남해안 적조가 해안으로 확산되고 있는 거두리양식장 주변에서 어민들이 적조를 차단하기 위해 황토를 살포하고 있다.

2 수질환경기술

'미생물 활성화'로 오폐수 정화
- 전기화학적 활성 응용, 2차오염 차단

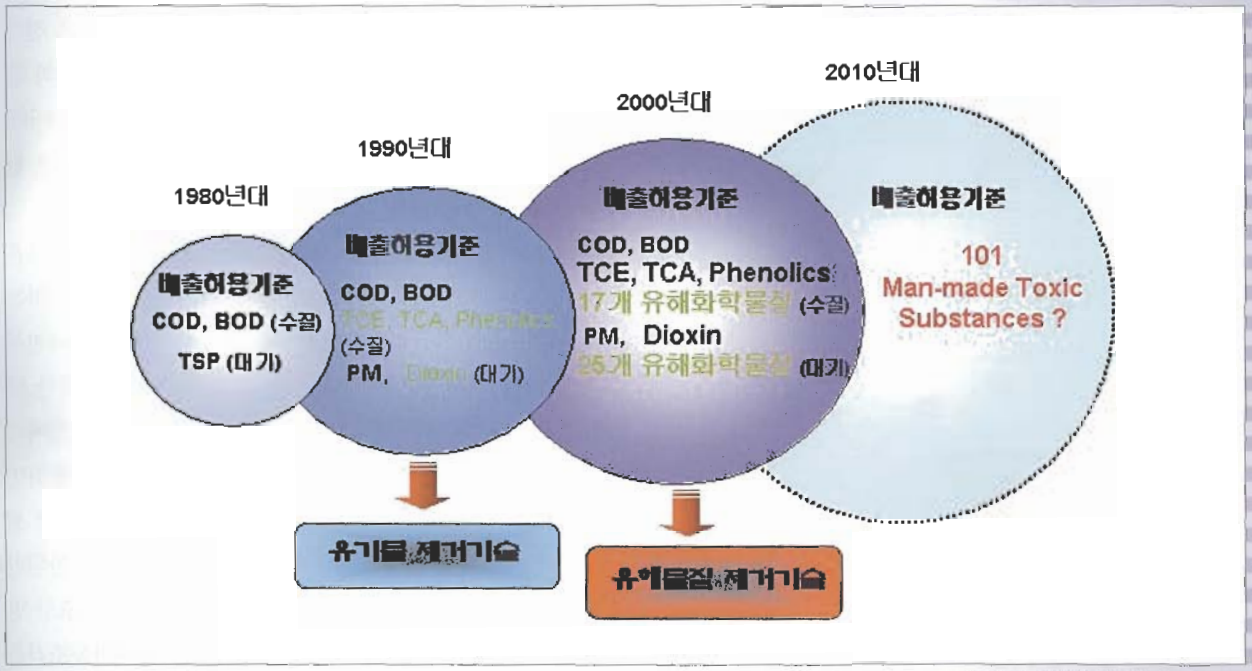
글_박대원 KIST 수질환경및복원연구센터 daewon@kist.re.kr

물은 생명이며 좋은 물이 건강과 직결된다는 선조들의 지혜는 현재에도 그대로 적용되고 있다. 특히, 환경오염이 날로 심각해지고 있고 건강에 대한 관심이 높은 요즘 현실에서는 좋은 물에 대한 요구가 날로 높아지고 있다. 점차 국민들은 어떤 물이 좋은 물인지, 안심하고 마실 수 있는 물인지 판단하기를 원하고 있고 정부에서 제시하는 수질을 판단하는 기준도 나날이 다양해지고 있다.

선진국은 유해화학물질 100종 관리

국내 수질환경기준의 변화를 보면 1980년대에는 화학적산소요구량 (COD), 생물학적 산소요구량(BOD)과 같이 물에 녹아있는 유기물의 총량으로 수질을 판단하였다. 1990년대초 페놀사건이 있은 후에는 유기물의 총량 기준에 페놀과 같이 특정 유해물질에 대한 기준이 첨가되기 시작하였다. 최근 들어 국내에서 사용되는 유해화학물질의 종류와 양이 급증하면서 2004년에는 17종의 유해화학물질을 수질기준에 포함시킬 것을 검토하고 있다. 우리 나라뿐 아니라 선진국에서도 이미 우리보다 많은 100종 이상의 유해화학물질을 수질기준에 포함시켜 관리하고 있다.

이와 같이 다양한 유해화학물질이 수질기준에 첨가될 것을



〈그림 1〉 국내 수질환경기준의 변화

예고하고 있으나, 현재 우리가 이용하고 있는 수처리 기술들은 주로 유기물 총량에 대비한 기술들이다. 따라서 가까운 미래에 우리에게 필요한 수질환경기술은 유해화학물질과 같은 새로운 수질환경기준을 만족시키기 위해 필요한 기술들이 될 것이다. 유해화학물질을 처리하기 위해서는 물리화학적 처리기술, 생물학적 처리기술 등 다양한 처리기술을 생각할 수 있으나, 최근의 기술발전이 이루어지는 것으로 보아 미생물을 이용한 생물학적 처리기술들이 대안으로 제시될 것으로 예상할 수 있다.

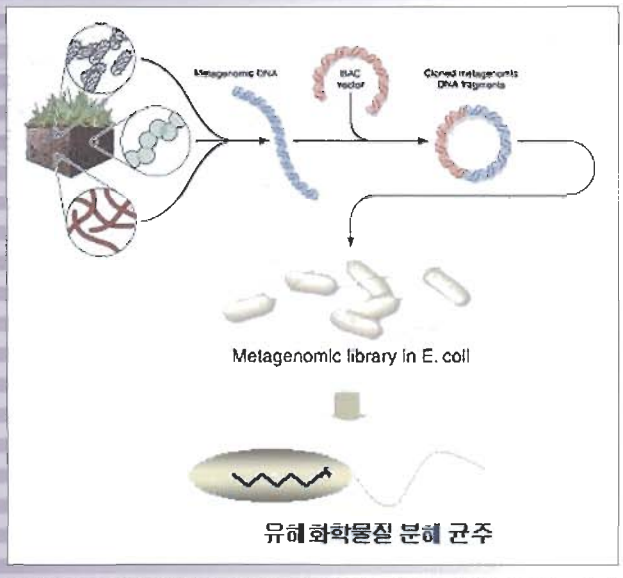
'자연을 자정하는 미생물' 찾아 배양

미생물은 자연의 자정작용에서 가장 중요한 역할을 하는 청소원이다. 미생물에는 박테리아, 곰팡이, 조류 등 다양하며 종류가 다양한 만큼 그들이 분해하는 대상물질도 매우 다양하다. 이러한 특성을 이용하여 유해물질을 처리하는데 활용한다. 예를 들면 주위에서 쉽게 발견되는 나무를 분해하여 흰색으로 만든다는 '화이트 로트 곰팡이(white rot fungus)'는 나무의 리그닌(lignin) 성분을 분해하는 곰팡이균이다. 이 균주는 복잡한 구조를 가진 고분자물질인 리그닌을 분해할 수 있기 때문에 그와 유사한 구조를 가진 다양한 유해화학물질을 분해하는데 사용되고 있다. 이외에도 미생물을 연구하는 많은 연구자들이 자연에서 새로운 기능을 가진 미생물을 지속적으로 분리하여 특성을 찾아내는 연구를 수행하고 있다.

그러나 많은 연구자들이 자연에서 미생물을 지속적으로 분리하였지만 실험실에서 분리하여 배양 가능한 미생물은 극히 일부이다. 예를 들어 〈표 1〉에서 보면 바다에서 지금까지 분리하여 실험실에서 배양 가능한 미생물은 단지 0.001~0.1%에 불과하다는 것이다. 또한 미생물 연구자들에 의해 가장 많이 연구가 된 토양에서도 실험실에서 배양 가능한 미생물은 0.3%

〈표 1〉 서식지별 배양 가능한 미생물의 비율

서식지	배양가능 미생물 비율 (%)
바다	0.001~0.1
하천	0.25
호소	0.1~1
연안해역	0.1~3
활성슬러지	1~15
강바닥	0.25
토양	0.3



〈그림 2〉 자연에서 유전체를 추출하여 새로운 기능의 미생물을 만드는 과정

에 불과하다. 따라서 99% 이상의 자연에 존재하는 미생물들은 아직 그 기능이 밝혀지지 않았기 때문에 어떤 유해화학물질도 분해할 수 있는 미생물을 찾을 수 있을 것이라는 기대를 하고 있다.

최근 생명공학기술의 발달은 실험실에서 배양할 수 없었던 미생물들을 배양할 수 있는 길을 열고 있다. 이제는 자연에서 미생물을 직접 분리하지 않고 〈그림 2〉와 같이 유전체를 분리한다. 분리된 유전체는 염기서열을 밝힌 후 자료들을 컴퓨터를 이용하여 정리하고 있다. 생명공학기술이 발달되면서 하나의 미생물의 유전체를 규명하는데 6개월에서 1년 이상 소요되던 일들도 요즘은 1~2주면 끝날 수 있어서 관련 작업도 점차 가속도가 붙을 것으로 예상된다. 이와 같이 규명된 유전체는 실험실에서 배양 가능한 미생물에 이전하여 기능을 밝혀내고 있다. 이러한 작업이 성공하면 아무리 많은 종류의 유해화학물질들이 우리 주위에서 취급되고 유통되어 환경을 오염시킨다하여도 새로운 미생물을 이용하여 해결할 수 있는 시기가 올 것이다.

미생물 환원 · 산화 응용, 에너지 문제 해결

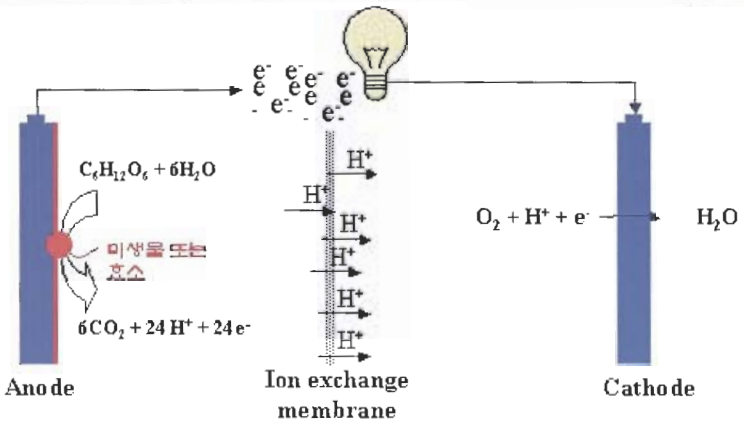
새로운 미생물 기능의 발견은 새로운 수처리 기술을 가능하게 한다. 예를 들면 최근에 발견된 미생물의 새로운 기능 중의 하나는 전류가 흐를 수 있는 전극과 전자를 주거나 받을 수 있는 전기화학적 활성이 있다는 것이다. 그 동안 미생물은 전기화학적 활성이 없는 것으로 알려져 있었으나 〈그림 3(a)〉와 같이 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 얻은 전자를 전극에 전달할 수 있는 미생물들이 발견되어 새로운 수처리 기술로 활용될 것으로 예상된다.

전기화학적 활성 미생물을 이용하여 기대할 수 있는 새로운 수처리 기술은 수질오염물질을 처리하면서 전기를 생산하는 기술이다. 만일 하수나 폐수를 미생물을 이용하여 정화하면서 전기를 생산할 수 있다면 우리 나라와 같이 자원이 부족한 나라에서는 환경문제와 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있어서 미래의 기술로 환영받을 것이다. 또한 이것을 거꾸로 이용하면 경제적으로 유해화학물질을 처리할 수 있는 새로운 기술이 될 수 있다. 미생물을 이용하여 유해화학물질을 산화 또는 환원반응을 통해 처리하기 위해서는 산화 또는 환원반응에 필요한 반응조건을 지원하여야 한다. 이전에는 산화 및 환원반응조건을 만들어 주기 위해서는 화학약품을 이용하여 조건을 조성하여 주었다. 그러나 이와 같은 경우 공급된 화학약품으로 인해 2차 오염이 발생할 수 있는 문제가 있었다. 만일 화학약품 대신에 전기화학적으로 산화나 환원의 반응조건을 만들어 줄 수 있다면 전자를 사용하기 때문에 2차오염을 발생시키지 않은 환경친화적이고 경제적인 기술이 될 것이다.

수질환경기술의 미래는 수질환경기준의 변화에 따라 같이

경찰에 적발된 수질환경오염 사례들

4대강 주요 상수원 수질환경오염사범 특별단속에 적발된 강원도 영월군 북면 농공단지 염 문곡천(왼쪽)과 강원도 철원군 동송읍 고석정유원지 일대 한탄강(오른쪽)



〈그림 3〉 전기화학적 활성 미생물을 이용한 전기생산 원리(a) 와 전기화학적 활성 미생물을 이용한 하폐수 처리장치 개념도(b)

변화되고 발전될 것으로 보인다. 지금까지 수질환경기준의 변화 추이를 보면 유기물질의 총량 기준에서 특정 유해화학물질들이 점차 수질환경기준에 첨가됨으로써 이를 만족시킬 수 있는 방향으로 수질환경기술이 발전할 것으로 예상된다. 유해화학물질의 처리를 위해서는 미생물을 이용하는 방법들이 가장 경제적인 방법으로 현재 평가되고 있으며 관련 기술의 발전을 위해서는 새로운 기능의 미생물들이 지속적으로 개발되어야 한다. 최근 생명공학의 발달과 함께 새로운 기능의 미생물 확보는 점점 실현가능한 기술로 평가되고 있으며, 새로운 미생물은 새로운 수처리 기술의 탄생을 예고하고 있다. 기존의 단순히 수질오염물질을 분해하여 처리하는 기술에서 벗어나 환경문제와 자원고갈 문제를 동시에 해결할 수 있는 수질환경기술로 발전해 나갈 것으로 예상된다.

글쓴이는 미국 툴사대학 환경기술연구센터 연구원, 캐시간주립대학교 환경공학과 객원조교수를 지냈다.