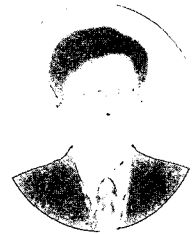


# 미생물을 이용한 폐수처리 방안

구 본 탁

(주)한국미생물 기술대표이사, 공학박사



오늘날의 환경오염은 더 이상 방치해서는 안될 정도의 위급한 국면을 맞고 있다고 말해도 과언은 아닌 듯싶다. 이들 오염의 실태는 산업혁명 이후로 토양, 수질, 대기 등 모든 지구 환경을 오염시키고 있다. 이러한 오염의 가속화는 매해마다 빨라지고 있음에도 불구하고 여기에 대한 실질적인 대책을 체계적으로 연구하기 시작한 것은 1972년이 되어서부터이다. 환경의 오염은 지구상에 있는 모든 생물체에게 다시 순환되어 어떠한 피해를 줄지 모르기 때문에 현시점에 있어서 매우 큰 문제로 대두되고 있다. 환경오염은 크게 토양오염, 수질오염, 대기오염 등으로 나눌 수 있는데 이들 각각의 오염이 인간에게 따로따로 영향을 미치지 보다는 서로 간에 순환이 되기 때문에 한 영역에서라도 오염이 되어 있다면 결국에 가서는 모든 환경이 오염될 가능성이 커진다고 말할 수 있다. 이 중에서도 특히 식수와 농업용수로 쓰이고 있는 수자원의 경우, 국내의 오염실태는 매우 심각하다고 말할 수 있는데 우선 우리의 주된 식수원인 강의 경우 음용 가능한 상수원수 3등급(6ppm 이하)에 해당될 정도로 오염이 심한 실정이다. 생물학적 산소 요구량(BOD)은 낙동강 고령 지점 5ppm, 영산강의 강동대교 지점 4.9ppm, 금호강 강창교 지점 7.9ppm, 대청호 3.1ppm,으로 일급수에 해당하는 곳은 한곳도 없었다. 이러한 오염 실태는 비단 강에서만 나타나는 것은 아니다. 무려 1조원이라는 비용을 들여 조성했던 시화 담수호는 지난 94년 경기도 시

흥 화성군 서해안 접경에 길이 11km의 방조제가 준공돼 형성된 인공호수로서 공장과 주택에 용수를 공급하기 위해서 만들어 졌다. 하지만 지금은 공업용수로는 커녕 농업용수로도 부적합한 BOD가 10ppm을 넘는 골칫거리 폐수가 되어 가고 있다. 또한 이를 정화하려면 추가로 6천억원이 소요되는 심각한 사태에까지 이르게 되었다. 시화 담수호의 오염은 반월공단의 폐수와 안산시의 도시화가 큰영향을 미치고 외부 유입량이 적은 시화호는 호수내 체류기간이 이백일에서 1년이나 될만큼 정체되고 있어 부영양화 등 오염을 피할 수 없기 때문에 기인하는 것으로 여겨진다. 시화호의 수질오염문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 방조제를 헐어야 한다는 주장도 나오고 있고 통산부 관계자는 날로 늘어나는 업체들의 오염물질 처리비용을 줄이고 수질악화를 예방하기 위해 업체들의 중간공정을 환경친화적인 방법으로 개선해나갈 계획이라고도 하였다. 또한 수자원 공사에서는 화정 안산천 등 시화호 상류하천과 시화 공단내의 간선수로중 한곳에 시험 설치한 산화지에서 시화호로 유입되는 오폐수를 장기간 모아두고 미생물들을 이용해 오염물질을 처리하고 있다고 하였다. 이곳에는 수증식물 부레 옥잠을 비롯, 수중폭기 등이 설치돼 있다. 오염물질이 가장 많이 유입되는 반월천 하류에는 자갈 접촉 산화지를 설치, 자갈사이에 자생하는 미생물을 활용한 정화를 하고 있다. 수자원 공사 시화 건설 사업소장의 말처럼 시화호는 우리나라 담

수호의 오염 대책을 세우는 실험대에 올라 있어 국민의 이목이 집중되어 있고 모든 수질개선 방안이 시화호에 적용되고 있는 상황에서 생물학적 폐수처리, 그 중에서도 미생물을 이용한 수질오염 개선안은 매우 획기적인 대안이 되고 있다. 이에 간략하게 미생물의 특성과 이를 이용한 수질개선에 대해 살펴보기로 하겠다.

(1) 미생물의 분류

미생물들은 핵의 유무에 따라서 크게 원핵, 진핵, archaeobacteria로 나눌 수 있으며, 살아가는데 필요한 영양원에 따라 표 1과 같이 구분지을 수 있다.

또한 미생물들은 산소를 이용하는 정도에 있어서 산소가 존재하여야지만 살아갈 수 있는 호기성(aerobic)미생물과, 산소가 있거나 없든지 간에 살아갈 수 있는 facultative미생물, 산소가 없는 조건에서도 살아갈 수 있는 혐기성(anaerobic) 미생물로 구분할 수 있다.

(2) Bioremediation

미생물들이 자라기위해서는 여러 가지 다양한 유기물을 분해함으로써 생기는 에너지를 이용하여 살아갈 수 있고, 이러한 과정에서 이산화탄소와 물이 부산물로 생기게 된다. 이때 이와 같은 과정을 수행함에 있어서 다양한 영양원중에서 해로운 chemical을 무독성 성분으로 미생물들이 분해할 수 있다. 이와 같은 과정을 bioremediation이라고 말하고, 미생물

에 의한 bioremediation은 “natural process”로서, 오염된 강이나 호수에 있어서 오염물질을 제거하는데 효과적으로 사용되고 있다. 특히 미국에서는 Bioremediation을 field에 적용시키는데 있어 선구적인 역할을 수행하여 왔고 환경에 지속적으로 존재하는 위험한 waste를 처리할 수 있는 가장 좋은 대안으로 떠오르고 있다. 실질적으로 Bioremediation의 개념은 waste의 분해시 transformation의 개념이지 transportation의 개념이 아니며, 대규모 오염정화에 미생물이 효과적임을 처음 입증한 사례는 수년전 알래스카 연안에서 발생한 엑스 발데스 석유 유출 사고로서 박테리아는 석유에 들어 있는 수소탄화물을 섭취, 이산화 탄소와 물로 분해함으로써 오염정화에 결정적 역할을 하였다. 또다른 예로 캐나다 토론토에 있는 수노코사는 가솔린, 디젤, 윤활유등으로 크게 오염된 연료저장고 부지를 미생물로 정화, 현재 스포츠 위락단지로 이용하고 있다.

수질개선을 위해서 미생물들을 이용하는 여러 가지 많은 방안들이 제기되고 있다. 먼저, 수질오염의 산표본이라 할 수 있는 연못이나 강들의 내부구조와, 여기서 자랄 수 있는 미생물들의 분포는 다음과 같다. 강이나 연못의 구조는 맨 밑에 존재하는 침전층(온갖 유기물과 고형 성분이 침전되어 있는 층), 중간층(용해 되어 있는 고형 성분), 상층(물이 주성분)으로 구성되어져 있으며 이들 각각의 층에는 층마다의 산소 조건에 의해서 aerobic, facultative, anaerobic 미생물들이 존재한다. 이와 같은 미생물들이 물에 존재하는 해로운 균이나 인간에게 해가 되는 화학물질

[표 1] 미생물의 핵(nucleus)의 유무와 영양원에 따른 분류

분류기준	분류명칭	미생물군
핵의유무, cell의 분화정도	진핵생물	조류(algae), 곰팡이(fungi), 원생동물(protozoa), 효모(yeast)
	원핵생물	Bacteria, cyanobacteria
	Archaeobacteria	Methanogenes, halophiles
탄소원(carbon source) 에너지원(energy source) 전자 수용체(electron acceptor)	유기물-heterotrophs, 무기물-autotrophs 빛-phototrophs, 유(무)기물-chemotrophs 유기물-organotrophs, 무기물-lithotrophs	

(암 유발 물질등)을 포함하는 해로운 오염물질, 일산화수소에서 많이 유입되는 인이나 질소 성분을 분해함으로써 자연정화에 한 몫을 담당하게 된다. 하지만 이렇게 유입되는 물질이 일정이상 초과를 하게 되면 과량의 유기물질을 이용하여 물표면에서 조류(algae)의 성장이 급성장하게 되면서 호수내에서 산소부족을 유발하게 되고 이들 부생생물의 급성장으로 인하여 물속으로의 햇빛 투과량이 적어지고, 또한 존재하는 유기물질을 이용하여 호기성 균주들이 급속도로 자라게 되면서 상층이 점차 혐기적인 상태로 변해가기 시작한다. 이와 같은 상황이 유입되는 물이 소량인 상태로 지속되면 호기성 균주보다는 혐기성 균주들이 활발히 잔여 유기물들을 분해하게 된다. 그러나, 이런 상황에서의 문제점은 혐기성 균주들이 유기물질을 분해하면서 H<sub>2</sub>S, NH<sub>4</sub>와 같은 해로운 가스를 부산물로 만든다는 것이다. 그 결과 물에서는 악취가 발생하게 된다는 것이다.

### (3) 폐수처리용 미생물제제

지금까지 연구 적용되어 지고 있는 미생물들을 이용한 생물학적인 방법을 간략히 알아보고 이들 사용의

문제점을 살펴보기로하자. 지금까지의 미생물들을 이용한 방법으로 개발된 제품의 목적은 유기물의 분해를 촉진시켜 질소화 과정을 활성화 시키고 오니의 양을 최소한으로 하고 유독한 가스발생을 줄이는 것이다. 이와 같은 목적을 이루기 위해서는 주로 진균이나 원균을 사용하고 있는데 이들 미생물들이 실험실 수준에서 행하여진 결과 만큼 field에서도 그대로 적용되지 않는 점이 이 개발에 있어서 가장 큰 어려움이 되고 있다. 실질적으로 생물학적 폐기물(Biological waste)의 생분해(Biodegradation)을 주목적으로 하는 외국의 몇가지 미생물제에 대한 특성을 살펴보면 표2 와 같다.

표2와 같은 미생물제제이외에도 미생물 그 자체로는 위에서 언급한바와 같이 bioavailability가 감소된다는 문제점이 있기 때문에 이를 개선하기 위해서는 bioavailability factor로 sorption을 첨가하여 bioremediation 비율을 활성화시키는 경우와 특수한 반응기(reactor)를 사용하는 경우 등이 있다. 후자의 경우에는 분뇨를 최적으로 분해하기 위하여 처음단계에 화학적이고 기계적인 과정을 통하여 기질을 solid phase로 전환시킨 뒤에 두 번째 단계에서 복

[표 2] 미생물을 원료로 만들어 진 환경친화형 제제

제품명	미생물 종류	특 성
Mega-BacX™	Facultative bacteria	non pathogenic non engineered biological product. 불용성지방, 기름, 단백질, 우유, 녹말 분해제.
520, 625 series	Facultative bacteria	Sludge volume을 줄일 수 있다. 다양한 유기물에 대하여 폭넓은 적용범위를 가지고 있다. H <sub>2</sub> S양을 최소화 할 수 있다. Nitrification과정을 촉진 시킨다.
AG 14	Facultative, aerobic bacteria	부영양화가 심한 곳에서 인공적으로 산소를 제공할 시 발생할 수 있는 미생물들의 대사과정을 방해하지 않고도 과량의 산소를 제공해줄 수 있다.

잡한 정제과정을 통하여 liquid phase의 최종산물로 전환시키는 방식이 있다(Czech사의 OXICLAR와 CTYCLAR). 이 밖에도 미생물들이 형성하는 floc 구조에 대한 physiochemical연구가 진해되고 있는데 미생물들의 hydrophobicity와 liquid surface tension과의 관계를 자세히 분석함으로써 하수처리 상 발생하는 bulking, pin point floc 등을 해결하고자 하는 것이 그 주요 목적이다. 요약하면, 오폐수 처리에 사용하는 미생물 제제를 개발하기 위해서는 미생물이 생산하는 효소 및 효소 촉매제에 대한 연구도 진행되어야 하고 오염물질을 탄소원으로 사용하여 생분해성 polymer를 만들 수 있는 균주의 개발 등 여러 방면의 연구가 필요하다. 요즘은 일본에서 개발된 하수처리 시스템으로 complex microbial community의 기능을 이용하여 다양한 오염물질을 분해시키고 있다. 이 시스템의 원리는 예를 들어 유기인산을 분해할 수 있는 미생물들을 이용하여 하수에 있는 유기 인산을 분해할 때에 이 미생물 이외에도 다른 상호적인 역할을 수행할 수 있는 미생물들을 포함시켜 유기인산 분해 효과를 극대화시킨다는 것이다. 이 시스템은 크게 두단계로 나누어져 있는데 그 첫단계는 물 정제 공장에서 막 분리 시스템을 이용하여 바이러스와 같은 pathogen을 거른다. 두 번째 단계로 하수처리 공장에서 완벽하게 생물학적인 처리 시스템을 이용한다는 것이다. 이 두 번째 단계에서 집중되는 미생물은 인, 질소, 기타 유기물들을 분해할 수도 있고, 생합성 plastic을 만들 수 있는 다양한 미생물로 구성한다는 것이다. 하지만 위에서 언급하였듯이 이와 같은 미생물 처리 시스템을 이용하기 위해서는 미생물들의 생리 및 활성, 이들과의 상호 관계 등을 복합적으로 이해해야 하므로 앞으로 지속적인 연구가 필요하리라 본다.

#### (4) Interface에서의 미생물 생육

폐수처리에 이용하는 미생물들의 기작을 이해하기 위해서는 물질의 표면에 고착되어 있는 상태에서의 미생물의 생육과 활성을 들여다 보아야 한다. 표면에서의 미생물 생육에 있어서 중요한 인자는 대부분

산소보다는 포도당(glucose)과 같은 탄소원이다. 따라서 이 분야에 있어서의 mass transfer는 주로 미생물의 기질(substrate)과 대사산물에 초점이 맞춰져 연구되어 왔으나 아직도 많은 후속 연구들이 필요하다. mass transfer를 최대화 하기위해 생물공정에서 free cell을 사용하는 것이 얼핏 현명한 것처럼 보이지만 이 외에도 더 중요한 인자들이 있다. 예를 들면 폐수의 생물학적 처리를 위한 활성오니 공정에서는 Cell들이 recycle 되어야 한다는 것이다. 또한 어떤 경우에는 동일한 cell이라도 현탁된 상태보다 고농도로 밀집된 상태에서 활성이 높은 경우가 종종 있다. 고정화(Immobilization)된 세포에서의 에탄올 생산이 단위 cell당 생산량으로 보았을 때 월등하게 높다는 것이 그 한 예가 될 것이다. Bioreactor에서 세포를 고밀도로 유지하게 되면 고효율을 기대할 수 있으며 고밀도의 세포를 유지하기 위한 몇가지의 bioreactor들이 설계되었는데, 세포를 수확하여 recycle 시키는 형식과 물질의 표면에 잘 붙지 않는 미생물들은 capsule내에 고정하거나(encapsulated), trap형태로 고정되거나(entrapped) 얽매이는(bound)방법 등을 사용할 수 있다. 덩어리져 있는 상태의 세포에 대한 산소와 영양분의 mass transfer에 대한 연구는 biochemical engineering에 있어서 흥미로운 분야임에 틀림없다.

결론적으로 폐수처리에 있어서의 미생물학(microbiology)에 관해 이론적인 몇가지 부분들을 정리해 보았다. 위에서 언급된 부분외에도 체계적인 연구를 위해서는 폐수처리 시스템에서의 미생물 생육과 생육저해(growth inhibition)에 대한 체계적인 이해와 함께 미생물에 의한 대사(metabolism) 등에 대한 폭은 이해가 필요하다. 또한 실용화를 위해서는 미생물 제제의 개발과 함께 Mixed bacterial/mixed substrate system과 같은 하나의 시스템으로 종합적이고 체계적인 접근이 필요하다. 이제 우리나라에서도 환경친화형 공정으로의 생물학적 공정을 폐수처리에 적극적으로 활용해야 할 때가 되었다.