는 수가 많다.

고속살수여상에서는 수량부하 5~40m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day(20m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day가 표준임), BOD부하가 0.5~2.5 kg/m<sup>3</sup>/day(1.2kg/m<sup>3</sup>/day가 표준임)이다. 본 법은 연속살수를 원칙으로 하며 높은 처리효율을 얻기 위해 처리수를 반송하여 재살수시키는 것이 보통이다. 이 과정에서 많은 에너지가 소요되는데 이것이 고속살수여상이 가진 단점의 하나이다.

여러가지 살수여상의 흐름도를 (그림 4)에 보였다.



(그림 4) 살수여상의 흐름도

(2) 濾材

여재의 직경은 표면적과 공극율을 결정한다. 직경이 작아지면 표면적이 커지고 지나치게 작아지면 막힘의 원인이 된다. 여재는 장기간의 풍화에도 약화되지 않는 내구성이 있어야 하며, 가볍고 걸보기 체적에 대한 표면적 및 공극율이 커야 한다. 「플라스틱」 여재는 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있으며, 근래에 와서는 각종 형상의 여재가 개발되고 있다(표 1).

Flocor는 폴리비닐 클로라이드,

Surfpac은 폴리스틸렌 재질로 되어 있다. Flocor는 비중 1.46이며 생물 화학적으로 불활성이다. 10매의 평판과 10매의 파판을 번갈아 접착하여 만든 것으로 크기는 120×60×60cm, 1개의 중량은 16.8kg(35kg/m<sup>3</sup>)이다. 이 플라스틱 여재를 쌓아 올렸을 경우 3ton/m<sup>2</sup>의 가중에 견딘다. 쇄석(자갈)을 이용한 여상은 깊이가 2m정도이나 「플라스틱」 여재는 가볍기 때문에 8m정도까지 쌓아올릴 수 있다. 그러므로 부지소요가 적고 쇄석보다 단위용량당 BOD제거가 크다.

(3) 플라스틱 여상의 높이

「플라스틱」여재는 가볍고 공극율이 높기 때문에 여상을 상당히 높힐 수가 있다. 그러나 너무 높히면 폐색등의 장애가 일어나므로 보통 3~6m정도로 한다(쇄석(자갈)여상은 2m정도가 표준이다). 또한, 고부하의 경우는 탈락오니량이 많기 때문에 여상의 높이는 3~4m가 적당하다.

(4) 기타

기타의 운전조건은 활성「슬러지」

(표 1) 각종 여재의 성장

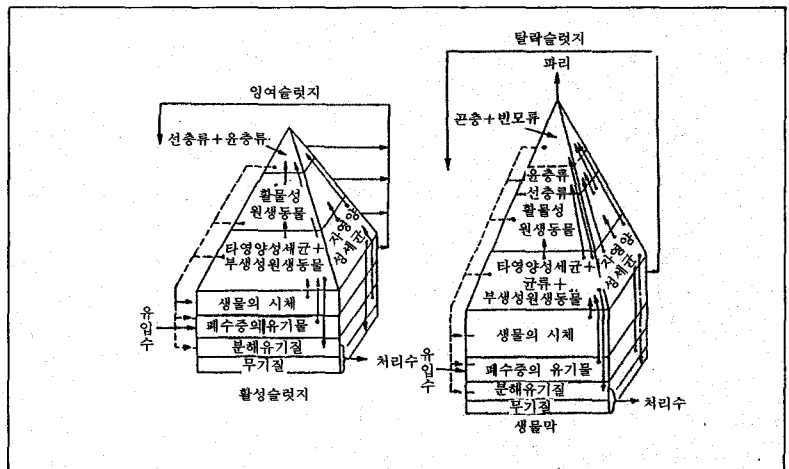
여재의 종류	중량(kg/m <sup>3</sup> )	표면적(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	공극율(%)
비석(직경6cm)	1,300	110	45
프라스틱(Flocor)	39	88	97
프라스틱(Surfpac)	64	85	94

법과 거의 동일하다. 환경조건외 변동에 있어서는 활성슬러지법에 비하여 강한 편이다. 저온에 있어서는 활성슬러지법보다 영향을 적게 받으나, 10°C이하로 되면 처리효율이 저하하게 된다. 그러므로 추운 지방에서는 처리시설을 옥내에 설치하거나 뚜껑을 설치하여 보온해야 한다.

다. 살수여상에 출현하는 생물군 살수여상에 출현하는 생물군은 활성오니와 크게 다르지 않다. 다만, 살수여상표면에 햇볕이 들기 때문에 그 부분에 조류가 출현하며 사상균류나 사상세균이 다량으로 출현한다. 또한 선충류, 윤충류, 빈모류, 곤충류 등의 후생동물이 자주 출현하여 활성「슬러지」보다 종류수가 훨씬 많으며 먹이연쇄도 길고 복잡하다. (그림 5)에 활성오니와 생물막의 먹이연쇄 모식도를 보였다.

(1) 세균

다음과 같은 세균들이 보고되었다; *Zoogloea ramigera*, *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa alba*, *Thiobacillus*,



(그림 5) 활성오니와 생물막의 먹이연쇄 모식도

*Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Chromobacterium*, *Sarcina*, *Streptococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Paraclobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*  
(2) 균류(Fungi)

*Sepedonium*, *Subbaromyces splendens*, *Ascoidea rubescens*, *Fusarium aquaeduetuum*, *Geotrichum candidum*, *Trichosporon cutoneum* 등이 자주 출현하고, 기타 *Phoma*, *Leptomitus lacteus*, *Pythium gracile*, *Rhodotorula*, *Mucor*, *Saprolegnia* 등도 출현한다.

균류는 활성오니와 달리 항상 서식하고 영양 및 생식장소에 대해 세균과 경합한다. 균류가 지나치게 우세하면 생물막이 바후하여 여상의 폐색, 악취 등이 발생한다. 균류가 우점적이 되는 조건으로서는 ① 온도 ② PH, ③ 폐수의 성상, ④ 부하 등이 생각된다. 일반적으로 생물막중에서는 세균이 우점적이 되어야 좋다.

살수여상은 동기에 균류에 의한 생물막이 비후가 발생하는 수가 많다. 이는 균류중에 타 미생물보다 증식 최적온도가 낮은 것도 있으며, 저온이 되면 원생동물 및 후생동물의 포식활성이 저하되기 때문인 것 같다.

PH가 5.0이하로 되면 *Geotrichum candidum*이 우세하게 된다는 보고가 있다. 즉, PH가 낮은 폐수는 균류가 증식하기 쉬우며, C/N 비가 높은 폐수, 즉 탄수화물이 다량으로 포함된 폐수는 세균보다 균류가 우세하기 쉽다. 또한, BOD부하가 높은 경우도 균류의 증식을 촉진하기 쉽다. 플라스틱여상에서는 BOD부하가 3.0kg/m<sup>2</sup>/day 이상이 되면 균류가 번성하여 여상폐색의 위험이 있다고 한다.

여상이 폐색되어 연못화(ponding)가 일어나는 경우에는 ① BOD 부하를 낮춘다, ② 처리수의 순환

〈표 2〉 살수여상 생물막에 존재하는 조류

CHLOROPHYTA	
Volvocales	<i>Chlamydomonas</i> spp.
Chlorococcales	<i>Chlorococcum humicolum</i> (Naeg.) Rabenh. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Characium</i> sp. <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Chiek. <i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck <i>Chlorella</i> sp. <i>Oocystis parva</i> West. <i>Oocystis</i> sp. <i>Ulothrix tenuissima</i> Kuetz. <i>Ulothrix</i> sp. <i>Hormidium flaccidum</i> (Kuetz.) A. Br. <i>Monostroma</i> sp. <i>Stigeodinium nanum</i> Kuetz. <i>Stigeodinium tenue</i> Kuetz. <i>Stigeodinium</i> sp.(coccoid stage) <i>Stigeodinium</i> sp. <i>Chaetophora pisiformis</i> (Roth.) Agardh.
Ulotrichales	
Ulvales	
Chaetophorales	
EUGLENOPHYTA	
Euglenales	<i>Euglena</i> spp.
CYANOPHYTA	
Chroococcales	<i>Microcystis aeruginosa</i> Kuetz. ( <i>Anacystis montana</i> (Lightf.) Drouet and Daily) <i>Oscillatoria limosa</i> (Agardh.) Kuetz. <i>Phormidium tenue</i> (Menegh.) Gomont <i>Phormidium uncinatum</i> (Agardh.) Gomont <i>Phormidium</i> sp. <i>Anabaena</i> sp. Bory. <i>Amphitrix janthina</i> (mont.) Bonn. and Flah. <i>Amphitrix janthina</i> (var. <i>torulosa</i> (Grun.?)
Oseillatoriales	
CHRYSTOPHYTA	
Chryomonadales	<i>Synura uvella</i> Ehren. <i>Melosira</i> sp. <i>Diatoma hiemale</i> (Lyng.) Heiberg <i>Amphora ovalis</i> Kuetz. <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehren.) Grun. <i>Navicula cryptocephala</i> Kuetz. <i>Navicula gracilis</i> Ehren. <i>Navicula lanceolata</i> (Agardh.) Kuetz. <i>Navicula minima</i> Grun. <i>Navicula platystoma</i> Ehren. <i>Navicula pusilla</i> W. Smith <i>Nitzschia palea</i> (Kuetz.) W. Smith <i>Nitzschia palea</i> (var. <i>kuetzingiana</i> Hilse.?)
Centrales	
Pennales	

(Benson-Evans 등, 1975)

비를 높인다, ③ 표면을 걷어낸다, ④ 고압수에 의해 세정한다, ⑤ 염소수로 처리한다. ⑥ 가능한 한 PH가 중성이 되도록 운전·조작한다. 등의 대책을 시행한다.

(3) 조류

살수여상, 회전원판, 여상 모두 햇빛을 받는 부분에는 조류가 발생한다. 조류가 발생하는 장소는 표면에 한하기 때문에 폐수의 정화에 대해서 큰 역할은 하지 않는다고 생각된다. 광합성에 의한 산소의 발생, 영양염류의 섭취 등은 전체 정화에서 차지하는 비율을 생각할 때 별로 큰 것이 못된다.

살수여상에 보통 출현하는 조류에는 *Chlorella*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Stigeodinium*, *Ulothrix* 등이 있다.

Benson-Evans 등(1975)이 살수여상에 출현하는 조류를 정리한 것이 <표 2>이다.

(4) 원생동물

원생동물은 다량으로 출현하며 활성오니보다 종류가 풍부하다. 살수여상의 원생동물, 개체수는 생물막 1ml중, 육질류가 100~4,600개체, 편모충류가 200~13,000개체, 섬모충류가 500~10,000개체 정도인 경우가 많다. 종류, 개체수 모두 섬모충류가 접하는 비율이 크다

「나가시마」(1959)는 원생동물중, 섬모충류의 종류수가 50% 이상, 개체수로서는 60% 이상을 접하며, 30분 침전시킨 생물막 1ml당 *Carchesium*, *Zoothamnium*, *Opercularia*, *Epistylis* 등의 섬모충류가 100,000개체 정도 존재한다고 보고하였다.

Curds 등(1975)은 살수여상에 출현하는 원생동물에 대해서 보고된 4개의 문헌을 정리하여 가장 출현빈도가 높은 원생동물을 요약·정리하였다. 이 결과와 「나가시마」(1959)의 조사결과를 <표 3>에 보았다. 편모충류에는 *Oikomonas ter-*

*mo*, *Notosolenus orbicularis*, *Pernanema trichophorum*, *Bodo caudatus*, *Cercobodo crassicauda*, *Trepomonas agilis*, *Pleuromonas jacularis* 등의 출현 빈도가 높다. 육질류에는 *Amoeba*, *Vahlkampfia*, *Arcella* 등의 출현빈도가 높은데, 모든 생물막에 존재하는 것은 *Arcella vulgaris*이다.

Curds 등(1970)은 영국의 살수여상을 광범위하게 조사한 바, 생물막 중에서 緣毛目(Peritrichida)과 裸口目(Gymnostomatida)이 가장 중요한 섬모충류라고 보고하였다. 이러한 섬모충류를 출현빈도가 높은 순으로 들면 *Opercularia microdiscum*, *Carchesium polypinum*, *Vorticella convallaria*, *Chilodonella uncinata*, *Opercularia coartata*, *Opercularia phryganeal*, *Vorticella striata var. Octava*, *Aspidisca costata*, *Chinetochilum margaritaceum*이다.

(다음호에 계속)

상담 및 문의전화 (0371) 42-6204

<표 3> 살수여상에 출현빈도가 높은 원생동물

CLASS	BARKER (1942)	BARKER (1943)	CURDS AND COCKBURN (1970)	FRYE AND BECKER (1929)	중도 (1959)
PHYTOMASTIGOPHOREA	<i>Monas</i> sp. <i>Oikomonas</i> sp.	<i>Oikomonas termo</i> <i>Notosolenus orbicularis</i>	<i>Peranema trichophorum</i>		
ZOOMASTIGOPHOREA	<i>Bodo</i> sp. <i>Cercobodo</i> sp. <i>Trepomonas</i> sp. <i>Pleuromonas</i> sp.	<i>Pleuromonas jacularis</i>	<i>Bodo caudatus</i> <i>Trepomonas agilis</i>	<i>Bodo</i> sp. <i>Cercobodo</i> sp.	<i>Bodo</i> <i>Oikomonas</i>
RHIZOPODEA	<i>Amoeba</i> sp. <i>Vahlkampfia</i> sp. <i>Arcella</i> sp. <i>Euglypha</i> sp.	<i>Amoeba guttula</i> <i>Vahlkampfia limax</i> <i>Arcella vulgaris</i> <i>Cochliopodium bilabosum</i> <i>Trinema lineare</i>	Small amoebae <i>Arcella vulgaris</i>	<i>Naegleria gruberi</i> <i>Vahlkampfia albida</i> <i>Vahlkampfia limax</i> <i>Arcella vulgaris</i> <i>Chlamdophrys</i> sp. <i>Euglypha alveolata</i>	<i>Arcella</i>
CILIATEA	<i>Carchesium</i> sp. <i>Chilodonella</i> sp. <i>Cinetochilum</i> sp. <i>Cydidium</i> sp. <i>Opercularia</i> sp. <i>Uroticha</i> sp.	<i>Carchesium polypinum</i> <i>Chilodonella uncinata</i> <i>Cinetochilum margaritaceum</i>	<i>Aspidisca costata</i> <i>Carchesium polypinum</i> <i>Chilodonella uncinata</i> <i>Cinetochilum margaritaceum</i> <i>Opercularia coartata</i> <i>Opercularia microdiscum</i> <i>Trachelophyllum pusillum</i> <i>Vorticella convallaria</i> <i>Vorticella striata var. octava</i>	<i>Colpoda</i> sp. <i>Uronema</i> sp.	<i>Carchesium</i> <i>Opercularia</i> <i>Epistylis</i> <i>Vorticella</i> <i>Zoothamnium</i>

(Curds 등, 1975 : 중도, 1959)