

생물학적 하·폐수처리 실제(6) -활성슬러지의 기타 이상현상

(슬러지부상, 해체, 슬러지형성 불량 등)

이 문 호

이호환경컨설팅 대표이사
(한국과학기술원 생물공학 석사)

■ 목 차

1. 생물학적 폐수처리의 관리에 고려해야 할 사항
2. 산업폐수별 폐수특성과 처리에서의 문제점
3. 생물학적 폐수처리의 이상현상 발생과 결과
4. 별킹의 발생과 실제
5. 거품, 스크임의 발생과 실제
6. 슬러지부상, 해체, 슬러지형성 불량 등의 문제

지금까지 5회에 걸쳐 생물학적 하폐수처리에서 처리장 관리에 고려해야할 운전조건, 산업폐수별 폐수 특성을 설명하였고, 그리고 슬러지 이상현상으로서 별킹, 거품, 스크임에 대해 발생원인과 현상 및 각각에 대한 사례들을 살펴보았다.

마지막호로서 기타의 슬러지 이상현상에 대한 사례를 살펴보려고 한다.

이상현상 중에서 어떤 것은 운전조건이 부적절하여 일어나고 또 어떤 것은 유입수내 기질의 특성상 어쩔 수 없이 일어나기도 한다. 전자의 경우로서 대표적인 것은 탈질에 의한 슬러지부상이다. 유입수내 암모니아농도가 매우 높거나 낮은 F/M비에서 과도한 폭기가 이루어지고 있거나 할 때 침전조에서 탈질이 일어나 질소가스가 슬러지에 부착하므로써 슬

러지가 부상하게 된다(사진-1). 그러나 폭기량의 감소, F/M비 조절 등 운전조건의 변경으로 슬러지부상을 방지할 수 있다.

하지만 기질적인 요인으로 인해 일어나는 이상현상은 그 대책이 매우 어려운 경우가 많다. 다음에 기질적인 요인에 의한 것, 그리고 극단적인 환경요인에서 기인한 이상현상의 사례 몇가지를 살펴보고자 한다.

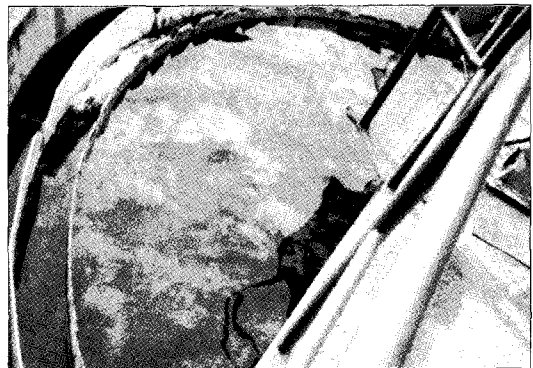


사진-1 : 탈질에 의해 슬러지가 침전조 수면에 부상

1. 사례-1

*처리공정

원수 → 집수 → 부상분리 → 폭기 → 침전

→ 소독 → 방류

***원수**

생선젓갈폐수(CI-농도 : 2%이상)

유량 : 150m³/d

BOD : 15,000mg/l

S S : 9,000-14,000mg/l

N-H : 50-60mg/l

악취 심함, 검은색

***집수조**

용량 : 150m³

***폭기조**

용량 : 500m³, 조가 3개

***이상현상**

- 슬러지형성이 불량, 슬러지 침강성 불량
- 악취 심함 → 민원
- 폭기조 슬러지 검은색
- 침전조 수면에 부상된 슬러지가 두꺼운 스크럼 형성함
- 방류수의 SS, BOD, COD 모두 아주 높음
- 원생동물 극히 적음

젓갈폐수는 BOD, SS농도가 높을 뿐아니라 기름성분이 많고 또 염분농도가 높은 것이 특징이다. 활성슬러지에 영향을 주지 않는 한계 CI-농도는 5,000~6,000mg/l라고 한다. 그런데 젓갈폐수의 CI-농도는 2% 이상이다. 따라서 일부 섬모충류, 그것도 극히 적은 수밖에 활성슬러지에 존재하지 않는다. 그러므로 슬러지의 플럭형성과 침강이 불량해지는건 당연하다.

그리고 높은 BOD, 그리고 기름성분, 더하여 염분의

존재라는 환경조건으로 부패가 쉽게 일어나 집수조, 폭기조의 슬러지는 완전히 검은색이고 심한 악취가 발생된다. 1차처리로서 부상분리를 하지만 기름성분이 충분히 제거되지 않고 남아 침전조에서 슬러지를 부상시키는 요인으로 작용하며 방류수의 SS, BOD, COD가 높게 나타난다.

이처럼 오염물질 중에는 낮은 농도일때는 별반 문제가 되지 않거나 오히려 미생물에 이용되기도 하지만 고농도일 경우에는 활성슬러지에 독성물질로 작용하는 것이 많다. CI-도 고농도라서 활성슬러지에 대해서는 독성물질로 보아야 할 것이다. 이처럼 염분농도가 높은 폐수(김치, 침출수 등)의 처리에서는 젓갈폐수와 비슷한 문제점을 안고 있다. 그러나 염분의 처리법으로는 역삼투법, 이온교환수지법, 전기투석법 등이 있는데 많은 비용이 소요되므로 이용하기가 어려운 실정이다.

2 사례-2

***처리공정**

원수 → 1차집수 → 접촉포기 → 부상분리 → 2차집수 → 접촉포기 → 침전 → 방류
 세척폐수는 2차집수조로 유입됨

***원수**

식혜폐수(30m³/d, BOD : 8,000mg/l, pH : 3.2)

새척폐수(100m³/d, BOD : 1,400mg/l, pH : 4.0)

***집수조**

용량 : 50m³(1차), 140m³(2차)

***접촉포기조**

1차(용량 : 130m³, 조가 2개)

2차(용량 : 260m³, 조가 4개)

***이상현상**

- 효모증식 --> 방류수 혼탁
- 곰팡이 증식 --> 벌킹
- 활성슬러지에 점성이 있음

식혜폐수내에는 엿당(maltose)이 많이 들어 있다. 엿당은 미생물에 의해 아주 쉽게 분해, 산화된다. 그리하여 집수조에서 이미 미생물이 증식하게 되는데 엿당은 당이기 때문에 당농도가 높을 때는 세균 대신에 효모가 증식하기 쉽다. 효모가 증식하여 당이 분해되어 유기산이 생산되므로 집수조의 pH가 3.2까지 저하되고 있다.

당연히 원수의 pH를 먼저 조정 한 후에 폭기조로 유입시켜야 하겠지만 pH의 조정에 많은 양의 알칼리가 소모되므로 처리경비가 많이 소요된다. pH를 조정한다해도 집수조에서 이미 증식해버린 상당한 농도의 효모는 어쩔 수 없이 폭기조로 유입될 수밖에 없다.

폭기조의 pH가 6이하로 유지되면 폭기조에 곰팡이가 증식하기 시작한다. 곰팡이는 낮은 pH에서 잘 증식하는 특성이 있어서 낮은 pH가 지속되는 한 자연히 곰팡이가 폭기조에 우점하게 된다. 그리하여 곰팡이증식에 의한 벌킹이 일어나게 되는 데 사진-2에서 보듯이 곰팡이는 분지를 하며 사상체가 세균보다

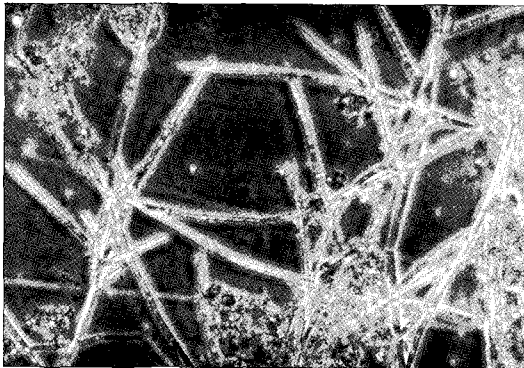


사진-2 : 곰팡이가 증식하여 벌킹이 일어난 활성슬러지

훨씬 굵다. 열기설기 없혀있는 곰팡이 군사에 걸려 슬러지가 쉽게 가라앉지 않으므로 역시 슬러지 침강성이 불량해지는 벌킹이 일어난다.

결국 당농도가 높은 폐수의 처리에서는 효모가 증식하여 처리수가 혼탁해지고 낮은 pH로 인해 곰팡이가 증식하여 벌킹이 일어날 수 있으며 당농도가 특히 높은 식혜폐수와 같은 경우에는 때때로 슬러지에 점성이 나타날 수도 있다. 따라서 당폐수의 처리가 쉬워 보이면서도 상당히 많은 문제를 일으키므로 처리가 매우 까다롭다.

슬러지에 점성이 생기는 것이 당농도가 높을 때 미생물이 나중에 먹을려고 저장물질로서 고분자의 탄수화물을 합성하기 때문이다. 심할 경우 활성슬러지가 젤리처럼 되는 경우도 있다. 슬러지에 점성이 생기면 응집제를 주입하여도 슬러지의 침강이 잘 되지 않는다. 먼저 점성을 없애는 게 급선무다. 점성을 없애려면 폐수의 유입을 차단하고 폭기를 최대한으로 하여 하루정도 폭기를 하면 된다. 폐수유입 중단으로 먹을 양식이 고갈되므로 미생물은 저장물질을 소비해버리므로 점성이 사라진다. 점성슬러지는 점성을 먼저 없앤다음 응집제를 주입해야 한다.

당폐수에서는 효모의 증식을 근본적으로 방지하기는 매우 어렵다. 따라서 효모의 증식으로 처리수가 혼탁될 경우 후처리로서 응집침전을 할 수도 있다.

3. 사례-3

***처리공정**

원수 --> 집수 --> 폭기 --> 침전 --> 방류

***원수**

당면제조폐수(고구마전분, 밀가루)

유량 : 100m³/d, BOD : 400mg/l

‘집수조

용량 : 120m³

‘폭기조

용량 : 240m³, 조가 2개

*이상현상

- 폭기조에 거품 발생
- 폭기조혼합액이 미끈미끈하고 점성이 있음
- 슬러지 침강이 잘 안됨
- 방류수 혼탁

당면제조의 원료는 거의 전분이 유일하다. 따라서 C/N비가 극히 높은 폐수가 생산된다. 미생물의 증식에는 당연히 적당한 양의 염류가 필요하다. N, P, Mg, Ca, Fe 등 여러 가지 염류가 필요하겠지만 가장 중요한 것은 N, P의 공급이다.

N, P 등 염류의 공급이 불충분하면 활성슬러지에 점성이 생긴다. 미생물이 고분자탄수화물을 합성하여 세포 주위에 다량으로 저장하기 때문이다. 점성슬러지를 염색해서 현미경으로 관찰해보면 미생물세포 주위의 고분자물질이 함께 염색이 되어 미생물세포가 상당히 크게 보인다.



사진-3 : 점성슬러지 염색에 의해 점성물질이 염색되어 세포의 크기가 크게 보임

사진-3에서 보면 세균의 세포크기가 원생동물 편모충류크기만 하게 보인다. 그리고 세균세포의 주위에 있는 점성물질 때문에 염색이 완전히 이루어지지 않아 세균세포가 떠엄떠엄 밖혀 있는 모양을 볼 수 있다.

활성슬러지에 점성이 생기면 폭기에 의해 거품이 일어난다. 물론 방선균에 의한 거품발생처럼 아주 심각하지는 않지만 거품발생의 문제가 야기되며 소포제를 주입해도 효과가 없다. 사례-3의 경우 하루 100m³처리의 소규모 처리장이므로 거품발생에 의해 폭기조의 슬러지가 넘쳐 사람이 걸어다니는 곳에 슬러지가 쌓이게 되는 걸 볼 수 있었다. 점성슬러지가 이처럼 넘치면 아주 미끄러워 사람이 넘어져 다칠 수도 있다.

사례-3에서 처럼 C/N비가 극히 높고 폐수내 기질이 1~2종으로 국한되는 폐수에서는 활성슬러지의 미생물종이 다양하지 못하다. 미생물종이 다양하지 못하면 크고 단단한 플러크이 형성되지 않으며, 증식하는 세균이 플러크를 형성하지 않고 흩어져 증식하는 분산증식을 하게 되므로 침전조 상등액에는 미세한 플러크이나 아니면 분산된 세균세포가 포함되어 상등액이 매우 혼탁해진다.

점성이 있으면 사례-2에서 언급했듯이 슬러지 침강성이 불량해진다. 따라서 사례-3에서도 슬러지 침강성이 불량한 문제가 일어나므로 역시 슬러지의 점성을 없애는 게 급선무이다.

4. 사례-4

*처리공정

원수 → 집수 → 응집침전 → 폭기 → 침전 → 방류

(응집침전처리수 2, 500-3, 000m³/d 재활용)

***원수**

제지폐수

유량 : 800m³/d, 응집침전 후 CODMn : 700mg/l

***집수조**

용량 : 1,000m³

반송슬러지의 20-30%가 집수조로 반송됨

***폭기조**

용량 : 2,500m³, 조가 6개

MLSS : 1,000mg/l, DO : 3.0-3.5mg/l

***이상현상**

- 방류수가 매우 혼탁(슬러지 해체)
- 원생동물 Arcella의 수가 매우 많음
- 약 20여일간 폐수유입이 없었음

활성슬러지가 주위 환경의 지배를 절대적으로 받는 집적배양(enrichment culture)이라는 것은 주지의 사실이다. 주위의 환경에는 DO, 온도, pH 등의 환경과 영양적인 환경이 있다. 영양적인 환경은 활성슬러지에서는 주로 F/M비로 나타낸다. 지나치게 높은 F/M비, 지나치게 낮은 F/M비는 활성슬러지에서 문제를 일으킨다.

사례-4에서는 지나치게 낮은 F/M비에서 일어난 문제이다. 장기적으로 어쩔 수 없이 낮은 F/M비로 운전할 수밖에 없는 그런 처리장도 문제가 발생하지만 사례-4는 오히려 사고라는 표현이 더 적당할 것이다. IMF의 영향으로 제지회사가 제한가동을 하므로서 폐수의 발생이 중단된 결과로 일어난 문제이다.

약20여일간 폐수의 유입이 중단되므로서 활성슬러지가 먹을 양식이 고갈된 상태로 20여일이 경과한 것이다. 더구나 폭기조의 DO는 3.0mg/l 이상으로 유지된 채...

활성슬러지의 미생물은 활동과 증식에 필요한 영양이 부족하게 되면 자기산화가 급속히 일어난다. 자기산화의 진행은 결국 폭기조의 MLSS감소를 초래하게 되는 데 지금 사례-4의 경우는 너무 오래 동안 폐수유입이 중단되어 활성슬러지의 감소단계를 지나 슬러지해체에 이른 것이다.

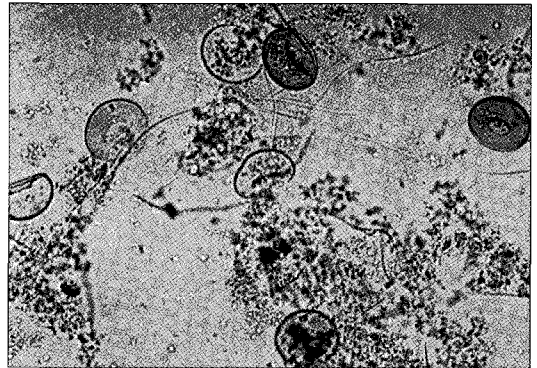


사진-4 : 극히 낮은 F/M비에서 슬러지해체가 일어남. 원형의 것은 원생동물 Arcella임.

사진-4에서 보면 슬러지 플러키가 완전히 풀어 흩어진 것을 볼 수 있고 원생동물인 Arcella가(원형의 세포) 많이 증식한 것을 볼 수 있다. 슬러지해체가 일어나면 해체된 슬러지가 침전조 유출수로 나가므로 처리수의 수질(SS, COD, BOD)이 매우 악화되며 중국에는 폭기조내의 활성슬러지가 침전조유출을 통해 처리장밖으로 빠져나가므로 폭기조내에는 활성슬러지농도가 크게 감소하여 2차적인 문제가 발생된다. 즉 폭기조내 활성슬러지가 거의 빠져나간 상태에서 폐수가 유입되면 이번에는 극단적으로 높은 F/M비에 의해 활성슬러지는 부패가 일어나 활성슬러지가 새까맣게 변한다.

