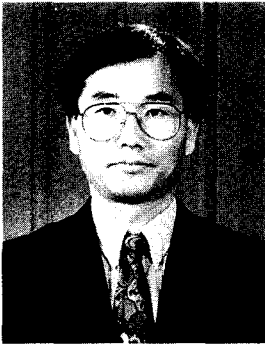


# 유기성 폐수처리와 유용미생물의 이용



권 기 석

〈생명공학연구소 선임연구원〉

## ■ 目 次 ■

1. 서론
2. 생물학적 처리 시작
3. 폐수처리 미생물
4. 벌킹(Bulking)
5. Xenobiotics의 생물학적 처리
6. 폐수처리와 생물공학의 응용
7. 결론

## 1. 서론

산업현장에서 발생하는 유기성 폐수는 생분해성 유기물, 휘발성 유기화합물, 난분해성 유기물과 부유고형분 그리고, 영양염류(질소, 인) 등으로 구성되어 있으며, 폐수처리 공정을 통해 폐수 내 유기함량을 감소시키고 지표수 및 지하수의 오염을 저감시키기 위한 영양염류의 제거 등을 폐수의 처리목적으로 하고 있다(1, 2).

유기성폐수의 처리에는 인공적으로 물의 자정작용의 효율성을 높이는 방법이 광범위 하게 보급되고 있고 이것을 생물학적 처리라 불리워지고 있다. 일반적으로 생물학적 처리에 의한 방법으로는 활성오니법, 생물막법, 안정화지법등의 호기성 처리와 소화법등의 혐기성 처리로 구분할 수 있다. 최근, 영양염류의 제거 및 단백질원의 회수를 목적으로 한 생물학적 처리도 개발되고 있다. 일반적으로 생물학적 처리에는 세균, 균류, 원생동물, 미소후생동물등 다종다양한 미생물이 정화에 관여하고 수십종 이상의 미생물이 혼합배양계를 구성하고 있는 것이 많다. 한편, 많은 종류의 잡다한 성분을 포함하는 폐수는 매우 복잡한 다성분계로서 생물학적 처리는 혼합배양된 미생물에 의해 혼합기질을 제거하는 process이다(3).

미생물을 이용하는 생물학적 처리는 기본적으로 이들 미생물의 대사작용 즉, 미생물 고유의 기능에 의한 폐수내에 존재하는 유기물의 분해, 합성, 변환기능을 이용하여 경제적으로 폐수를 처리하는 방법으로서 주로 폐수중의 유기물 제거, 질소 및 인의 제거, 발생슬러지의 감량화, 자원회수 및 처리의 효율화를 목표로 하여 이용되고 있으며, 생물학적 처리는 폐수의 성상에 따라 침전, 여과, 응집 등의 물리화학적 처리를 전처리 혹은 후처리로 조합, 병행 사용하여 폐수처리 효율의 증대를 기하는 경우가 많다(4, 5).

유기성 폐수의 처리에 이용되는 생물학적 처

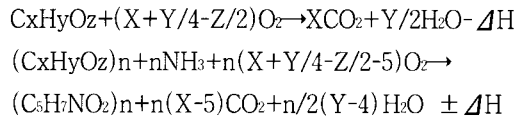
리는 공법적으로는 상당한 연구와 발전이 지속되고 있으나 이들 처리에 관여하는 미생물의 생물공학적인 접근은 최근에 균주 개량 및 미생물 고정화등으로 미생물에 의한 공정개선을 위한 폐수처리공정 system 연구가 주로 시도되고 있다. 따라서 이러한 유기성 폐수의 생물학적 처리를 위한 미생물과 관련된 미생물의 기능과 역할을 살펴보고 폐수처리에 이용 가능한 생물공학적인 기술에 관해 고찰하고자 한다.

## 2. 생물학적 처리 시작

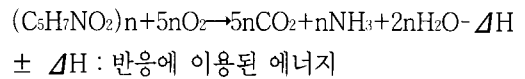
미생물의 대사는 크게 호기성 대사와 혐기성 대사로 나누어지며 호기성 대사에서는 탄소화합물은 탄산가스(CO<sub>2</sub>)와 물(H<sub>2</sub>O)로, 질소화합물은 암모니아 또는 초산염으로 전환된다. 혐기성 대사에서는 유기물은 유기산, 알콜등을 거쳐 분해 최종산물로서 탄산가스, 수소, 유화수소, 질소 그리고 메탄가스등을 발생한다.

호기성 대사에서는 유기물이 미생물체내에 합성된 비율이 높지만 혐기성 대사에서는 그 비율이 매우 낮다. 호기성 대사로 미생물은 산소의 존재하에서 다음 식과 같이 산소를 이용하여 폐

수중 유기물의 산화분해로 인해 에너지를 얻고, 이 에너지를 이용해 원형질을 합성한다(3).



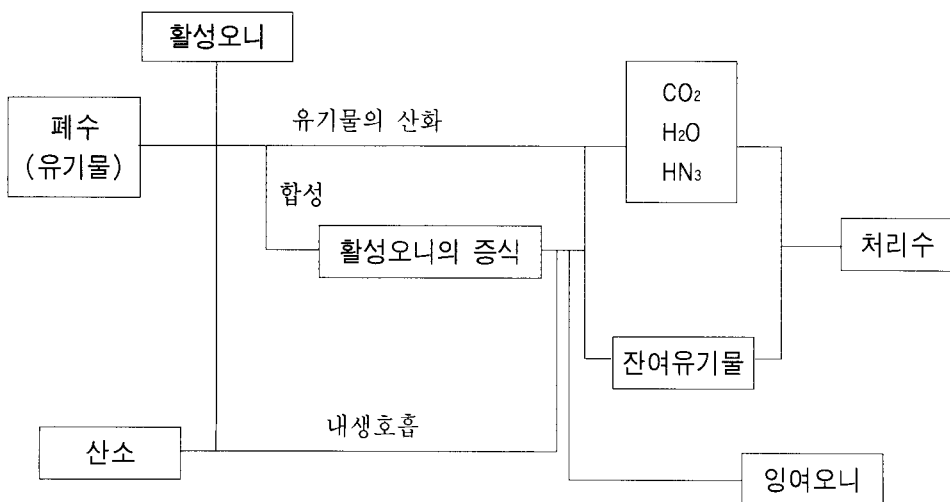
또한 미생물은 동시에 그 일부를 자기산화에 의해 다음과 같이 산화 분해된다.



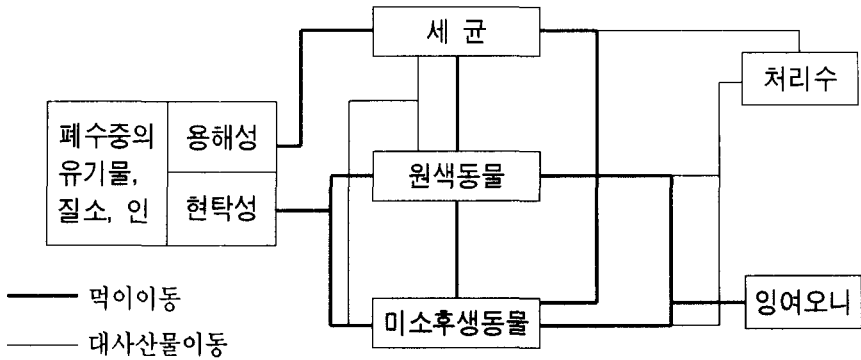
활성오니법은 호기성 대사의 전형으로 폐수 중의 유기물을 세균과 미소동물 등의 미생물대사를 이용해서 분해하는 처리방법이다.

[그림 1]은 활성오니에 의한 정화기구의 모식도로 소 BOD로 표시되는 유기물은 일부 처리수 중에 유출되는 것 이외에 대부분은 미생물체에 의해 제거된다. 내생호흡에 의해 산화될 수 없는 세포물질이 잉여오니로 된다.

내생호흡에는 직접 유기물을 섭취할 수 있는 세균과 미소동물에 의한 포식작용도 포함된다. 유기물은 세균등의 부생영양성의 미생물 만으로 제거할 수 있지만 처리 목표를 달성하기 위해



[그림 1] 활성오니법에 의한 정화기구 모식도(5)



[그림 2] 활성오니 미생물의 먹이관계(5)

원생동물등의 동물영양성의 미생물에 의한 포식 작용의 존재가 불가피하다. 즉, 유기물-세균-원생동물-미소후생동물로 이어지는 먹이연쇄가 존재할 필요가 있다[그림2]. 먹이연쇄가 길면 길수록 에너지로서 소비되는 비율이 크기 때문에 그 계에 존재하는 생물량(biomass)은 적어진다(5).

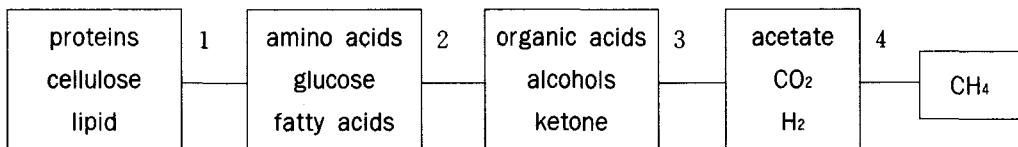
고농도 유기성폐수의 처리에 적합한 혐기성 처리법은 호기성 처리법에 비해 먹이연쇄의 낮은 단계에 위치하고 구성미생물상은 단순하다. 구성하는 미생물상이 단순하다는 것은 제어하기 어려운 미생물 상호작용을 그다지 고려하지 않아도 처리장치를 운전할 수 있다는 것을 의미하며 혐기성 미생물은 호기성 미생물에 비해 균체수율이 적고, 동시에 기질을 가스화 하기 위해 잉여오니의 생성량이 적은 것으로 알려져 있다.

혐기성 처리에 관여하는 미생물군은 상호공생작용을 통해 유기물을 탄산가스, 수소, 유화수소, 메탄가스로 전환시키는데 이러한 일련의 기작을 크게 산생성단계와 메탄생성단계로 구분하였으나, 최근 혐기성 처리에 관여하는 미생물군의 특징을 이용해 가수분해세균, 발효적 산 생성세균, 아세트산 생성세균 그리고 메탄 생성세균군으로 구분하고 있다[그림3].

### 3. 폐수처리 미생물

#### 가. 세균

활성오니법과 같은 호기성 생물학적 처리상에서의 세균은 활성오니 플록(floc)의 가장 중요한



1. Hydrolytic bacteria
2. Fermentative acidogenic bacteria
3. Acetogenic bacteria
4. Methanogenic bacteria

[그림 3] 혐기성 처리에 관여하는 미생물대사 group

구성인자로서 300종 이상이 관여 하고 있다. 이들 세균은 유기물의 산화와 영양염류전환에 관여하고 미생물 biomass의 응집기작에 중요한 역할을 하는 다당류와 기타 복합물질을 생산한다. 플록에서 발견되는 주요 미생물속은 *Zoogloea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus*속 및 사상성 세균이 있다(표 1). 플록내 산소 확산이 한계에 도달하면 플록 크기는 커지는 반면에 활성호기성 세균의 수는 감소된다. 비교적 큰 플록의 내부는 methanogen과 같은 절대 혐기성균이 anaerobic zone을 형성하고 있다. 표준 활성오니에서 호기성 세균의 수는 대략  $10^8$  CFU/ml 로 나타난다(6).

혐기성 처리에 관여하는 세균은 가수분해 및 산 생성세균, 아세트산 생성세균, 메탄 생성세균군으로 통성 혐기성균과 절대 혐기성균이 공존하며 혐기성 처리 공정에 이용되고 있다. 가수분해 및 산 생성세균군에서는 *Clostridium*속 과 *Bacteroides*속 외에 *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Ramibacterium*속 등이 산 생성에 관여하는 것으로 보고되고 있으며, 아세트산 생성세균군에는 *Syntrobacter wolini*와 *Syntro-*

〈표 1〉 표준활성오니의 호기성 종속세균 분포(7)

Genus or group	percentage of total isolates
<i>Comamonas-Pseudomonas</i>	50.0
<i>Alcaligenes</i>	5.8
<i>Pseudomonas</i> (fluorescent group)	1.9
<i>Paracoccus</i>	11.5
Unidentified(gram negative rods)	1.9
<i>Aeromonas</i>	1.9
<i>Flavobacterium-cytophage</i>	13.5
<i>Bacillus</i>	1.9
<i>Micrococcus</i>	1.9
<i>Coryneform</i>	5.8
<i>Arthrobacter</i>	1.9
<i>Aureobacterium-Microbacterium</i>	1.9

*phomonas wolfei*이 지방산을 acetate와 수소로 전환시키는 것으로 보고되고 있다. 또한 메탄 생성세균군은 기질의 이용성에 따라 수소를 이용해 메탄을 생성하는 *Methanobacterium bryantii*와 acetate를 이용해 메탄을 생성하는 *Methanothrix soehngenii* 등이 보고 되고 있다(9, 10).

#### 나. 곰팡이

활성오니법에서 곰팡이는 낮은 pH, toxicity, 질소결핍 등의 한정된 조건하에서 나타난다. 호기성 활성오니에 간혹 출현하는 우점 곰팡이는 *Geotrichum*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*속 등이 보고되고 있다.

#### 다. 원생동물

호기성 활성오니에 나타나는 원생동물은 세균의 중요한 포식자이다. 원생동물은 다세포의 후생동물과는 달리 단세포로 이루어진 동물로서 운동기관에 따라 편모충류, 육질충류, 섬모충류로 나누는 것이 일반적이며 생활 양식에 따라 유병고착형, 포복형, 자유유영형으로 나누기도 한다. 식물 편모충류 이외의 원생동물은 모두 종속영양생물이다. 종속영양생물 중 일부는 다른 생물을 그대로 포식하는 완전동물성영양과 생물의 사체 또는 그 분해된 유기물을 섭취하는 부생동물성 영양으로 구별된다. 원생동물의 대부분은 절대호기성이지만 *Metopus*, *Caenomorphia*, *Trimyema* 등과 같이 용존산소가 거의 존재하지 않는 환경을 좋아하는 혐기성 원생동물도 알려져 있다.

섬모충류는 활성오니의 생물학적 처리 지표로 이용 되어지는데(표 2) 자유유영형으로 *Chilodonella*, *Colidium*, *Blepharisma*, *Euplotes*, *Paramecium*, *Litonotus*속 등과 고착형으로

Vorticella, Carchesium, Opercularia, Epistylis속 등이 우점종으로 관찰되며, 포복형인 *Aspidisca*와 *Euplotes*속도 중요한 지표로 이용된다.

한 개 혹은 수개의 편모를 가진 편모충류는 세포벽을 통한 흡착이나 입을 이용해 먹이를 섭취하는데 폐수처리의 생물지표로 중요한 종은 *Bodo* spp., *Pleuromonas* spp., *Hexamitus* spp. 등이 있다. 편모충류와 자유유영형 섬모충류는 높은 세균밀도(>10<sup>8</sup> CFU/ml)에서 군집을 형성하는 반면 유병고착형 섬모충류는 낮은 세균밀도(<10<sup>6</sup> CFU/ml)에서 관찰된다. 이러한 원생동물은 BOD, SS, 병원성세균 등을 감소시키는 중요한 역할을 한다(8).

#### 라. 후생동물

폐수 처리장에 출현하는 Rotifer는 100 $\mu$ m에서 500 $\mu$ m크기의 후생동물로서 플록입자에 정착하여 플록표면으로 뿔어나온다.

주요 출현종으로는 *Philodina* spp., *Harbrotrocha* spp., *Lecane* spp., *Notommata* spp. 등으로 활성오니 공정에서 일반적으로 관찰된다. 활성오니 공정에서 Rotifer의 역할은 응집활성이 없는 부유성 세균을 제거하고 점액질로된 찌꺼기에 의해 플록을 형성하는 역할을 한다(8).

## 4. 벌킹(Bulking)

호기성 생물학적 처리에서 일어나는 가장 큰 문제 중 하나는 사상성 세균의 이상 증식에 의한 벌킹이다. 이러한 벌킹현상은 F/M비, 용존산소량, 온도, pH, 폐수의 성상, 부하량 등의 조건에 따라 일시적 혹은 지속적으로 나타나며, 벌킹 원인균으로는 Type 021N, Type 1701, Type 0041 등의 Type 시리즈와 *Sphaerotilus*, *Thiotrix*, *Beggiatoa*속 등의 산상세균이 대부분을 차지하고 있으며 일부 곰팡이가 낮은 pH영역에서 우점되어 벌킹원인균으로 나타나기도 한다.

사상성 세균은 플록형성세균에 비해 낮은 산소 농도와 낮은 영양 상태하에서도 강한 생존력을 나타내며 이것은 결국 기질에 대한 높은 친화성과 낮은 half-saturation constant를 가지는 것에서 기인된다(표 3).

사상성 세균에 의한 벌킹의 조절은 염소 혹은 과산화수소와 같은 산화제의 처리, 석회, 철염, 합성유기고분자에 의한 응집처리등의 화학적 처리와 specific growth rate를 이용한 물리적인 처리방법등이 사용되고 있으나 최근 사상성 세균의 포식 원생동물의 이용과 용균기작을 가진 미생물의 이용 등 생물학적 조절에 많은 연구가 시도되고 있다(2).

<표 2>

폐수처리 공법별 원생동물의 출현빈도(3)

출현빈도	장 기 폭 기 법	접 축 폭 기 법	회 전 원 판 법
1	<i>Aspidisca costata</i>	<i>Vorticella convallaria</i>	<i>Vorticella microstoma</i>
2	<i>Vorticella convallaria</i>	<i>Vorticella microstoma</i>	<i>Opercularia</i> sp.
3	<i>Epistylis</i> sp.	<i>Epistylis</i> sp.	<i>Philodina</i> sp.
4	<i>Opercularia</i> sp.	<i>Aelosoma hemprich</i>	<i>Epistylis</i> sp.
5	<i>Philodina</i> sp.	<i>Philodina</i> sp.	<i>Vorticella convallaria</i>
6	<i>Lepadella</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i>	<i>Euglypha</i> sp.
7	<i>Arcella vulgaris</i>	<i>Nais</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i>

## 5. Xenobiotics의 생물학적 처리

산업 폐수에는 생분해성 유기물과 더불어 합성유해화합물(xenobiotics)과 같은 난분해성 유기물 혹은 생물독성물질도 검출되고 있는데 이러한 성분의 유입은 폐수처리 효율의 저하와 생물학적 처리의 한계에 이르게 하는 중요 요인으

로 나타나고 있다. 생물학적 처리에 의한 합성유해화합물의 제거는 폐수의 조성(성분)과 처리유형, 고형물 체류시간(SRT)에 크게 의존하고 있다. 전형적인 호기성 생물학적 처리는 용존성 유기탄소의 약 85%까지 제거되는 것으로 알려져 있다. <표 4>는 생물학적 처리 후 남은 용존성 유기화합물의 절반이 humic, fulvic, hymath-

<표 3> 사상성 세균과 플록형성 세균의 생리적 특징 비교(2)

Characteristics	Bacteria	
	Floc former	Filamentous
Maxium substrate uptake rate	High	Low
Maximum specific growth rate	High	Low
Endogenous decay rate	High	Low
Decrease in specific growth rate from low substrate concentration	Significant	Moderate
Resistance to starvation	Low	High
Decrease in specific growth rate from low DO	Significant	Moderate
Potential to sorb organics when excess is avaiable	High	Low
Ability to use nitrate as an electron acceptor	Yes	No
Exhibits abundant uptake of phosphorus	Yes	No

<표 4> 생물학적으로 처리된 유출수에서 유기화합물의 범주와 분포(12)

Chemical class	Total COD(%)		
	Trickling filter	Stabilization pond	Activated sludge
Proteins	21.6	21.1	23.1
Carbohydrates	5.9	7.8	4.6
Tannins and lignins	1.3	2.1	1.0
Anionic detergents	16.6	12.2	16.0
Ether extractables	13.4	11.9	16.3
Fulvic acid	25.4	26.6	24.0
Humic acid	12.5	14.7	6.1
Hymathomelanic acid	7.7	6.7	4.8

omelanin acid로 구성되어 있음을 나타내고 있는 반면에 탄수화물과 단백질등 쉽게 분해될 수 있는 유기물은 용존성 유기물의 약 25% 정도인 것으로 나타나고 있다(12).

호기성 생물학적 처리의 활성오니와 살수여상에 의한 생물독성물질의 제거에 관한 연구에서 활성오니법이 생물독성을 나타내는 유기화합물을 검정 한계 이하까지 감소시키는 매우 효율적인 공정으로 조사되었다. <표 5>는 생물학적 처

리에 의한 휘발성 유기화합물의 제거에 관한 조사결과로서 활성오니공정이나 살수여상공정 모두 volatile organic compound를 91%이상 제거하는 것으로 나타났으나 semivolatile compound는 살수여상에서 41%~91%, 활성오니에서 57%~96%의 제거율을 보여 활성오니공정의 효율성을 입증하고 있다(11).

Linear Alkylbenzene Sulfonate(LAS)와 같은 음이온 계면활성제도 활성오니공정에서 99%

<표 5> 생물처리에 의한 휘발성 및 반휘발성 유기화합물의 제거(11)

Pollutants	% Removal	
	Trickling filter	Activated sludge
Semivolatile compounds		
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	76	71
Dibutylphthalate	81	71
Naphthalene	89	95
Phenanthrene	90	93
Pyrene	83	91
Fluoranthene	85	92
Isophorone	65	96
Bis(2-chloroethyl)ether	31	64
p-Dichlorobenzene	86	94
Phenol	91	91
2-4-Dichlorophenol	55	86
Pentachlorophenol	41	60
Lindane	46	57
Heptachol	64	67
Volitile compounds		
Carbon tetrachloride	90	81
1, 1-Dichloroethane	92	97
1, 1-Dichloroethylene	>97	>97
Chloroform	89	98
1, 2-Dichloroethane	87	95
Bromoform	82	68
Ethylbenzene	>98	>98

이상 제거되며 양이온 계면활성제는 활성오니의 생분해 뿐만 아니라 흡착과 침전에 의해 제거된다. 플라스틱 공업에 이용되는 phthalate ester는 활성오니의 미생물에 의해 신속하게 분해되어진다. 이러한 유기합성화합물의 생분해도는 분자 크기가 클수록 감소된다.

## 6. 폐수처리와 생물공학의 응용

미생물 생리학과 분자생물학의 발전에 따른 유전공학의 진보는 오염조절을 위한 생물공학 기술분야의 많은 발전을 가져왔다. 이러한 노력은 폐수처리에서 생물공학의 활용에 초점을 맞추어 왔으며 폐수처리를 위한 유전공학적인 방법과 고정화 기술의 개발에 큰 관심을 기울이고 있다.

그러나 아직까지는 폐수처리에 이용되는 미생물의 균주개량 및 유전자 조작등에 의한 미생물의 대사 및 기능에 대한 정보의 부족 때문에 전통적인 집적배양기술에 의해 분리된 미생물이 상업화되고 있다.

### 가. Bioaugmentation의 이용

폐수처리공정의 일부를 개선하기 위해 자연환경에서 분리된 미생물을 선별적으로 이용하는 것을 Bioaugmentation이라 하며 반응조내에 생분해도를 유지 혹은 증가시키기 위해 선별된 미생물을 첨가하는 것을 의미한다. Bioaugmentation은 증가된 BOD의 제거와 sludge volume의 감소, sludge 소화조의 혼합배양액이용, 탄화수소화합물 및 유해성 유기화합물의 생분해도 증가 등에 활용되어진다.

그러나 순응기간의 필요와 접종후 생물반응조내에서의 생육결핍과 낮은 생존성 등이 결점으로 보고되고 있으며 이런 결점을 보완하기 위한 연구가 계속 진행되고 있다(13).

### 나. 미생물 효소의 이용

효소는 폐수처리공정에서 유기물의 생물전환과 가수분해에 중요한 역할을 하고 있으며 phosphatase, aminopeptidase 그리고 esterase 등의 일부 효소는 폐수 시료에서 검정되어왔다.

또한 생물독성화합물의 처리기능을 개선시키기 위해 미생물이 생산하는 효소제제를 실제 폐수처리에 이용할 수 있을 것으로 추측되고 있다. 이러한 효소이용기술은 폐수처리 공정내에서 미생물에 의해 과잉 생산된 다당류를 감소시키는 특이 효소의 이용으로 설명되어 지고 있다(14).

### 다. 고정화 미생물의 이용

일부 폐수처리공정은 자연적으로 고정화된 미생물을 기초로 하고 있다.

활성오니 공정상에서 응집된 미생물과 살수여상의 암석표면과 플라스틱 표면의 부착미생물이 고정화 미생물의 설명에 좋은 보기이다.

폐수처리에 이용되는 유동상 반응조는 모래 혹은 다른 입자의 표면에 미생물을 고정화 시킨 것으로 혐기성 폐수처리에 이용되고 있다.

미생물의 고정화 기술에는 entrapment, adsorption, covalent binding 등이 있으며 고분자를 이용한 미생물의 캡슐화 기술도 개발되고 있다.

고정화 기술의 사례로서 covalent binding을 이용해 chitin 표면에 고정화시킨 *Pseudomonas* 속세균에 의한 염소화페놀의 분해와 polyacrylamide-hydrazid에 고정화 된 *Alcaligenes* 속에 의한 고농도 페놀화합물의 분해 등이 보고되었으며 polyethylene glycol 수지에 고정화된 질산화 세균을 이용해 활성오니의 질산화를 촉진시키는 방법 등이 보고되고 있다(15, 16).



## 7. 결론

유기성 폐수의 처리에서 핵심적인 역할을 수행하고 있는 생물학적 처리공정은 아직도 그 처리기작이나 처리 미생물의 구성 등이 알려지지 않은 많은 부분이 있다. 이러한 이유는 환경에 대한 인식이 우선적으로 공학적인 접근에 기인하는 것과 폐수의 다양성 및 복합성에 대한 생물학적 가변성에 기인하는 것으로 판단된다. 최근 생물공학기술의 급속한 발달과 함께 이를 환경에 접목시키려는 많은 연구자들의 노력에 의해 미생물에 의해 처리되는 생물기작의 원리가 상당히 밝혀지고 있다. 또한 균주의 개량기술을 이용한 난분해성 혹은 생물독성물질의 한계농도 증가와 처리효율의 증대에 따른 경제적 비용의 절감 등의 효과가 나타나고 있다. 결국 유기성 폐수의 생물학적 처리시 효율성을 향상시키기 위해서는 이에 관여하는 미생물의 선별과 선별된 미생물을 어떻게 이용하며 반응기 내에서 어떻게 조절할 것인가가 유기성 폐수의 처리를 위한 성공적인 지표로 제공될 수 있다.

### 【참고문헌】

- Ralph Mitchell, 1993. *Environmental Microbiology*
- Gabriel Bitton, 1994. *Wastewater Microbiology*.
- 須藤隆一 1982. 環境浄化のための微生物學
- 有馬 啓, 田村學造, 1980. 生物による環境浄化
- 橋本 獎, 須藤隆一, 1986. 新しい活性汚泥法
- Hannel, 1. 1988. *Biological Treatment of Sewage by the Activated Sludge Process*
- Hiraishi, A. et al. 1989. Characterization of the bacterial population structure in an anaerobic-aerobic activated sludge system on the basis of respiratory quinone profiles. *Appl. Environ. Microbiol.* 55 : 897-901
- Curds, C.R., 1982. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process. *Annu. Rev. Microbiol.* 36 : 27-46
- Polprasert, C. 1989. *Organic Wastes Recycling*
- Speece, R. E. 1983. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *Environ. Sci. Technol.* 17 : 416-427
- Hannah, S.A., et al. 1988. Removal of organic toxic pollutants by trickling filter and activated sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.* 60 : 1281-1283
- Manka, J., et al. 1974. Characterization of organics in secondary effluents. *Environ. Sci. Technol.* 8 : 1017-1020
- Johnson, L.M., et al. 1985. Microbiology in pollution control : From bugs to biotechnology. *Dev. Ind. Microbiol.* 26 : 365-376
- Boczar, B.A., et al. 1992. Characterization of enzyme activity in activated sludge using rapid analyses for specific hydrolases. *Water Environ. Res.* 64 : 792-797
- Bisping, B., and H.J.Rhem. 1988. Multistep reactions with immobilized microorganism. *Biotechnol. Appl.*

Biochem. 10 : 87-98  
16. Nilsson, I., and S. Ohlson. 1982.  
Columnar denitrification of water by

immobilized *Pseudomonas dentificants*  
cells. Eur. J. Appl. Microbiol.  
Biotechnol. 14 : 86-90

No government could survive without champagne... In the throat  
of our diplomatic people (it) is like oil in the wheels of an engine.

샴페인 없이는 정부가 존속할 수 없었다. 우리들 외교관들의  
목에는 샴페인은 엔진바퀴의 기름과 같다.

- Goseph Dargent -