

미생물 실험을 이용한

## 생물학적 폐·하수처리

이 문 호 |

이호환경컨설팅 대표이사

한국과학기술원 생물공학과 이학석사, 국립환경과학원 12년 근무

('95~현재) 이호환경컨설팅 대표

tel. 031-407-8001 | leehojamun@hanmail.net

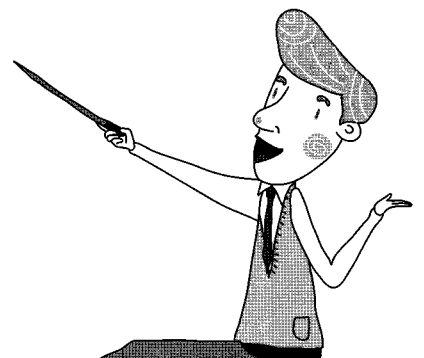
## 폭기조의 미생물들 행복(Happy)하십니까?

축고 배고픈 것이 얼마나 서럽고 고통스러울까. 폭기조내 미생물들을 축지 않게, 배고프지 않게 해주어야 행복해진다. 미생물들이 행복하지 않으면 BOD제거도 질소제거도 이루어지지 않는다.

폐수처리장 또는 하수처리장을 운전하는데 가장 중요하게 사용되는 파라미터가 F/M비다. 그래서 처리공법별로 권장하는 F/M비 범위내에 유지시킬려고 많은 노력을 기울이지만 현장의 사정이란게 그렇게 간단하지만은 않다. 그래서 어떤 처리장은 F/M비가 너무 높아서 걱정이고 어떤 처리장은 F/M비가 너무 낮아서 걱정이다. 먼저 F/M비가 너무 낮게 운전되면서(미생물들이 배부르게 먹지 못한다.) 트러블이 일어나기까지의 과정을 살펴보고자 한다.

F/M비가 낮으면 잉여슬러지생산량이 아주 적거나 아니면 오히려 폭기조 MLSS가 감소하게 된다. 폭기조 MLSS가 감소하는 것은 생산되는 MLSS보다 자기산화에 의해 감소되는 MLSS가 더 많기 때문이다. 이런 상태라면 슬러지생산량이 아주 적기 때문에 슬러지인발량도 아주 소량이다. 그러면 자연적으로 슬러지의 SRT도 아주 길어지게 된다. 따라서 F/M비가 낮을 때 나타나는 후생동물(Rotaria, Lecane 등)과 SRT가 길 때 나타나는 유각육질충류(Arcella, Euglypha)가 우점된다. 그러나 이 상태로 계속 유지되다가 어느날 갑자기 폭기조슬러지가 검은색으로 변하거나, 거품이 대량 발생되거나, 슬러지용량(SV30)이 크게 감소하면서 침전조 상등액이 아주 혼탁해지거나, 처리효율이 급격히 떨어진다. 물론 이러한 트러블이 전부 한꺼번에 일어날 수도 있지만 일부만 일어날 수도 있다. F/M비가 아주 낮으면 슬러지미생물의 증식이 미약하여 슬러지플럭의 응집성이 낮아져 플럭생성이 어려워진다. 또한 F/M비가 낮으면 슬러지미생물의 자기산화가 일어나서 슬러지플럭은 점점 얇아지고 작아지며 플럭이 흩어져 미세한 파편으로 깨어진다. 물론 살아있는 미생물의 수는 점점 줄어들고 대신 이런 미세한 파편들이 점점 증가하게 된다. 그러면 폭기조에서는 공기방물에 이 미세한 파편들이 붙어서 수면에 뜨게 되어 거품을 유발한다. 이런 현상이 계속되면 거품량이 점점 많아지고 나중엔 거품에 의해 슬러지까지 부상하여 폭기조

\*연재\*



수면에 쌓이게 된다. 거품이나 슬러지를 걷어내는 특별한 조치가 행해지지 않으면 폭기조 수면에 슬러지가 계속 쌓이게 된다. 폭기조에서 침전조로 월류되어 넘어가지 않는한 폭기조 수면의 슬러지가 빠져나갈 방법이 없기 때문이다. 결국 거품이 폭기조에서 넘치기도 하고 부상한 슬러지가 수면에 많이 쌓이면 폭기 자체를 할 수 없게 된다.

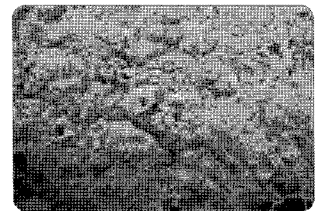
폐수처리나 하수처리는 화학반응과 같다. 미생물의 먹이가 되는 BOD와 이 BOD를 분해, 산화시키는 미생물(화학반응에서 촉매)이 서로 접촉하지 않으면 분해반응이나 산화반응이 일어나지 않는다. 그런데 폭기조내 대부분의 MLSS가 거품과 함께 폭기조수면에 떠있으므로(스킴 아래의 물속에는 MLSS가 아주 낮은 농도이다) BOD와 접촉 기회가 없다. 따라서 처리효율이 급격하게 감소하는건 당연하다. 그리고 BOD제거가 잘 이루어지지 않으므로 폭기조내 BOD는 높아지는 반면 폭기조 물속에는 MLSS가 낮으므로 F/M비가 아주 높아지게 된다. F/M비가 높으면 DO가 올라가지 않는다. 따라서 폭기조에서 부패가 일어나 슬러지는 검은색으로 변하게 된다. 폭기조의 DO가 낮으므로 원생동물의 증식이 저해되어 처리효율은 더욱 낮아진다. 물론 DO가 결정적인 환경인자로 작용되는 질산화반응도 일어나지 않는 것이 당연하다. 이렇게 악순환이 지속되면서 슬러지플럭은 해체가 되어 슬러지용량(SV<sub>30</sub>)은 계속 감소하고 상등액은 계속 혼탁해진다. 원수는 폭기조로 계속 유입되므로 세균은 과다하게 증식하여(포식자인 원생동물이 없으므로) 산소를 거의 독차지 한다. 다행히 조금 회복이 되면 이 세균을 잡아먹는 편모충류(F/M비가 높을 때 증식)가 나타나기 시작한다. 따라서 폭기조에는 F/M비가 낮을 때 나타나는 미생물(대부분 사멸된 시체)과 F/M비가 높을 때 나타나는 미생물이 공존하게 된다. 물론 완전 회복되기까지 이런 상태가 어느 정도 지속된다. 또한 슬러지플럭의 형태는 F/M비가 높으므로 덩어리가 커고 두꺼운 플럭이 생기고 높은 F/M비에서 DO가 낮으므로 플럭 속은 검은색이다. 근원적인 대책은 낮은 F/M비로 운전이 계속될 때(슬러지해체가 일어나기 전) 검경을 매일 하면서 Arcella, Euglypha 등의 수적 증가가 빠르게 진행되거나, 후생동물이 너무 우점되거나, 침전조상등액이 혼탁해지는 기미가 보이면 F/M비를 높여주는 대책을

실행해야 한다. F를 높여줄 BOD원이 있으면 주입해 주거나(한꺼번에 많이 주입하는 것은 슬러해체를 촉발시킴) 이것이 여의치 않으면 폭기조MLSS를 낮춰주는 방법을 취한다. 물론 N제거를 위한 고도처리장에서는 슬러지인발에 신중을 기해야 한다. 그러나 이미 슬러지해체가 일어났다면 즉시 폭기조내의 슬러지(죽은 미생물)를 최대한 인발하여 처분하고 혼탁된 상등액도 응집시켜 슬러지로 처분하거나 또는 부상분리(폭기조에 폭기를 최대로 하여 수면에 슬러지가 부상되면 그 스킴을 전부 빼내는 방법)등을 통해 빨리 빼내야 한다. 그래야 거품이 일어나지 않는다. 이 조치를 취한 다음 다른 처리장에서 활성슬러지를 운반해와서 투입시키고 또 활성이 좋은 종균제가 있으면 같이 투입해 주는 것도 회복을 앞당기는 방안이다.

어떤 환경요인에 의해 폭기조 미생물이 행복하지 못하여 트러블이 발생하는 예를 아래에 들어보고자 한다.

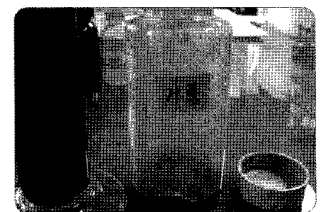
### 1. 양돈폐수

폭기조에서는 심한 거품이 발생된다. 폭기를 계속하면 거품이 넘치게 된다. 그리하여 폭기를 중단해야 할 정도로 거품발생이 심하다.



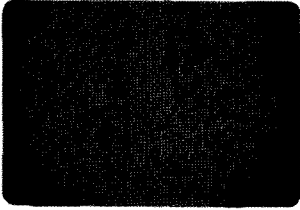
(사진 1) 폭기조에서 심한 거품이 발생 (죽어 풀는 듯한 모양)

이 거품을 퍼서 정치시켜두면 거품이 사그라지고(사진-2) 물만 약간 남는다. 이 물속에 미세한 슬러지가 포함되어 있다. 만약 거품유발미생물이 증식되어 거품이 발생되었다면 거품을 정치시켜 두어도 거품이 사그라지지 않는다. 이것이 진단하는데 크게 도움된다.

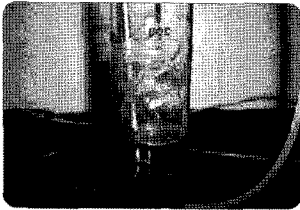


(사진 2) 한 병 가득 채워온 거품이 모두 사그라졌다

폭기조슬러지에는 유각육질충류인 Euglypha가 우점되고 사진-3에서 보듯이 개체수도 많다.



〈 사진 3 〉 폭기조슬러지에 Euglypha가 우점



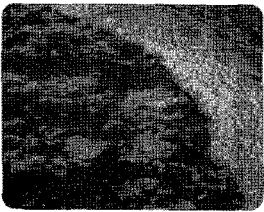
〈 사진 4 〉 폭기조혼합액을 폭기했을때 거품발생

폭기조 슬러지를 채취해와서 실험실에서 폭기를 하면 곧바로 거품이 발생되어 메스 실린더 상부로 올라가는데 거품이 꺼지면 거품에 붙어있던 슬러지가 남아 사진-4에서 보듯 곁쪽한 죽처럼 메스실린더벽에 붙는다.

폭기조MLSS가 높고 SRT가 길게 운전되면서 미세한 고형물이 많이 생성되어 심한 거품이 유발되고 있다. 폭기조혼합액을 원심분리하여도 상등액 30mL를 여과하기 어려울 정도로 미세고형물이 많다.

## 2. 식품폐수

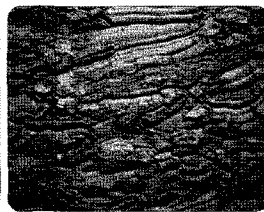
역시 폭기조에 거품이 발생되고 그대로 방치해두므로서 심한 스킴이 형성되었다. 아울러 폭기조의 슬러지가 대부분 스킴으로 존재하고 물속에는 MLSS가 낮아 BOD제거효율이 크게 떨어졌다.



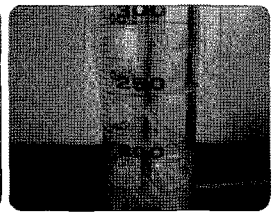
〈 사진 5 〉 초기에는 주로 거품이 일어난다



〈 사진 6 〉 거품이 슬러지를 수면으로 밀어올려 스킴이 형성된다

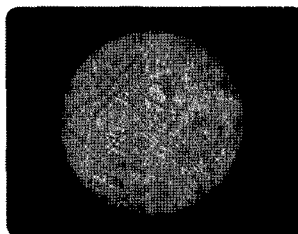


〈 사진 7 〉 스킴은 더욱 농축되어 마치 탈수케이크처럼 된다



〈 사진 8 〉 폭기조혼합액을 폭기하면 곧바로 거품이 발생된다

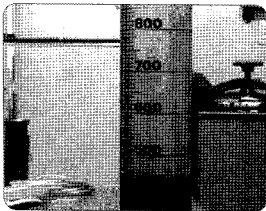
폭기조에 형성된 스킴의 모양과 폭기조혼합액을 폭기했을 때 발생하는 거품의 양상이 앞서 양돈폐수와 매우 흡사하다. 이 식품폐수 역시 낮은 F/M비, 긴 SRT로 운전되고 있었다. 그러나 앞의 양돈폐수와는 달리 이 식품폐수에는 사진-9에서 보듯 사상체가 많이 증식되어 슬러지 침강성마저 불량하다.



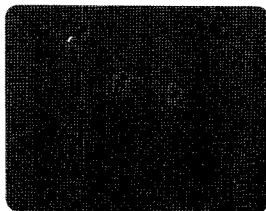
〈 사진 9 〉 별킹유발 사상체가 변창함

3. 하수 - 1

슬러지 자기산화가 많이 진행되면 슬러지의 모양이나 특성이 활성슬러지보다는 무기고형물에 가깝다. 따라서 침강성을 보면 활성슬러지보다 훨씬 빨리 가라앉는다. 또 활성슬러지는 이웃하는 플러과 엉키면서 가라앉지만 자기산화슬러지는 독자적으로 곧 바로 아래로 거의 직선적으로 가라앉는다. 사진-10에서 보면 4분만에 슬러지는 전부 가라앉을 정도로 침강속도가 빠르다. 그러나 무기고형물처럼 독자적으로 가라앉으므로 상등액에는 미세한 고형물이 남게 된다(사진-11). 물론 이 고형물은 크기가 작지만 하루정도 정치시키면 거의 가라앉고 상등액은 맑아진다. 그러나 체류시간이 하루나 되는 침전조는 없으므로 상등액의 고형물은 방류수로 빠져나간다. 그래서 폭기조의 MLSS는 점점 감소하게 된다. 자기산화가 진행되는 슬러지에는 소형아메바가 나타나기도 한다(사진-12). 폭기조MLSS의 감소와 살아있는 미생물의 함량이 적으므로 자연적으로 F/M비가 높아져 DO가 낮아지므로 슬러지색을 검은색을 띄는 경우가 많다.



< 사진 10 > 4분만에 슬러지는 전부 가라앉고 상등액은 혼탁함



< 사진 11 > 30분 침강시간후의 상등액



< 사진 12 > 자기산화슬러지의 소형아메바

이 슬러지 역시 트러블의 발단은 F/M비가 낮게 운전되었다는 것이다. 그러므로서 슬러지 자기산화가 많이 진행되어 슬러지부패, 상등액 혼탁, 폭기조MLSS 감소, 처리율 저하 등의 트러블이 발생된다.

4. 하수 - 2

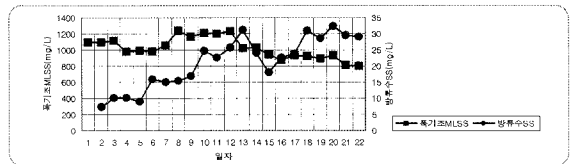
사진-13에서 보듯이 슬러지는 약간 검은색이고 SV<sub>30</sub>은 20%이며 30분 침강 후 상등액은 핀플러으로 매우 혼탁하다.

2월의 평균수온은 8.8℃였다. 현장조사 자료를 그래프로 그려보았는데 그림-1에서 보면 방류수의 SS가 점점 증가하였다. 2월초에는 10mg/L이하이던 것이

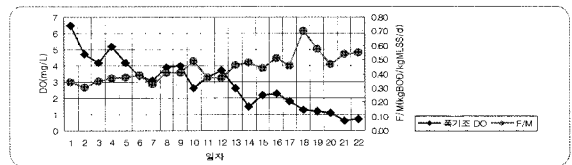


< 사진 13 > SV<sub>30</sub>  
(왼쪽 : 폭기조혼합액, 오른쪽 : 방류슬러지)

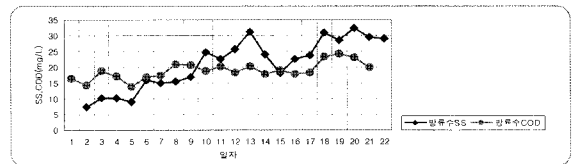
2월말경에는 30mg/L이상으로까지 증가하였다. 이에 따라 폭기조MLSS는 점차 감소하여 2월초 1,000~1,200mg/L이던 것이 2월말에는 800mg/L로 감소하였다. 폭기조MLSS가 점차 감소하면서 자연적으로 F/M비의 증가가 수반되었다. 다시 F/M비의 증가는 폭기조 DO의 감소를 초래하였다. 이러한 관계는 F/M비와 DO의 상관성이 매우 높기 때문이다. 폭기조의 DO가 2월초에 6.5mg/L이던 것이 2월말엔 1mg/L이하로 떨어졌다(그림-2). 수온이 8.8℃인데도 DO가 1mg/L이하로 떨어진 것이다. 이것이 슬러지색을 검게 변화시키는 요인이다.



< 그림 1 > 폭기조MLSS와 방류수SS(2월, 평균수온 : 8.8℃)



< 그림 2 > F/M비와 폭기조DO(2월, 평균수온 : 8.8℃)



< 그림 3 > 방류수 SS와 COD<sub>Mn</sub>(2월, 평균수온 : 8.8℃)

결국 높은 F/M비와 낮은 DO 때문에 방류수의 수질은 악화된다. 그림-3에서 2월 한 달동안 방류수의 SS와 COD<sub>Mn</sub>이 계속 증가하였다. 특별한 조치가 없다면 이런 증상은 계속될 것이다. 이 하수처리장에서는 방류수 수질 악화에 낮은 수온이 가장 크게 작용했을 것으로 보인다.

다음호에 계속 ...