

하·폐수처리장의 미생물학적 트러블에 대한 진단기법

이 문 호 |

이호환경컨설팅 대표이사

한국과학기술원 생물공학과 이학석사, 국립환경과학원 12년 근무
(’95~현재) 이호환경컨설팅 대표
tel. 031-407-8001 | leehojamun@hanmail.net

활성슬러지 플럭의 해체와 처리수질악화

연재

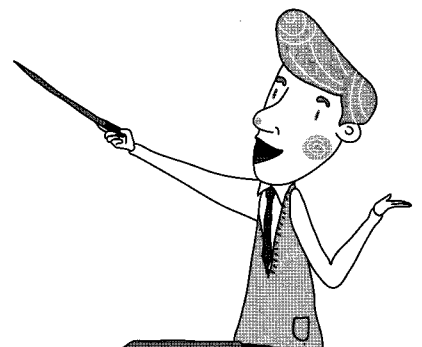
활성슬러지의 플럭이 해체되어 처리수가 매우 혼탁해지는 트러블이 일어날 수 있는 요인을 정리해보면 다음과 같다.

- ▷ 충격부하
- ▷ 독성물질 유입
- ▷ 산, 알칼리 유입에 의한 pH변화
- ▷ 고온
- ▷ 너무 긴 폭기시간
- ▷ 너무 낮은 F/M비
- ▷ 활성슬러지 전면교체
- ▷ 슬러지 점성생성
- ▷ 고평이 과다증식
- ▷ 환절기 수온변화

1. 충격부하에 의한 슬러지해체

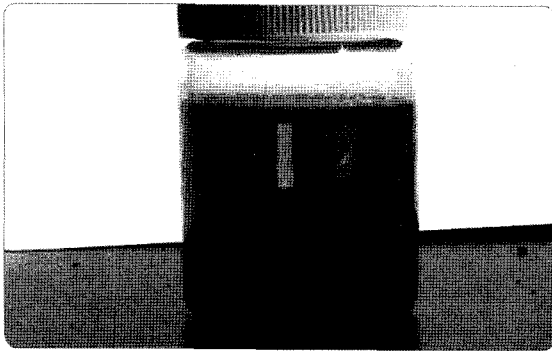
갑자기 BOD부하량이 크게 증가되면 F/M비가 증대되어 산소소비속도가 크게 높아진다. 그리하여 폭기에 의한 산소공급속도보다 산소소비속도가 더 높으므로 산소가 부족되어 폭기조의 슬러지는 부패된다(사진-1). F/M비가 아주 높으면 증식되는 세균은 플럭을 형성하지 않고 세균 한 마리 한 마리가 분산되어 돌아다닌다. 이것을 우리는 분산세균이라 부른다(사진-2). 이 세균들이 침전조에서 가라앉지 않고 부유하므로 침전조상 등액에는 세균의 수가 굉장히 많아 침전조를 봤을 때 우유빛으로 보인다. 아울러 처리수의 SS, BOD, COD_{Mn}가 높게 나온다.

폭기조의 DO가 제로이므로 원생동물이 증식할 수 없다. 원생동물이 증식되지 않으므로 플럭의 형성이 되지 않고 또 먹이가 되는 세균의 수가 줄어들지 않으므로 상등액이 맑아지지 않는다. 폭기조의 DO가 정상으로 회복되지 않는 이러한 현상이 계속된다.



평소 F/M비가 낮게 운전되는 처리장 일수록 충격부하의 충격이 더 심하게 나타나 DO결핍으로 슬러지해체가 일어날 가능성이 더 높다.

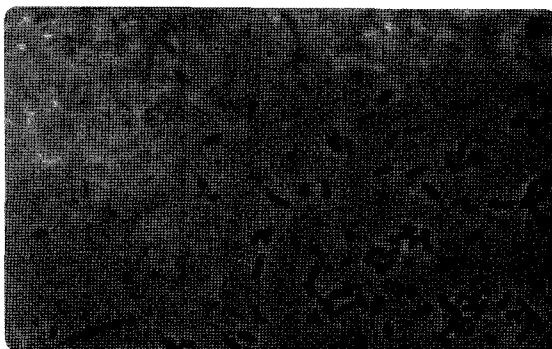
〈 사진 1. 충격부하에 의한 슬러지부패 〉



충격부하라고 해서 꼭 침전조가 우유빛으로만 되는 건 아니다. 경우에 따라선 폭기조 슬러지가 부패되어 검은색으로 변하면서 침전조의 물도 약간 검은색으로 보일 수 있다. 이것은 잔존BOD에 의해 침전조에서 부패가 진행되고 있기 때문이다.

충격부하가 약할 때에는 슬러지에 나선균(DO가 매우 낮을 때 증식되는 세균)이 증식되고 원생동물로서 편모충류가 다수 증식되기도 한다. 이때도 상등액이 혼탁한 것은 마찬가지인데 미세한 플럭, 편모충류, 분산세균 등이 부유되어 침전조는 옅은 황색을 띤다.

〈 사진 2. 플럭 주위의 분산세균 〉



충격부하에 의해 슬러지가 해체될 경우 유입부하량을 감소시키고, 활성이 높은 미생물을 폭기조에 투입해서 F/M비를 낮춰주고, 폭기량을 최대로 해서 DO를 높여 주어야 한다.

2. 독성물질 유입에 의한 슬러지해체

표-1에 농수산물센타의 반응조별 수질을 나타냈다. 독성물질이 유입되어 슬러지가 해체되고 12일이 경과한 수질이다. 12일이 지났지만 아직 활성슬러지가 정상으로 회복되지 않은 상태라 폭기조의 MLSS가 1,500mg/L 정도에 불과하다. F/M비가 높으므로(MLSS가 낮으므로 상대적으로 높은 F/M비) 분산세균이 많이 증식되고 침전조에서 이 분산세균이 처리수로 유출되어 버리기 때문에(처리수 혼탁) 폭기조의 MLSS를 증대시키기 어렵다. 즉 유입BOD를 먹이로 하여 증식된 세균이 플럭을 형성하고 침전조에서 가라앉아줘야 슬러지반송으로 폭기조의 MLSS가 증대된다. 표-1에서 보면 침전조의 NH₃-N이 95mg/L로 질산화가 이루어지지 않고 있다. 질산화의 회복이 느리다는 것을 알 수 있다. 유입수의 TDS가 11,700mg/L로 소금기가 많은 폐수이므로 폭기조의 DO를 높게 유지시키기가 쉽지 않을 것으로 짐작된다.

〈 표 1. 반응조별 수질(농수산물시장폐수) 〉

구분	유입수	무산소조	폭기조-1	폭기조-3	침전조
SS	600	-	1,480	1,500	193
S-COD _{Cr}	480	345	345	270	280
NH ₃ -N	93.55	90.66	101.7	98.94	95
PO ₄ -P	10.5	10.8	12.7	12.9	11.6
TDS	11,700	-	-	-	9,600
pH	7.73	7.81	8.14	8	7.79

단위: mg/L(pH제외)

〈 사진 3. 독성폐수 유입으로 원생동물 사멸 〉



〈 사진 4. 독성폐수 유입으로 생성된 미세한 슬러지조각 〉



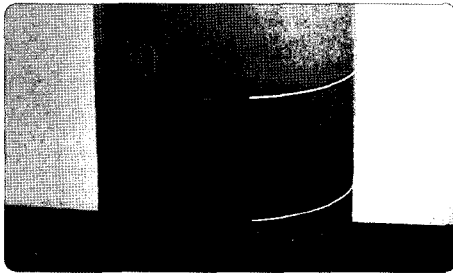
독성물질이 유입되면 가장 먼저 원생동물과 후생동물이 사멸하게 된다(사진-3). 독성이 약할 때는 원생동물, 후생동물이 죽지는 않더라도 운동성이 없어지고 섬모충류는 먹이를 섭취하는 섬모활동을 멈추게 된다. 그리고 독성물질 유입으로 슬러지플럭이 깨어지면 미세한 슬러지조각이 많이 생긴다(사진-4). 이 조각들은 너무 작기 때문에

침전조에서 부유되므로 침전조상등액이 혼탁해진다.

3. 산, 알칼리 유입에 의한 pH변화

pH조정을 위해 탈질조에 황산이 자동으로 주입되고 있는데 pH Meter의 전극이 오작동되는 바람에 황산이 과다하게 투입되었다. 그리하여 폭기조의 pH가 2이하인 상태로 아무런 조치없이 상당시간 경과하여 슬러지해체가 일어났다(사진-5). 슬러지가 해체되면 슬러지용량(SV₃₀)은 크게 줄어들고 해체된 슬러지로 인하여 상등액은 아주 혼탁해진다. 이 상등액이 침전조에서 유출되므로 방류수의 SS가 급증하고 COD_{Mn}도 크게 증가된다.

〈 사진 5. 황산 유입으로 해체된 슬러지 〉

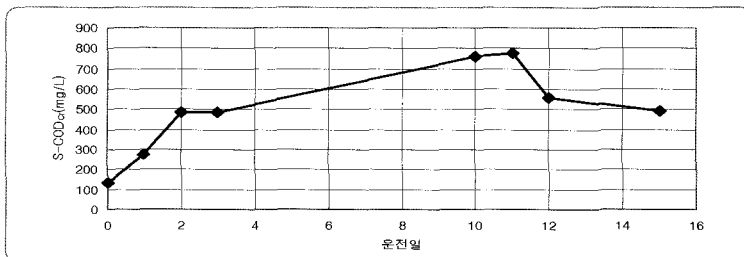


폭기조의 pH가 2이하로 내려갔다고 하더라도 곧바로 pH를 중성으로 조정 해주면 폭기조 미생물에 미치는 영향은 적다고 한다.

4. 고온에 의한 슬러지해체

고온이 처리수질에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험실에 Pilot를 설치해 놓고 제지폐수를 유입시키며 실험을 해보았다. 폭기조에 히터를 설치하여 온도를 조절해 주었다. 그림-1에서 보면 폭기조의 수온을 42℃로 운전하자 곧바로 용존COD_{Cr}이 증가하기 시작해서 운전 11일째에는 용존COD_{Cr}이 780mg/L까지 올라갔다. 11일째에 폭기조의 수온을 30℃로 조정해주자 처리수의 용존COD_{Cr}이 다시 내려가기 시작했다. 폭기조의 수온을 높여주자 처리수가 갈색으로 변화되더니 점점 색도가 짙어졌다. 그리고 상등액이 조금씩 혼탁해졌다. 슬러지의 해체로 처리수의 SS 증가뿐 아니라 용존의 유기물이 많이 생성됨을 볼 수 있다.

〈 그림 1. 고온에 의한 처리수의 용존COD_{Cr} 증가(10일까지 42℃로 운전, 11일부터 30℃로 운전) 〉



5. 너무 긴 폭기시간으로 인한 슬러지해체

폭기시간이 너무 길면 슬러지가 과산화되어 플러크가 얇아지고 부서진다. 슬러지 플러크의 두께가 아주 얇으므로 (사진-6) DO가 낮아도 플러크 내부까지 산소가 충분히 들어가므로 산화는 계속된다. 그러므로 폭기조의 DO를 낮춰주는 조작으로는 산화를 억제하기 어렵고 폭기시간을 대폭 줄여야 한다.

폭기시간이 긴 경우 대체로 슬러지용량(SV₃₀)은 매우 적다. 그리고 슬러지의 미생물상도 원생동물과 후생동물로 우점되는 경우가 많다. 때로는 SRT가 길 때 나타나는 원생동물인 *Arcella*(사진-6)나 *Trinema*가 아주 많은 수로 나타나기도 하며 DO가 높을 때 나타나는 *Coleps*가 아주 많은 수로 나타나기도 한다. 그리고 후생동물로는 *Rotaria*, *Lecane* 등이 아주 많이 나타날 수도 있다. 그러나 상대적으로 세균의 수는 적어지게 된다.

폭기시간이 길다고 하여 트러블이 반드시 동반되는 건 아니다. 폭기시간이 긴 슬러지에 갑자기 BOD부하가 증가했을 때 트러블이 일어난다. 폭기시간이 길 때 폭기조의 슬러지량은 적고 그 슬러지에 세균의 함량도 적다.

이런 상황에서 BOD가 조금만 높게 유입되면 F/M비가 갑자기 높아져 슬러지해체가 일어날 수 있다. 갑작스런 F/M비 증대는 폭기조 슬러지의 부패를 가져와 슬러지가 검게 변하고 침전조상등액은 미생물 사멸로부터 우려나온 색도 때문에 거의 붉은색에 가까운 짙은 갈색을 띠게 된다. 그래서 폭기시간이 아주 긴 처리장에서는 유입 BOD의 관리가 매우 중요하다.

〈 사진 6. 과산화된 슬러지 〉

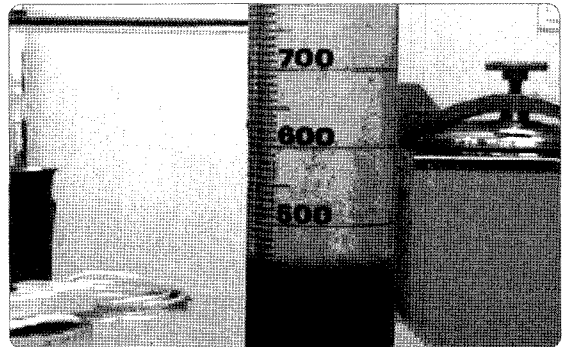


6. 너무 낮은 F/M비로 인한 슬러지해체

폭기조의 슬러지량에 비해 유입되는 BOD부하량이 너무 적어서 F/M비가 극히 낮다. 이런 상태로 오래 지속되면 미생물의 증식이 거의 없고 오히려 미생물의 사멸이 진행된다. 그리하여 폭기조의 MLSS는 점점 감소하게 된다. 미생물의 증식이 일어나지 않으므로 슬러지플러크를 형성할만한 점성물질이 생기지 않아 플러크끼리 엉기는 현상이 사라지게 된다. 그리하여 슬러지가 가라앉을 때 마치 모래와 같은 무기고형물이 가라앉듯이 슬러지가 수직으로 가라앉는다. 그래서 슬러지의 침강속도는 매우 빠르다(사진-7, 정지 4분 후의 사진이다.). 그러나 슬러지가 가라앉으면서 서로 엉김이 없으니까 미세한 슬러지 조각을 끌어안고 가라앉는 메카니즘이 없어지게 된다. 그래서 슬러지가 가라앉은 후 상등액에 미세한 슬러지 조각들이 많이 남아서 상등액이 혼탁하다.

폭기조에 미생물증식이 미약하기 때문에 비록 MLSS는 어느정도 있을지라도 실제 F/M비는 낮아서 대체로 슬러지는 부패되어 검은색을 띤다.

〈 사진 7. 침강속도가 빠른 슬러지 〉



이와 유사한 현상이 나타날 수 있는 다른 환경요인으로 저온이 있다. 유입수에 BOD는 어느정도 있는데(이때는 F/M비가 낮지 않다.) 수온이 너무 낮아 미생물증식이 일어나지 않는 경우다. 이때도 슬러지는 검은색으로 되고 슬러지용량(SV₃₀)은 적고 슬러지 침강속도는 아주 빠르다. 그리고 상등액 역시 혼탁하다. 이 경우에는 유입 BOD가 완전히 제거되지 못하고 잔존되므로 처리수의 BOD도 높다. 즉 BOD제거율이 낮은 것이다. 결국 먹이인 BOD는 있지만 수온이 너무 낮아 미생물증식이 일어

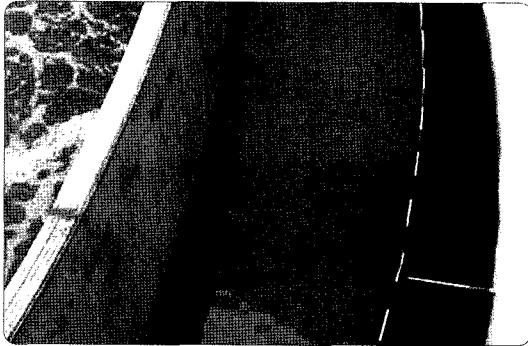
나지 않기 때문에 일어나는 현상이다. 너무 낮은 F/M비와 일어나는 환경 요인은 다르지만 나타나는 증상은 매우 비슷하다.

7. 슬러지 전면교체에 의한 슬러지해체

폭기조에 방선균이나 *Microthrix parvicella*가 과잉번식하여 거품과 스킵이 심하게 일어났을 때 폭기조의 슬러지를 전부 빼내지 않으면 안될 상황이 되기도 한다. 그러면 감압으로 폭기조의 슬러지를 전부 빼낸 후 다른 처리장에서 슬러지를 가져와 폭기조에 다시 채우는 대책을 실행하기도 한다. 이럴 경우 투입된 슬러지가 새로운 폭기조환경에 적응하지 못하고 해체가 일어나 침전조에서 해체된 슬러지가 유출될 수 있다.

방선균과 같은 장해 미생물의 증식이 아니더라도 지나치게 심한 거품의 발생으로 폭기가 불가능할 때, 또 어떤 요인으로 폭기조에 슬러지부상이 심하게 일어났지만 슬러지를 가라앉힐 방법이 없을 때 어쩔 수 없이 폭기조의 슬러지를 전부 빼내게 된다. 물론 슬러지가 부상된 상태이므로 슬러지를 빼내는 것은 쉬울 수 있다. 그러나 외부슬러지를 투입하여 정상으로 회복시키기가 어려울 수 있는데 이때 폭기조의 BOD가 높은 환경이 슬러지해체에 가장 크게 영향을 주는 것으로 생각된다.

〈 사진 8. 외부슬러지 투입후 침전조 혼탁 〉



또 이와 유사한 현상이 나타날 수 있는 경우는 시운전 때다. 폭기조에 원수를 조금 채워넣고 외부에서 슬러지를 가져와 투입하고 폭기를 시작하는게 일반적인 시도다. 이때 폭기조의 물은 지하수 등으로 희석을 했다 하더라도 성분은 원수 그 자체로서 유기물이 전혀 분해되지 않은 그대로다. 그래서 유기물에 의한 거품이 일어날 수 있다. 그리고 외부슬러지를 투입하지만 충분한 양을 투입하지 못하기 때문에 F/M비가 높다. 따라서 높은 F/M비에 따른 산소부족도 슬러지해체의 요인으로 될 수 있다.

외부에서 가져온 슬러지는 방류수 수질과 비슷한 폭기조환경에 적응된 슬러지라는 사실을 생각하면 어떤 환경을 만들어 놓고 외부슬러지를 투입해야 할 지 판단이 설 것이다. 폭기조의 BOD가 높으면 좀더 빨리 미생물이 증식

될 것이고 아울러 슬러지량을 빨리 증대시킬 수 있다고 생각하여 실수를 저지른다. 그래서 시운전기간을 단축 시킬려는 욕심 때문에 벌어지는 사고가 많다.

8. 슬러지 점성생성에 의한 슬러지해체

원수중에 N, P와 같은 영양염류가 전혀 함유되어 있지 않은 폐수도 있다. 이런 폐수의 처리에서는 적어도 N, P만이라도 적당한 양을 투입해줘야 한다. 하지만 유입 BOD량에 따라 적정량을 투입해주시란 쉬운 일이 아니다. 그래서 가끔 N, P투입량이 부족되어 슬러지에 점성이 생기는 경우를 본다. 점성이 심하게 일어나는 경우를 보면 폭기조물이 마치 물엿처럼 걸쭉한 상태다. 이보다 점성이 낮다 하더라도 일단 슬러지에 점성이 생기면 슬러지 침강이 아주 불량해지고 슬러지 플럭도 풀어지게 된다. 역시 상등액이 혼탁해진다.

9. 곰팡이 증식에 의한 슬러지해체

곰팡이는 pH가 산성일 때 잘 증식한다. 폭기조의 pH가 산성으로 되기 쉬운 폐수는 당과 같은 탄수화물이 많이 함유된 폐수다. 아이스크림폐수, 사탕폐수, 음료폐수 등에서 곰팡이가 잘 증식될 수 있다.

사진-9에서 보면 정상적인 슬러지를 찾아보기 힘들 정도로 곰팡이가 번창했다. 이렇게 되면 슬러지 침강은 아예 기대할 수 없어 폭기조의 MLSS를 높여줄 수 없다. 그래서 자연히 F/M비가 높아져 DO부족으로 인한 슬러지 부패가 일어난다. 당연한 결과이겠지만 BOD처리효율이 급격하게 떨어진다.

그런데 곰팡이 과다증식의 문제는 정상회복이 어렵다는 데 있다. 폭기조에서 곰팡이만 제거할 방법은 없다. 그러므로 곰팡이를 제거하려면 슬러지 전부를 빼내야 한다. 슬러지 전면교체로부터 정상회복이 어렵다는 건 이미 말했다. 그러면 슬러지를 전부 빼내지 않고 회복시키는 방법은 없는가? 폭기조가 산성으로 되지 않게 pH를 계속 조정해주는 방법이다. 그러나 이 방법도 폭기조가 이미 곰팡이로 우점된 상태에서는 유입BOD를 세균보다 곰팡이가 먼저 이용할 확률이 높으므로 곰팡이를 줄이는데 효율이 낮다. 외부에서 슬러지나 미생물을 투입하는 방법도 가능하지만 이것 역시 투입된 세균이 곰팡이와의 싸움

에서 이기도록 pH를 조절해줘야 한다.

〈 사진 9. 곰팡이 증식 〉



10. 환절기 수온변화에 따른 슬러지해체

슬러지해체의 원인이 분명하지 않은 경우도 있다. 계절이 바뀌는 환절기에(특히, 겨울에서 봄으로 넘어갈 때) 폐수처리의 조건이 변화된 것이 전혀 없었는데도 슬러지해체가 일어나는 경우가 있다. 아마도 환절기의 환경 중에 낮과 밤의 기온차가 큰 조건이 슬러지해체에 가장 크게 영향을 주지 않았나 생각된다. 그러나 이것은 추정일 뿐 슬러지해체가 일어나는 메카니즘을 설명하기 어렵다. 어쨌거나 많은 처리장에서 슬러지해체와 유사한 트러블을 환절기에 알려오고 있다.

슬러지해체의 증상은 비슷하다. 상등액이 매우 혼탁해지고 처리수의 SS, COD_{Mn}가 급증한다.

다음호에 계속 ...

