

### 13.1 생물학적 폐수처리

폐수처리방법에는 물리·화학적 방법과 생물학적 방법이 있는데 물리·화학적 방법은 시설 투자비가 적게 들고 처리속도는 빠르지만 화학약품 소모 등에 의해 운전비용이 많이 소요된다. 또한 처리 후의 생성물을 재처리 또는 처분해야 하므로 다른 형태의 환경오염을 일으키는 단점이 있다. 이에 반하여 생물학적 방법은 자연환경에 별로 해를 끼치지 않는다.

생물학적 처리방법은 박테리아, 균류, 조류, 원생동물 등을 이용하여 폐수 내의 오염물질을 분해 또는 해독시키는 것으로 유기물질을 이산화탄소나 메탄가스의 형태로 전환시켜 제거한다. 생물학적 폐수처리법은 도시 생활하수의 2차 처리, 유기물을 함유한 산업폐수 처리공정 등에 널리 이용된다.

#### 13.1.1 폐수의 종류와 성분

폐수에는 유기화합물과 난분해성 화합물이 들어 있다. 가정이나 도시하수에는 사람의 배설물과 각종 세척수가 다량 함유되어 있다. 사람의 배설물에는 유기산, 탄수화물뿐만 아니라 아미노산이나 단백질 음식에서 유래된 많은 양의 질소가 존재하며 무기화합물도 상당량 존재한다. 산업폐수는 그 조성이 다양하며 난분해성 물질이나 독성물질을 함유하고 있는 경우가 있어서 생물학적 처리가 어려울 때가 있다. 매립지의 침출수는 pH와 용존산소가 낮으며 각종 중금속 농도가 높고 염화탄화수소(chlorinated hydrocarbon) 등 난분해성, 독성물질을 많이 함유하고 있기 때문에 지표수나 지하수를 오염시킨다.

## 유기화합물

폐수에 들어 있는 유기화합물 중 당류와 탄수화물이 가장 쉽게 분해되며 아미노산도 일반적으로 쉽게 분해된다. 이것은 이러한 화합물들을 분해하는 효소를 보유하고 있는 미생물이 널리 분포되어 있기 때문이다. 몇 가지 유기화합물에 대해 분해성이 높은 것부터 나열하면 다음과 같은 순서이다.

유기산, 에스터 > 알코올 > 알데히드 > 케톤 > 에테르

알코올은 일반적으로 쉽게 분해되지만 3급 알코올(tertiary alcohol)은 노르말(normal) 알코올에 비해 분해성이 현저하게 나쁘다. 비닐화합물과 옥시화합물은 저분자량일 때는 분해가 용이하나 분자량이 커질수록 분해성이 낮아진다. 미생물을 대상물질에 순화(적응)시킨 후 분해가 가능한 물질로는 메탄올, 에테르(디옥시산, 디페닐에테르), 페놀류(모노 및 디하이드록시 페놀, 크레졸), 아민, 시안화물, 니트릴이 있다. 할로겐화 페놀, 알데히드, 3급 부탄올, 아밀 알코올, 펜타에리스리들은 난분해성 물질이다.

탄화수소(hydrocarbon)는 탄수화물(carbohydrates)에 비하여 잘 분해되지 않는다. 미생물이 탄화수소를 분해하는 전략은 우선 산화효소(oxygenase)에 의해 산소를 도입하여 탄화수소를 알코올로 산화시킨다.



이 알코올은 탈수소효소(dehydrogenase)의 작용으로 유기산으로 산화된 후 β산화(β-oxidation)에 의해 acetyl-CoA가 되어 대사과정으로 들어간다.

방향족(aromatic) 탄화수소는 지방족(aliphatic) 탄화수소보다 일반적으로 분해성 정도가 떨어진다. 방향족 탄화수소는 우선 카테콜(catechol)이나 프로토키테추에이트(protocatechuate)로 전환된다. 그리고 나서 dioxygenase의 작용으로 방향족 고리(aromatic ring)가 끊어지고, 계속해서 대사과정을 거쳐 아세틸 CoA와 숙신산(succinate)이 된다(그림 13.1). 벤젠은 분해되기 쉽지만 벤젠고리에 니트로기, 아미노기, 할로젠이 치환되면 분해성이 저하된다. 직쇄(straight chain) 알킬벤젠은 직쇄알킬기가 쉽게 산화분해되며, 알킬기가 분지쇄형(branched type)이면 난분해성이 된다.

탄화수소의 분해에 작용하는 산화효소(oxygenase)는 *Pseudomonas*, *Mycobacterium* 과 yeast 속의 일부 종(species)에서 발견된다.

## 난분해성 화합물

### (1) 합성세제

합성세제의 주성분은 주로 음이온계와 비이온계의 계면활성제이다. 일반적으로 알킬설

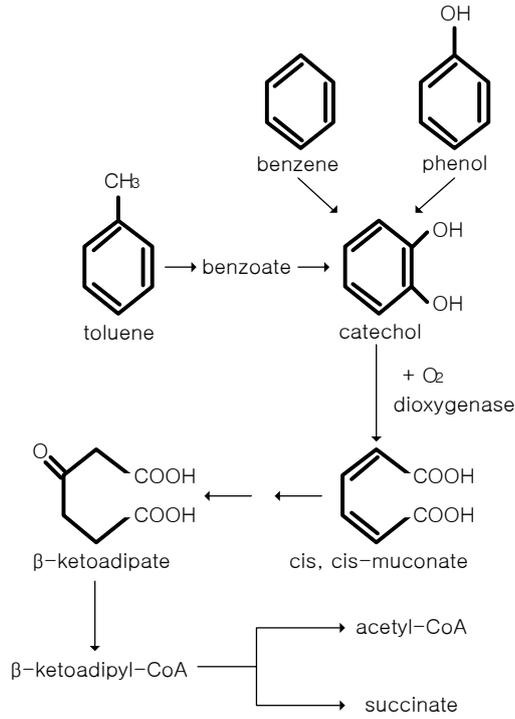


그림 13.1 방향족 화합물 분해경로의 예

포네이트(alkylsulfonate, AS)나  $\alpha$ -올레핀술포네이트( $\alpha$ -olefin sulfonate, AOS), 고급 알코올의 황산에스터 등의 벤젠고리가 분자 내에 있으면 분해가 어렵다. 선상 알킬벤젠술포네이트(linear alkylbenzene sulfonate, LAS), 폴리옥시에틸렌라우릴에테르(polyoxyethylene-laurylether)와 같이 분자 내에 벤젠고리나 에틸렌옥사이드 사슬을 지닌 계면활성제는 AS나 AOS에 비해 분해가 느리다.

(2) 시안화합물

시안화합물은 생물에 대한 독성이 매우 커서 주로 화학적처리로 제거되고 있다. 그러나 시안을 잘 분해하는 곰팡이 균인 *Fusarium solani*를 순화(馴化)시키면, 고농도(3000 mg/L)의 시안 분해가 가능하다. 이 균이 맹독성 시안을 분해할 수 있는 것은 일반적인 미생물과는 다른 별도의 호흡산소 시스템을 갖고 있기 때문으로 추정된다.

그 외의 난분해성 물질인 폴리염화 비페닐(polychlorinated biphenyl, PCB)은 토양 중에서 극히 소량씩 분해되며 *Alcaligenes*나 *Acetobacter*에 속하는 세균이 10 mg/L 농도의 PCB를 분해한다고 보고되어 있다. 유기염소계 농약인 BHC(benzene hexachloride), DDT(dichloro-diphenyl-trichloro-ethane), 딜드린, 알드린 등은 식품이나 환경 중에 장기간 잔류하기 때문에 사용이 금지되었으며, 토양 중에서 분해되는 데 10년 정도 필요하다는 연구

보고가 있다. 유기 니트릴화합물과 폴리에틸렌그리콜도 난분해성 물질이다.

### 13.1.2 생물학적 처리의 종류

생물학적 폐수 처리공정에서 미생물이 성장하는 형태는 부유식 성장(suspended growth)과 부착식 성장(attached growth)으로 나눌 수 있다. 부유식 성장을 이용한 처리에서는 기질의 분해와 세포의 생장이 폐수 내에 부유된 상태에서 이루어진다. 부유식 성장을 이용한 처리방법에는 활성 슬러지법, 안정지, 혐기성 소화법 등이 있다.

부착식 성장의 경우에는 유기물의 분해가 일어나면서 세포가 성장하여 얇은 점액질의 생물막(biofilm)이 고체표면에 생성된다. 이를 이용한 폐수처리 방법을 생물막 공정 또는 고정막(fixed film) 공정이라 부른다. 생물막 공정의 예로는 살수여상법, 회전원판법, 침적여상법, 혐기성 생물막 공법 등이 있다.

산소의 이용 유무에 따라 생물학적 처리공정을 호기성 공정(aerobic process)과 혐기성 공정(anaerobic process)으로 나눌 수 있다. 호기성 처리는 산소를 이용하는 미생물의 호기성 호흡(aerobic respiration)을 이용하는 것으로 활성 슬러지법, 살수여상법, 회전원판법, 침적여상법 등이 해당된다. 호기성 처리에서는 유기물이 분해되어 이산화탄소와 물이 생성되므로 자연환경에 아무런 해가 되지 않는다. 또한 미생물들의 생장이 빠르므로 처리가 신속하나 산소를 지속적으로 공급해 주어야 하며 이로 인한 운전비용이 증가되는 단점이 있다. 고농도의 폐수의 경우에는 산소 소모속도에 비하여 산소 전달속도가 느리기 때문에 호기성 처리가 어려워진다.

혐기성 처리(anaerobic treatment)는 혐기성 미생물의 혐기성대사, 즉 혐기성 호흡(anaerobic respiration)과 발효(fermentation)를 이용하는 것으로 산소공급이 필요없다. 혐기성 소화법, 부패조법, 혐기성 안정지, 혐기성 생물막 공법 등이 대표적인 방법들이다. 혐기성 처리에서는 폭기(aeration)가 필요하지 않기 때문에 운전비용이 저렴하고 메탄가스가 생성되어 에너지 자원의 회수가 가능하다.

그림 13.2는 일반적인 생물학적 폐수처리 모식도이다.

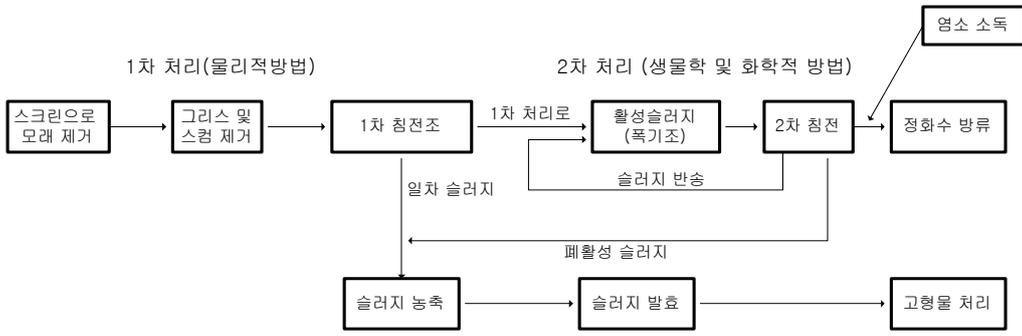


그림 13.2 생물학적 폐수처리