

폐수의 생물학적 처리 (Biological Treatment of Wastewater)와 미생물 종균제(Microbial Inoculant)

김갑진 (주)고합생명공학연구소 선임연구원

1. 서론

우리는 일상생활 속에서 끊임없이 폐수를 방출하고 있는데 일반가정의 생활하수, 다양한 산업시설이나 공장들로부터 배출되는 산업폐수는 어떠한 형태로든 환경에 나쁜 영향을 미치기 때문에 근본적으로 방류되기 전에 적절히 처리하여야만 한다.

폐수를 처리하는 방법으로 지금까지 실로 다양한 기술들이 개발되어 왔고 현재에도 계속 개발되고 있으나 생물학적처리 만큼 널리 이용되고 보편화된 기술은 아직 없다. 폐수를 생물학적으로 처리한다는 것은 미생물 (박테리아, 원생동물, 조류 등)들이 폐수에 포함된 유기물 (BOD 원인물질)이나 화합물질 (COD 원인물질)들을 잘 분해 할 수 있도록 주변의 물리적, 화학적 환경조건을 적절하게 유지시켜 주는 것을 의미한다.

생물학적 처리방법은 도시하수의 2차 처리, 슬러지 (sludge) 처리, 고농도 유기물 함유 공장폐수 등의 처리를 위해 많이 채택되며, 이들 방법은 산소와의 밀접한 관계를 유지하며 호기성처리 (활성 슬러지법, 살수 여상법, 산화지법, 회전 원판법, 호기성 소화법)와 혐기성처리 (혐기성 소화조, 부패조, Imhoff조, 혐기성 산화지)로 구별된다.

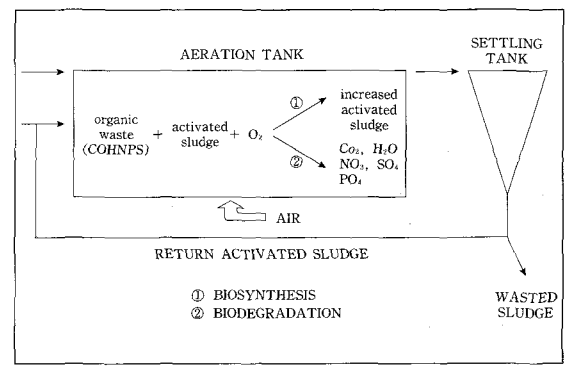


그림1 표준 활성슬러지 시스템에 의한 BOD(또는 COD)의 제거 모식도

2. 생물학적 폐수처리에 관련된 미생물

생물학적 폐수처리에 관여하는 미생물은 BOD와 COD의 1차 분해자 역할을 하는 박테리아 (Bacteria)에서부터 곰팡이류 (Fungi), 조류 (Algae), 원생동물(Protozoa) 등이 있다.

이들 중에서 폐수처리에 핵심적인 역할을 하는 것이 박테리아와 원생동물이다. 박테리아는 그 크기가 일반적으로 0.8-5 μ m (마이크로미터) 정도이며, 1,000배 정도의 광학현미경으로 관찰이 충분히 가능하고 산소와의 관계에

따라 호기성 (aerobic), 혐기성 (anaerobic), 임의성 (facultative anaerobic)으로 나누어진다. 또한 영양소에 따라 유기물을 탄소원과 에너지원으로 이용하는 종속 영양생균 (Heterotrophus)과 무기물을 이용하는 독립 영양생균 (Autotrophus)으로 나누어지게 되는데 생물학적 폐수처리에는 주로 생장에 유기물을 필요로 하는 종속 영양생균이 이용된다. 반면, 원생동물은 다양한 형태로 생물학적 폐수처리의 마지막 단계에 출현하여 BOD 또는 COD 원인물질을 분해, 증식한 박테리아의 최종 포식자가 되며 폐수처리의 지표미생물로 이용되지만 박테리아보다 주위 환경변화에 민감하여 독성물질이나 악성 산업폐수에 출현하는 경우는 다소 드물다.

3. 생물학적 폐수처리와 중균제의 이해

앞에서 지적한대로 생물학적 폐수처리 공정에서 박테리아와 원생동물이 핵심적인 역할을 담당하므로 활성 슬러지 (activated sludge) 시스템을 채택하고 있는 폐수처리 현장에서는 폭기조내의 박테리아와 원생동물의 상태를 적절히 유지하는 것이 필수적이다.

일반적인 하수 처리장이나 오수 정화조의 경우, 유입수의 관리와 폭기조의 적절한 운전조건 아래에서 폭기조내의 물질순환은 BOD (또는 COD)로 부터 박테리아를 거쳐 원생동물로 이어지는 하나의 독립된 생태계를 형성하게 되는데 이때를 현장에서는 활성오니가 안정화되었다고 표현하고 있다.

그러나 산업폐수의 경우에 있어서는 사실상 유입수 관리가 힘들고 설계용량보다 과부하 상태로 운전되고 있거나 적절치 못한 조건으로 운전되는 경우가 많은데 이러한 상태에서는 폭기조내의 활성슬러지 안정화 상태가 자주 혼란하게 되어 쇼크(Shock) 상태가 발생하게 된다. 이때 폭기조의 미생물들은 사멸되거나 유출되어 폭기조는 황폐화되고 외부로부터 새로운 미생물의 공급이 없거나 외부 환경이 개선되지 않는 한 수질은 급격히 악화되게 되는 것

이다. 일단 쇼크상태가 발생하면 산업폐수의 경우에는 하수나 오수에 비하여 회복 (Recovery)이 상대적으로 느린 것이 특징이다.

4. 중균제는 언제 필요한가

산업폐수의 경우에는 하수처리장이나 일반 정화조 시스템에 비하여 폭기조로 유입되는 미생물의 절대량이 부족하며 특히, 박테리아의 증식을 유도할 수 있는 유기물 함량이 부족한 경우가 많다. 이러한 경우에 중균제를 투입하게 되는데 일반적으로 COD에 대한 BOD의 비율이 60% 이하이면 생물학적 처리가 어렵다고 판단하며 경우에 따라 폭기조에 별도의 유기물만을 첨가하여 BOD를 높여 주기도 한다.

이러한 유기물만을 함유하는 제품을 관리제라고 하는데 현재, 중균제와 혼용되어 시판되고 있다. 그러나 일단 폭기조 미생물이 쇼크를 받게되면 관리제에 의한 유기물 투입만으로는 회복이 어려우므로 빠른 회복을 목적으로 하는 폐수에 적합한 다양한 미생물을 포함하고 있고 높은 생존수를 유지하며 빠른 활성화 능력을 지닌 우수한 성능의 중균제를 투입 할 필요가 있게 된다.

5. 어떤 중균제를 선택할 것인가

중균제의 범주에는 인위적으로 박테리아를 포함시킨 중균제와 박테리아를 첨가하지 않고 유기물 (BOD원)만으로 구성된 관리제가 있으며 현재, 그 의미는 중균제와 혼용되어 사용되고 있어 중균제 선택에 주의가 필요하다.

제품의 성상에 따라 중균제는 액상과 분말로 나뉘어지는데 액상제품은 MLSS (Microbial Liquor Suspension Solid)가 높은 현장에 유리하지만 COD가 높은 산업폐수에는 부적당하다.

또한 중균제는 제조공정에 따라 박테리아를 고체 발효

하여 건조시킨 제품과 액체발효로 농축배양 후 동결건조 시킨 제품으로 나눌 수 있다.

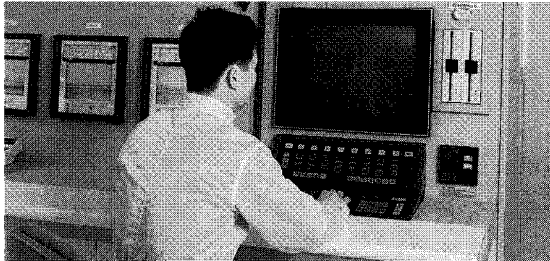


사진1 종균제 액체발효 및 농축설비

고체발효 제품은 제조공정이 단순하며 대량생산이 쉬워 가격도 저렴하지만 발효공정에서 일부 우점종 (Bacillus 속)의 균만 증식되기 때문에 다양한 종류의 박테리아를 필요로 하는 산업폐수의 특성에는 부적합한 단점이 있다. 동결건조 제품은 다양한 박테리아를 포함하고 높은 생균수를 유지하며 현장에 투입되면 빠른 활성을 나타내는 것이 특징이지만 다양한 설비와 장치를 필요로 하므로 제조단가가 높은 것이 단점이다.

부 국내업체에서도 동결건조 제품이 저렴하게 생산되기 시작하였다.

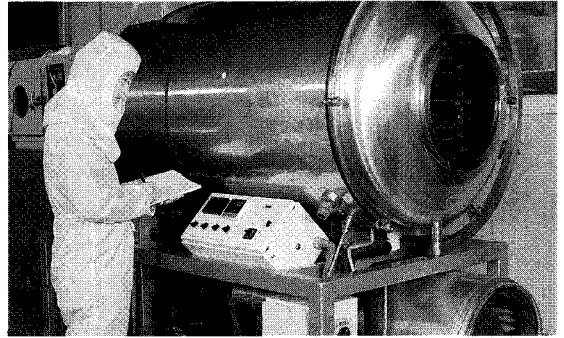


사진2 동결건조 설비

현재, 시중에 유통되는 제품은 고체발효 제품이 대부분이며, 너무나 많은 종류의 종균제가 유통되고 있어 제품선택이 어려운 실정이다. 하지만 종균제가 갖추어야 할 기본적인 조건들을 이해하고 다음의 간단한 Test들을 통하여 성능시험을 해보면 우수한 종균제를 선택하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

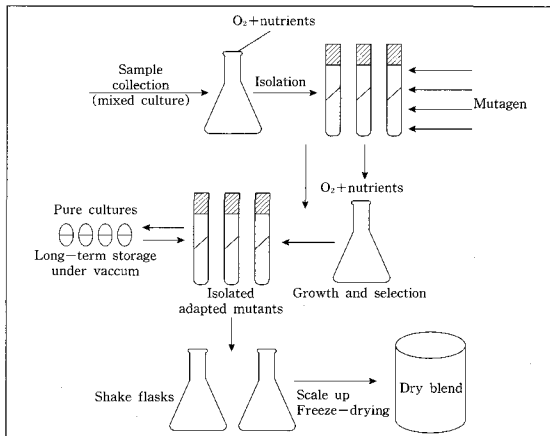


그림2 액체발효와 동결건조에 의한 종균제 제조공정

동결건조 제품은 대부분 수입에 의존하였으나, 최근 일

① 미생물 종균제는 적절한 수준의 생균수를 포함하고 있어야 한다.

만약 시중에 유통되는 제품을 수거하여 생균수를 검사해 본다면 생균수가 일정 기준 이하이거나 미생물(박테리아)을 포함하지 않은 제품 즉, 관리제인 경우가 많다는 것을 발견할 수 있을 것이다. 또한, 일부제품의 경우 생균수를 10⁹cfu/g 이상 또는 10¹⁰cfu/g 으로 표기하는 경우가 있는데 생균수 10⁹cfu/g 이상이면 그 의미가 약국에서 파는 유산균 제와 생균수가 비슷하거나 오히려 더 높다는 뜻을 알아야 할 필요가 있다.

② 종균제는 빠른 활성화 속도를 가져야 한다.

상온 (25℃) 에서 폭기조수가 아닌 수돗물이나 증류수에 1% 투입한 농도에서 최소한 72시간 이내에 활성화되

어 표면에 균막(菌膜)을 형성하면 우수한 종균제로 판단할 수 있다.

③ 종균제는 최소한 2 종류 이상의 미생물을 포함하여야 한다.

다양한 종류의 폐수에 적응키 위해서는 최소한 3 종류 이상의 미생물을 포함하는 제품을 사용할 것을 권고한다. 즉, 종균제에서 인위적으로 첨가된 3종 이상의 박테리아가 우점종으로 분리된다면 제대로 만들어진 종균제로 볼 수 있을 것이다.

④ 종균제는 박테리아의 증식을 도와주는 적절한 영양 물질을 포함하여야 한다.

종균제는 인위적으로 첨가된 박테리아뿐만 아니라 폭기조내의 다른 미생물의 증식도 도와 줄 수 있는 유기영양소 및 무기 영양원을 포함하고 있어야 한다.

⑤ 종균제는 난 분해성 물질이나 독성물질을 포함하지 않아야 한다.

폭기조에 투입되었을 때에 폭기조의 물리, 화학적 상태 변화를 야기할 수 있는 화학물질을 포함하지 않아야 하고 불용성 물질의 함량이 낮아야 한다. 일부 제품의 경우, 순간적이고 가시적 효과를 위하여 황산 알루미늄(반토) 등 무기 응집제나 침강제, 철염, 고분자 응집제 등을 첨가하고 있으나 이러한 제품을 지속적으로 사용하면 활성 슬러지에 나쁜 영향을 초래 할 수 있다.

⑥ 종균제는 목적 폐수에 대하여 COD와 BOD 제거능력을 발휘하여야 한다.

종균제는 선택에 앞서 Pilot test 등을 통하여 목적하는 폐수에 대하여 COD 또는 BOD 분해능을 나타내는 제품 인지를 사전에 확인한 후 선택하는 것이 바람직하다.

6. 종균제의 올바른 사용방법

현장에서 종균제를 사용하는 방법 또한, 종균제의 종류

만큼이나 다양하다.

일반적으로는 초기 시운전 (Seeding)시점에 대량으로 투입하고 활성슬러지의 활성화 상태에 따라 점차 사용량을 줄이는 방법이 널리 쓰이고 있다. 그러나 정상운전상태나 쇼크상태에서는 현장관리자에 따라 다양한 방법이 사용되고 있다. 크게는 일정량을 꾸준히 투입하는 방법과 수질이 악화되는 조짐이 있을 때 대량으로 투입하는 방법이 널리 통용되고 있다. 일정량을 계속하여 투입하는 방법은 폭기조에서 유실되는 미생물을 보충해 준다는 의미에서는 도움이 될 수 있을지는 모르겠으나 실제로 효과는 그 투입량과 제품의 생균수에 달려 있다. 예를 들어 10^7 cfu/g의 종균제를 1,000톤 규모의 폭기조에 매일 1Kg 씩 투여한다면 10^4 cfu/L 정도로 박테리아 수가 증가된다고 생각할 수 있다. 그러나 실제 이 정도의 값은 종균제를 투여하지 않고도 폭기조내에서 자연적으로 증식하는 미생물 수에 미치지 못하므로 이 정도의 투여량은 사실상 아무런 의미를 갖지 못한다. 만약에 이러한 경우 종균제의 생균수가 10^{10} cfu/g 이상인 제품을 사용한다면 효과를 기대 할 수도 있을 것이다.

종균제는 폭기조 미생물들의 쇼크회복 및 수질악화 사전방지가 목적인 만큼 올바른 종균제를 선택하여 사용하면 그 사용방법은 후자의 방법이 훨씬 효과적일 것이다. 아울러 우수한 종균제를 선택하여 사용하는 것도 중요하지만 그 보다도 먼저 고려하여야 할 생물학적 폐수처리에 있어서 가장 중요하고 필수적인 요인은 폐수처리 시스템의 적절한 운전조건임을 명심할 필요가 있다.

7. 맺음말

위에서 기술한대로 가장 좋은 종균제는 쇼크를 받지 않은 정상조건의 폭기조에서 우점종으로 존재하는 미생물(박테리아)들을 선별, 각각을 바이오리액터에서 순수배양

을 통하여 증식시킨 후, 액체상태로 직접 투여해 주거나 이들을 동결건조 (Freeze drying)한 상태로 보존하고 있다가 쇼크로 인한 문제 발생시점에 투여해 줄 수 있는 제품이라고 할 수 있을 것이다.

종균제 (種菌劑)는 이름 그대로 발효나 배양을 위한 미생물 종자를 의미하므로 우수한 성질의 균과 충분한 수의 생균수 (Viable counter)와 목적에 맞게 다양한 박테리아를 포함하는 미생물 복합체 (Microbial blend)를 의미하는 것으로 해석되어야 할 것이다. 또한, 종균제를 사용하는 소비자 입장에서는 현재, 혼용되는 폐수처리용 종균제와 관리제를 확실히 개념적으로 구별하고 총균수 (Total counter)와 생균수 (Viable counter)의 의미를 이해하여 제품을 선택한다면 지금보다 더욱 개선되고 우수한 종균제가 생산되고 시장에 자리잡을 수 있을 것이다.

※ 편집자주 : cfu (colony forming unit) : 박테리아의 생균수를 측정할 때 사용하는 단위로 박테리아 한 마리가 한 개의 콜로니 (균집)을 형성한다는 가정으로 희석평판 배지에 형성된 한개의 콜로니는 생균 한 마리로 본다.

- 상담 및 문의전화 : (042)861-5192

'환경관리인의 배움마당' 에서 주인을 찾습니다.

월간 <환경관리인>에서는 공부하는 환경인을 찾습니다. 어려운 현실에도 아랑곳하지 않고 현장을 지키는 환경파수꾼의 배움흔적을 찾아 '환경관리인의 배움마당' 에 소개하고자 하오니 환경업무에 종사하면서 석·박사 과정을 이수한 환경인은 학위논문(석·박사)을 보내 주십시오. 여러분의 학위논문을 소중하게 다루어드리는 '환경관리인의 배움마당' 에 환경인 여러분의 많은 참여 바랍니다.

- ❁ 원고는 수시로 받습니다.
- ❁ 학위논문 발표기간은 상관하지 않습니다.
- ❁ 보내주신 원고는 돌려드리지 않습니다.