

생물학적 하·폐수처리 실제(4)

-벌킹의 발생과 실제

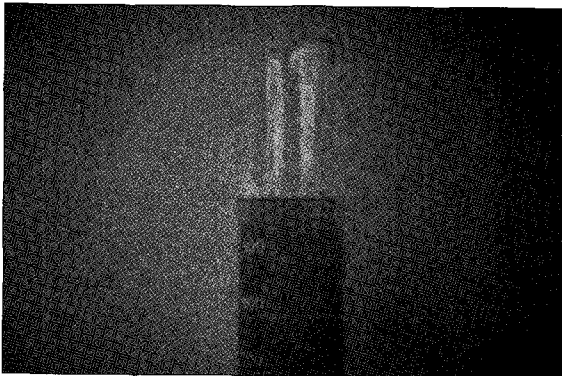
이 문 호

이호환경컨설팅 대표이사
(한국과학기술원 생물공학 석사)

■ 목차

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

활성슬러지법에서 가장 취약한 부분이 바로 슬러지 침강성이 불량해지는 벌킹의 빈발이다. 벌킹은 슬러지가 뽁뽁하게 침강하지 않고 슬러지가 마치 솜처럼 부푼 양상을 띠는 것을 말한다.(사진-1)



〈사진 - 1.벌킹슬러지(침강성이 불량)〉

다음에 몇가지 벌킹의 사례를 살펴보면서 벌킹의 원인과 결과를 알아보려고 한다.

1. 사례-1

* 처리공정

원수---->집수---->폭기---->침전---->활성탄여과---->방류

* 원수

- 우동생산폐수
- 유량: (폐수 150m³/d + 오수 20m³/d)
- 배출시 수온: 65℃
- BOD: 1,500~2,000mg/l

* 집수조

- 용량: 110m³

* 폭기조

- 접촉포기법
- 용량: 120m³ x 4조(HRT: 2.4H)
- 폭기조 DO: 3~5mg/l

* 이상현상

- 일년내내 SV30이 85% 이상

- 심한 벌킹이 종종 발생(Type 021N과 Thiothrix)
- 점액성슬러지가 종종 발생

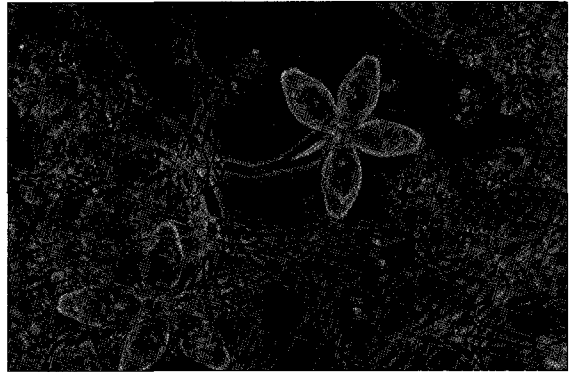
우동의 생산은 우동면을 만들어 끓는 물에 삶은 다음 포장을 하는 과정을 거친다. 그리하여 하루종일 우동을 삶은 물이 저녁이 되면 폐수처리장으로 배출이 되는 데 물론 뜨거운 폐수다. 집수조로 유입되는 폐수의 수온이 약 65℃ 정도이다.

하루종일 우동면을 삶았으니 유기물이 많이 우려난 물이며 麵조각 등 SS도 다량 함유된 뿌연 물로서 BOD가 1,500~2,000mg/l였으며, 대부분의 폐수가 저녁 7시나 8시경 일시에 배출된다는 것이 폐수처리를 더욱 어렵게 만들고 있다.

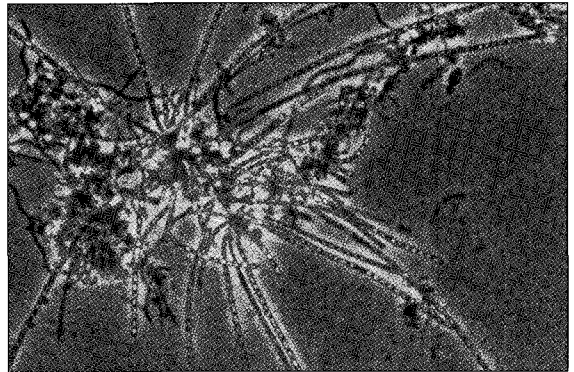
대부분의 폐수가 밤시간 동안에 처리되므로 관리인의 세심한 관리가 어렵고 또한 폐수가 집수조에서 곧바로 폭기조로 유입되므로 1번폭기조의 수온은 30℃를 넘는게 일반적이고 여름철 같으면 35℃~40℃까지도 상승하게 된다.

즉 우동생산폐수는 미생물에 의해 쉽게 이용될 수 있는 기질(전분)을 함유하고 있으며 또한 그 기질은 성분이 거의 탄소(C)로서 N, P함량은 극히 적다는 것도 특징이다.

그러나 뭐니뭐니해도 가장 문제가 되는 처리조건은 수온이 높다는 것이다. 수온이 높으면 미생물의 활성이 매우 활발해져서 같은 BOD농도라 하더라도 산소소비속도(Oxygen Uptake Rate)는 수온증가에 따라 급격히 빨라지게 된다. 그리하여 폭기조의 DO농도가 3~5mg/l라 하더라도 미생물에게는 산소결핍이 일어날 수 있으며, 수온이 높으면 미생물의 증식속도 또한 아주 빨라진다. 따라서 이렇게 빠른 증식에 필요한 C원은 폐수내에 충분히 존재하지만 N, P공급속도는 불충분하여 N, P결핍이 일어나기 쉽다. DO결핍, N, P결핍은 활성슬러지 벌킹의 중요한 원인이 되어 사례-1의 폐수처리장에서는 거의 일년내내 SV30이 85% 이상으로 지속되며 Type 021N(사진-2)과 Thiothrix(사진-3)사상체가 다량 증식되어 벌킹슬러지를 형성한다. 때



〈사진 - 2. 사상체 Type 021N〉



〈사진 - 3. 사상체 Thiothrix〉

로는 벌킹이 더욱 심화되어 방류수의 수질이 악화되는 경우도 있으며 활성슬러지에 점성까지 나타나는 경우도 종종 있다. 이 점성벌킹은 전적으로 N, P의 결핍에서 야기되는 이상현상이다.

사례-1에서 얻을 수 있는 교훈은 폐수의 성상이나 유량 못지않게 수온이 벌킹의 원인으로 작용하는 비중이 우리의 상상을 훨씬 뛰어넘는다는 것과 폭기조의 DO농도가 어느 정도 이상이라고 안심할 수는 없다는 것이다. 폭기조의 DO농도보다 우리가 더 관심을 가지고 벌킹의 원인분석에서 반드시 조사해야 할 분석항목은 바로 활성슬러지의 산소흡수속도(Oxygen Uptake Rate, OUR)임을 명심해야 할 것이다.

불행하게도 많은 폐수처리장이 고온문제를 겪고 있으며 특히 여름철에 처리에 어려움을 겪는 곳이 많다. 고온폐수

는 원수의 생각외에는 뚜렷한 대책이 없다는 게 안타까운 일이다.

2. 사례-2

* 처리공정

원수--->집수--->응집침전--->폭기--->침전--->응집침전--->활성탄흡착--->방류

* 원수

- 섬유제조폐수(PVA함유)
- 유량 : 200~250m³/d
- BOD : 600~900mg/l
- SS : 200~500mg/l

* 집수조

- 용량 : 200m³ (HRT=1H)

* 폭기조

- 용량 : 700m³, 조가 5개 (HRT=3H)
- MLSS : 3,000mg/l

* 이상현상

- SV30이 거의 100%
- 다발을 이루는 사상체 우점
- 메스실린더에 3일간 방치해도 슬러지가 검은색으로 변화 안됨

사례-2는 섬유제조폐수로서 약간의 PVA를 함유하는 폐수이다.

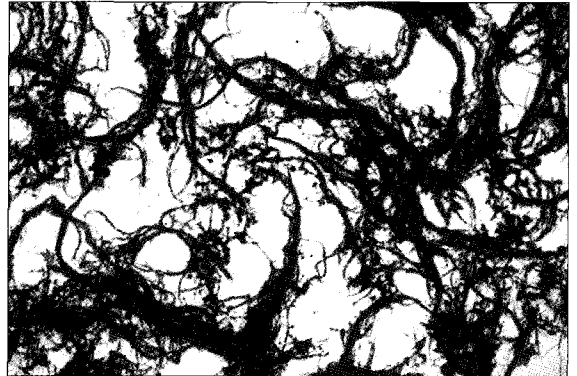
F/M비는 0.05~0.1kg-BOD/kg-MLSS/day, 폭기시간은 약3H로서 전형적인 장기포기 활성슬러지법에 해당된다. PVA와 같은 난분해성물질이 함유되어 있어서 방류수의 COD 농도기준을 준수하는 것이 이 폐수처리의 핵심으로서

장기포기법이 선택된 것이다.

뿐만아니라 생물학적처리를 거친 다음 응집침전처리공정을 거치며 더하여 방류수 수질이 다소 악화될 때를 대비하여 활성탄흡착까지 설치되어 있다.

난분해성의 COD물질을 제거하기 위해 활성슬러지의 SRT를 길게 운전하면서 폭기조의 MLSS 농도를 3,000mg/l까지 높였으나 문제는 심한 벌킹의 발생이었다. 슬러지의 대부분이 사상체로 구성되어 있는데 이렇게 폴록형성이 되지 않고 거의 사상체로만 구성된 슬러지는 SV30이 거의 100%라고 할 정도로 침강성이 극히 불량하다.

이 폐수처리에서 F/M비가 매우 낮다는 것 외에 예상이 되는 특징은 BOD성분이 미생물에 의해 천천히 분해이용되는 기질이라는 것이다. low F/M에서 전형적으로 증식되는 다



〈사진 - 4.다발을 이루는 사상체인 Type 1851〉

발을 이루는 사상체(사진-4)가 우점되었다는 점에서 예견되듯이 이 처리장의 벌킹원인은 low F/M이다.

3.사례-3

* 처리공정

- 원수--->집수--->응집침전--->폭기--->침전--->방류

- 응집침전처리수 2,500~3,000m³/d를 재활용함

* 원수

- 제지폐수

- 유량 : 800m³/d

- COD : 700mg/l(폭기조 유입수)

* 집수조

- 용량 : 1,000m³

- 반송슬러지의 20~30%가 집수조로 반송

* 폭기조

- 용량 : 2,500m³, 조가 6개

- MLSS : 1,000mg/l

- DO : 3.0-3.5mg/l

* 이상현상

- SV30이 98% 이상(Sphaerotilus 우점)

- 방류수 혼탁(길이가 짧은 사상체가 방류)

벌킹이 가장 빈발되는 산업폐수는 역시 제지폐수일 것이다. 딱 부러지는 원인이 명확히 없으면서도 제지폐수는 벌킹이 일어난 상태이거나 일어날 위험이 있는 상태로 운전되고 있는 곳이 많다.

사례-3에서도 명확한 원인은 드러나지 않지만 항상 벌킹 슬러지인 것만은 현실이다. 굳이 원인으로 생각해볼 수 있는 것은 생산되는 종이의 종류가 바뀔 때마다 배출되는 폐수의 성상과 유량의 변화가 심하다는 점이다. 국내 제지폐수에서는 정확한 분석이 없었지만 외국의 경우에는 쉽게 분해이용되는 기질의 순간적인 유입, 수온이 높은 폐수의 유입도 한 원인으로 작용한다는 보고가 있다.

사례-3의 경우 특히 Sphaerotilus가 우점된 것이 특징이다. Sphaerotilus는 사상체중에서 유일하게 分枝(위분지)하는 사상체로서 DO 부족일 때 잘 증식되는 사상체이다.

벌킹이 일어난 상태에서도 상등액의 물은 아주 맑은 것이 일반적이데 사례-3의 경우에는 방류수에 다량의 짧은 사상체가다닥 유출되므로서 방류수가 혼탁되고 SS, COD농도까지 증대되는 수질악화를 초래하고 있다.

제지폐수처리에서 가장 골치가 아픈 문제는 방류수의 COD농도인데 방류수의 수질향상을 위해 폭기조의 MLSS 농도를 높게 유지하면서 운전을 하고 싶지만 이처럼 벌킹 때문에 결단코 MLSS농도를 높일 수 없다는 게 안타까울 뿐이다. 그리하여 최근엔 제지폐수처리에서 산소포기법으로 공정개선을 하는 곳이 많은 실정이다. 그러나 산소포기법으로도 문제가 시원하게 해결되지 않는 곳이 있는 것으로 보아 이것도 완전한 만점의 답은 아닌 듯싶다.

4. 사례-4

* 처리공정

원수--->집수--->접촉포기--->부상분리--->집수(세척폐수 혼합)--->접촉포기--->침전--->방류

* 원수

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

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

* 집수조

- 용량 : 50m³(1차), 140m³(2차)

* 접촉포기조

- 용량 : 130m³(조가 2개)-1차

260m³(조가 4개)-2차

* 이상현상

- 사상체 증식(H. hydroxysis)

- 효모증식--->방류수 혼탁

- 폭기조혼합액의 점성이 심함(젤리 같음)

식혜폐수는 주성분이 당이라는 점과 그로인해 pH가 4.0 이하라는 것이 가장 큰 특징이다. 당농도가 높으면 당이 쉽게 분해되어 유기산이 생성되므로 폐수의 pH가 산성으로 변하게 된다. 사례-4의 원수도 식혜폐수가 pH 3.2, 세척폐수가 pH 4.0인 것을 볼 수 있다. 원수의 pH를 가성소다 등으로 올려준다 해도 폭기조에서 당이 분해되면서 또다시 pH가 떨어지는 게 일반적이다.

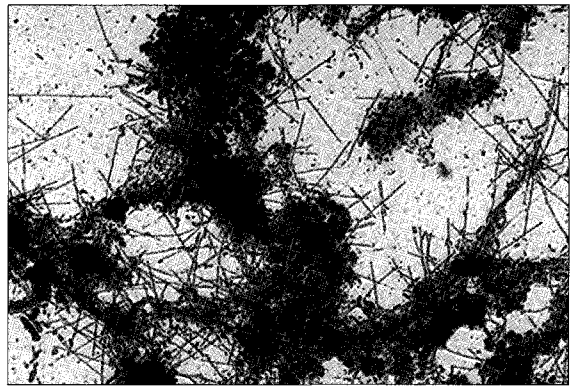
식혜폐수는 주성분이 당이라는 점과 그로인해 pH가 4.0 이하라는 것이 가장 큰 특징이다. 당농도가 높으면 당이 쉽게 분해되어 유기산이 생성되므로 폐수의 pH가 산성으로 변하게 된다. 사례-4의 원수도 식혜폐수가 pH 3.2, 세척폐수가 pH 4.0인 것을 볼 수 있다.

원수의 pH를 가성소다 등으로 올려준다 해도 폭기조에서 당이 분해되면서 또다시 pH가 떨어지는 게 일반적이다. pH를 중성으로 하여 폭기처리하기에는 중화에 필요한 약품비가 너무 많이 소요되는 것이 당폐수 처리의 어려운 점이다.

당농도가 높으면 효모가 증식하기 쉬운데 효모는 슬러지 형성을 하지 않으므로 침강되지 않고 방류수로 유출되므로 방류수가 혼탁된다.

pH가 산성으로 계속 유지되면 폭기조에 사상균(곰팡이, fungi)이 증식될 수도 있다. 사상균이 너무 많이 증식되어도 사상균별킹을 유발하게 된다.

사상체로는 *Haliscomenobacter hydrossis*(사진-5)가 증식하기 쉬운데 점성별킹의 주된 원인균이 바로 이 균이다. 이 사상체는 모양이 마치 바늘같으며 길이가 짧고 가늘



〈사진 - 5. 점성별킹을 일으키는 *Haliscomenobacter hydrossis*〉

어 염색해서 보아야 명확하게 보일 정도다.

폐수의 주성분이 당이고 당농도가 높을 때 이 *H. hydrossis*가 번창하여 폭기조의 슬러지가 마치 젤리처럼 점성이 높아지는 경우도 있다. 이런 경우에는 폐수의 유입을 하루정도 중단하고 강하게 폭기를 하게되면 슬러지의 점성이 사라지게 된다.

다음호에 계속