

# 생물학적 처리시 이상현상과 그 대책



이 규 성 / 환경처 감리실 기술감리위원

## 4. 팽화현상(Bulking)

팽화현상이란 오니가 부피가 많이 된 것으로 오니의 단위 건조물 중량당 함수율이 높게 된 것을 말한다. MLSS농도가 같고 SVI 200이상으로 되면 활성오니의 침강속도가 늦고 청정한 상징액의 부분이 적게 된 현상이다.

활성오니공법을 운전할 때 아주 귀찮은 이상현상으로서 건강한 사람일지라도 한두번 감기를 앓을 수 있듯이 현장에서는 누구나 당면 과제로서 식품공장폐수 등은 자주 출현하게 되는 것은 물리적 벌킹으로 SVI가 200이상으로 되어 오니의 침강성이 나쁜 현상과 사상성 벌킹으로 사상균의 번식에 의해 오니의 침강성이 악화된 현상으로 구별된다. 따라서 활성오니 floc에 사상균이 얽혀서 번식하고 한번 사상균으로 floc이 얽히게 되면 좀처럼 소멸하지 않아서 1개월 정도가 걸리기도 한다.

특히 폭기조내 기질에 농도구배가 생겨 다시말하면 폐수의 유기물질, 염류의 조성과 농도가 1일 중 변동함에 의해서 이것이 micro-floc에 영향을 주게 되고 이것이 팽화현상과 연결되는 인자에 작용한 것으로 판단된다.

사상성 벌킹원인은 폐수계의 조성, 농도, 유량, 영양balance, 독성물질, 폭기조내의 PH, 온도, DO, 미생물간의 상호작용 등이고 사상성 세균은 분열세균인 *Spaerotilus natans* 와 *Beggia alba*, 불완전 균류인 *Geotrichum candidum*, 조균류인 *Leptomitus lacteus*, 분열세균인 *Escherichia coli* 들이다. 사상성생물의 발생 종류에 의해 발육조건이 다르기 때문에 일반적인 대책으로서는 발생균종을 판별한 다음 이에 대한 강구책을 수립해야 한다. 따라서 사상성 벌킹을 연구하는데는 다음과 같은 항목이 필요하다.

- (가) 사상성 생물의 폭기조에서 검색과 발육조건
- (나) 폭기조의 유동교반조건과 관계
- (다) 통기량에 의한 DO와의 관계
- (라) 산소이용에 의한 활성오니 미생물의 관계
- (마) 탄화수소, 기타 영양염류와의 관계
- (바) 금속, 염류 기타 비중이 큰 물질과의 관계
- (사) 활성오니 미생물 사이의 상호작용
- (아) PH값과의 관계
- (자) 온도조건과의 관계
- (차) 활성오니의 신규교체와 관계
- (카) 연속배양의 발효공학적 해석
- (하) 새로운 관리지표의 제시

1) 원 인

- (가) 급격히 유기물질의 부하가 높게되거나 길 경우
- (나) 원수의 수질이 부패했을 경우
- (다) 유지함유량이 높고 독성물질이나 세제 등에 의해 영향받을 경우
- (라) 유량이나 수질이 급격하게 변동할 경우
- (마) 영양원의 N와 P이 적당하게 존재하지 않은 경우
- (바) 통기량이 불충분하여 DO가 부족해있을 경우
- (사) MLSS가 과대할 때
- (아) 침전조와 반송오니 경로내에 장기간 오니를 체류시켜 혐기 상태로 되었을 경우
- (자) 염류(T-cl)농도가 급격하게 변동했을 경우
- (차) 유기물질함유 폐수중의 무기질이 적을 경우
- (카) 계절이 변할 때 등으로 수온 변동있을 경우
- 2) 방지위한 운전조작
- (가) 폭기조내 MLSS농도를 적정하게 유지하고 오니 부하 0.35이하로 한다.
- (나) 폭기조내 DO level을 높인다.
- (다) 침전조에서 반송오니율을 적정하게 유지하기 위해 약간 높인다.
- (라) 활성오니의 재폭기조 조작을 가한다.
- (마) 계절이 바뀔때에 수온변화될 때 발생되기 쉬우니 온도관리에 유념해야 한다.
- (바) 유기성 폐수 중에 무기질이 적으면 벌킹의 원인이 되기 때문에 공업용 CaCo<sub>3</sub>를 자주 투입해야 한다.
- (사) 재폭기조(유량조정조)를 폭기조의 1/3~1/4크기로 설계해서 BOD부하를 낮추는 것과 폭기조의 충격부하를 줄이게 됨으로서 탄력성을 높여 효율적으로 운용해야 한다.
- 3) 대책
- (가) BOD부하를 절반으로 줄인다.
- (나) 폭기조의 체류시간을 길게 해준다.
- (다) 염류농도는 희석수를 사용해서 가능한 농도를 균등화해야 한다.
- (라) 활성오니의 중량제로서 소화오니, 규조토, CaCo<sub>3</sub>를 폭기조에 투입해야 오니의 중량화를 시도해야 한다.
- (마) 폭기조의 통기량을 증가시켜 DO값을 높여야 한다.

4) 사상성 벌킹상태유지에서의 운전조작  
 일단 양호한 처리수를 얻기 위해서는 침전조의 수면적 부하를 적게 갖는 경우와 예비 반송오니 펌프로 SVI를 200전후일지라도 처리가능하다. 사상성 벌킹오니는 팽화해서 반송 오니의 SS 농도가 아주 낮게 되어서 MLSS를 일정한 농도로 유지하기 위해서는 반송오니량을 증가시킬 필요가 있다. 즉, 반송오니량을 100% 이상으로 증가시키고 침전조의 수면적부하를 직접 증가시키며, 폭기조는 체류시간과 통기량이 크게 설계해두는 것이 효율적이다.

### 5. 부상현상

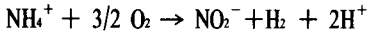
부상현상은 운전관리조작만이 아니고 침전조의 구조, 반송오니의 유출방식, 잉여오니의 인발방식, 일발시간의 부족, 불비 등과 설계상 문제도 있다.

- 1) 원 인
- (가) 활성오니가 과도하게 질화(nitrification)현상을 일으키면 폐수 중에 용해된 질산염 중의 산소를 질화세균을 이용해서 질소가스와 탄산가스의 기포를 만들고 오니의 밀도를 감소시키는 경우
- (나) 활성오니가 해체를 일으켜서 침전조액면에 부상할 경우
- (다) 침전조의 조밀바닥에 오니가 축적해서 혐기성 분해를 일으키고 가스를 발생해서 오니의 floc에 부착하여 부상될 경우
- (라) SVI가 커서 반송할 시간이 늦은 경우와 잉여오니의 인발량이 적을 경우
- (마) 침전조의 수면적부하가 클 경우로서 반송오니의 반송속도가 적어서 오니가 조밀바닥에 축적하고 오니계면이 높게 될 경우
- 2) 미생물의 이상현상
- (가) 활성오니 중에 고착성의 섬모충류가 비정상적으로 발생하고 이것이 사멸한 원생동물이 기인할 경우
- (나) 사상성 균사의 지름이 크고 지방을 함유한 공포(空胞)를 가진 부패성균이 자주 오니내에 증식함이 기인할 경우
- (다) 활성오니균에 Bacterio Fangi가 이상적으로 발생했을 경우

6. 질화현상

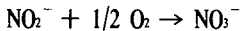
활성오니가 과도하게 질화되면 적은 구름상의 오니로 되고 SVI는 낮은데도 불구하고 침전조에서 오니가 부상할 때가 있다. 이 질화현상은 호기성 상태에서 폐수중의 암모늄이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 그리고 유기성 질소가 활성오니의 이화대사에 의해 생성된 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 질화세균이 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 또는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>으로 산화함에 의해 생성된 것으로서 아질산균과 질산균은 똑같이 CO<sub>2</sub>를 유일한 탄소원으로 해서 세포증식을 하는 자영양세균으로 그때 필요한 에너지를 각각의 산화반응식으로 나타낸다. 이때 수소는 미생물내의 호흡효소계를 경유해서 수소기질에서 주어지며, 발생한 질소가스와 CO<sub>2</sub>가스는 기포를 만들고 오니에 기포가 부착해서 부상현상을 일으킨다.

(가) 아질산화 반응식



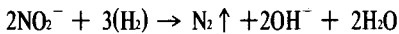
이때 N 1kg에 대해서 3.4kg의 산소가 필요하며, PH는 낮아진다.

(나) 질산화 반응식

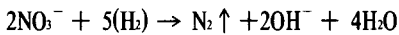


이때 N 1kg에 대해서 1.2kg의 산소가 필요하며, PH는 낮아지지 않는다. 이 반응은 질산균이 증식하지 않으면 질화는 아질산화에 멈추고 질화반응은 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>가 축적한다. 따라서 아질산균과 질산균이 공생하면 반응이 진행되어서 질화현상의해 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 축적된다.

(다) 아질산 호흡반응식



(라) 질산 호흡반응식



2) 대책

(가) 침전조의 유효수심을 가능한 적게 유지해야 한다.

(나) 적어도 년 1~2회를 침전조 비운다음 청소를 해야 한다.

(다) 오니의 감속기 속도를 증가하고 동시에 오니 반송량을 증가해야 한다.

(라) 질화현상을 막기위해 폭기조의 통기량을 일시적으로 감소해야 한다.

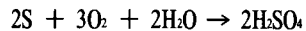
7. 부패현상

폭기조에 있어서 Blower의 능력부족과 산기장치의 불량으로 통기량의 부족으로 일어나는 활성오니의 부패에 의한 것이지만 결과적으로 침전조에서 DO가 Zero에 가깝게 되고 조밀바닥이나 벽에 오니가 축적하거나 잉여오니의 인발이 잘 안되면 부패하게 된다.

활성오니가 부패하게 되면 오니의 색깔은 흑색화되고 부패할 경우가 되면 미생물상인 면에서 특수한 황세균군의 지표생물이 나타나는데 일반적으로 Beggiatoa, Thiolithrix 등이다. 이때 Beggiatoa의 생리작용은 다음 화학식으로 설명된다.



따라서 H<sub>2</sub>S를 산화해서 생활에너지를 얻는바 단백질 등이 부패해서 H<sub>2</sub>S가 생산되며, H<sub>2</sub>S로 부터 얻은 S는 통상 Beggiatoa의 체내에 입자상물질로서 존재하나 H<sub>2</sub>S가 환경에서 결핍되면 다음 식과 같이 S를 산화하고 입자상 황은 소실되고 최종 생성물인 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 발생한다.



그러므로 Beggiatoa발생은 활성오니가 부패하게 되고 Beaggiatoa의 체내에 황입자상물질이 안보이면 부패가 개선되어 호전됨을 알 수 있다.

H<sub>2</sub>S 검출확인할 때 복천식 검지관을 사용하고 Beaker에 흑색오니를 채취해 교반봉으로 교반하면서 H<sub>2</sub>S로서 5ppm 이상이라면 유입폐수를 유입중단하고 폭기조내의 통기량을 올려 폭기조의 H<sub>2</sub>S를 방출토록 해야 하며, 유량조정조내의 폐수를 PH 4.0 이하로 낮추어 통기나 기계교반해서 H<sub>2</sub>S를 추출해야 한다. H<sub>2</sub>S가 검출안되거나 DO 2~3mg/l를 유지하면 폭기조에 폐수를 유입하면 된다.

8. 해체현상

활성오니의 floc이 미세 구름상태의 분산된 작은 조각으로 되어 1ℓ 용 mess cylinder나 침전조 상정액 중에 floc이 부유현탁해서 침전않고 탁도가 높게 되어 이때문에 방류수의 수질악화와 활성오니의 유실을 가져와 해체현상이라는 trouble이 된다.

따라서 해체현상은 floc이 작게 마른 형태로서 활성오니의 흡착력이 떨어져 처리수의 수질악화를 초래할 경우와는 본질적으로 다르나 이 현상은 양존할 경우도 있다. 결과적으로는 침전조 상징액은 아주 혼탁해서 상징액부에 많은 SS와 세균이 현탁해 있는 경우가 많다. 이것은 방류수를 GF/C에 의해 여과를 해보면 여지에 floc이 부착해 있는 경우와 여액의 COD값에 의해서 판단에 도움이 될 때가 많다.

1) 해체가 일어나는 상태

- (가) floc중 정화에 관여하는 세균군이 사멸하고 floc이 사실상 해체되어 작은 조각으로 된다.
- (나) 침전조 상징액의 PH는 낮은 값(약산성)을 나타낸다.
- (다) 부패균이나 효모가 급속히 증식하기 시작한다.
- (라) 반응이 정지되기 때문에 폐수중의 BOD, COD, SS, T-N등은 폭기조에서 침전조로 유입되어 제거율은 떨어진다.

2) 해체현상의 원인

- (가) 유해물질의 유입
- (나) 과소 BOD부하 (F/M 0.1이하)로 생물밀도의 과대
- (다) 과대 BOD부하 (F/M 0.4이상)로 생물밀도의 과소
- (라) 활성오니균량(MLVSS)이 적은 폭기조내 통기량의 과잉원인
- (마) 아메바, 소형 편모충류 등의 특수 원생동물의 이상증식
- (바) 해수가 침입할 경우는 식염농도의 증감에 의해 발생
- (사) 산성 충격부하가 해체의 원인
  - (아) ABS등 합성세제의 유입 증가에 의해 발생
  - (자) 과도한 폭기조내 기계적인 교반
  - (차) 폐수계의 조성변동도 정도에 따라서 원인으로 연결

3) 해체현상의 대책

- (가) 활성오니 해체의 구제 가능성은 적고 해체현상의 진행 정도에 따라 다르나 다른 공장에서 잉여오니를 받아 seeding해야 한다.
- (나) 진행정도에 따라서 폭기조내 통기량을 감소시켜야 한다.

(다) 과소 BOD 부하일 경우는 유입 폐수량의 증가해야 한다.

9. 이상한 산화성현상

침전조 상징액의 PH가 산성화할 경우는 보통 부하가 적은 경우가 많고 과소 BOD부하로서 운전할 경우 폐수 중에 함유된 유기성 질소, 무기성 질소가 미생물의 자기대사에 의해 생성한  $NH_4^+$ 가 산으로 변해 PH의 저하 원인이 되기도 한다. 처리수의 PH저하 원인이 과소 BOD부하, 과대 BOD부하에 의한 것이라면 처리수를 채취해 즉시 GR시약을 가해  $NO_2^-$ 의 정색반응을 해보는 것이 좋다.

$NO_2^-$ 는 방류수의 COD값을 증가시키는 원인이 되기에 활성오니법에서 COD제거로 과소 BOD부하가 되지않게 운전관리를 해야 한다.

10. 비정상시 운전대책과 운전조작

활성오니법을 능숙하게 운전하는 기술은 폭기조의 통기량이 적절할 것 같으면 그외에는 MLSS와 반송오니의 관리조작 뿐이다.

1) 운전관리기술과 조작조건

- (가) 인위적으로 제어할 수 없거나 할 수 있는 조작조건
  - (나) 폭기조의 용적을 줄여서 변화
  - (다) 폭기조내 MLSS를 높이는 조작
  - (라) MLSS의 적량관리
  - (마) 반송오니의 적량관리
  - (바) 폭기조 입구의 유입농도의 급격한 상승
  - (사) 폭기조의 과폭기
    - (i) 인위적으로 제어할 수 없는 조작조건
    - (ㄱ) 폐수계의 폐액조성
    - (ㄴ) 폐액의 온도
      - (ii) 인위적으로 제어할 수 있는 조작조건
    - (ㄷ) PH
    - (ㄹ) 폭기조 유입량, 농도
    - (ㅁ) 통기량(폭기조의 DO)
    - (ㅇ) MLSS
    - (ㅂ) SVI
    - (ㅅ) 영양원 첨가

(iii) 폭기조의 용적을 줄임에 의해 변화

(ㄱ) 폭기조의 체류시간

(ㄴ) 슬러지 일령

(ㄷ) 오니부하

(iv) 폭기조내의 MLSS를 올리는 조작

(ㄱ) 반송오니율을 많게 함

(ㄴ) 반송오니 농도를 높임

〈참고〉 반송오니의 SS농도가 12,000mg/ℓ 이상으로 운전할 수 있는 것은 산소이용에 의한 접촉폭기조 방식에서는 30,000~40,000mg/ℓ 를 얻을 수 있어야 그 운전조작이 쉽다.

(v) MLSS의 적량관리

오니의 팽화현상을 줄이기 위해서 폐수 중에 함유된 유기물을 처리하기 위해 충분한 MLSS농도와 폭기조의 체류시간이 필요하다. 처리운전의 관리지표로서 오니부하가 0.2~0.3일 때 SVI가 가장 낮은 값을 나타낼 때가 많다. 0.35이상일 때는 위험하고 2이하에서는 안정한 오니가 되나 0.35이하에 폭기조내 MLSS를 유지해 억제함이 바람직하다. 일반적으로 오니부하는 0.2~0.4정도가 바람직하나 폭기조 용적이 1000m<sup>3</sup> 이상인 처리장일 경우는 0.25~0.35, 1000m<sup>3</sup> 이하인 중소 처리장에서는 0.15~0.25로 유지함이 좋다.

(vi) 반송오니율의 조절

침전조와 반송오니 배관계로에 오니를 멈추게 해두면 팽화현상의 원인이 되는 경향도 있고 오니가 혐기성에 기울어지는 분위기로 하면 폭기조에 돌아왔을 때 DO를 소비하고 폭기조내의 DO level을 떨어뜨리는 인자가 되기에 빨리 반송해야 한다. 이것은 반송오니율을 높이거나 반송오니농도는 당연히 희박해지는 바 반송오니율은 결과적으로 폭기조내 DO를 2~4mg/ℓ 확보를 기준으로 정하는 것이 좋다. 이것은 폭기조의 DO농도와 깊은 상관성이 있다.

(vii) 폭기조 입구농도(BOD, COD)의 급격한 상승

반송오니율을 많게 해줄 필요가 있으며, 반송오니를 많게 하면 당연히 폭기조 체류시간은 단축된다. 따라서 폭기조 체류시간이 단축되면 그 변화에 따라서 활성오니 생물상이 변화하게끔 된다. 항상 일정한 체류시간으로서 운전할 수 없는 경우는 생물상은 안정않고 처리효율에 바로 악영향을 주게

된다. 적어도 생물상이 급한 변화는 바로 나타내지 않다고 하여도 SVI의 상승에는 영향을 주게 된다.

반송오니가 증가하면 MLSS가 상승하고 폭기조에 의 산소공급을 많게 하기위해 통기량을 증가할 필요가 있다. 폭기조에서 침전조로 조작전에 비해 MLSS농도가 높게 유입되면 침전조 밑바닥에서 활성오니가 혐기적으로 기울어져 오니가 부패성의 염려가 된다. 당연히 다량의 침전오니를 잘 인발하는 방법, 구조가 문제로 된다.

반송오니율을 많게 하면 폭기조 급액량에 대해서 정상상태보다 많게 하는 반송량이 되기 때문에 급액량에 대해서 0.7~2.0배의 오니를 반송한다면 높은 반송오니 pump 능력이 필요하다. 따라서 활성오니법 장치를 설계할 때는 폭기조에 대해서는 체류시간과 통기량, 반송오니율에 대해서는 반송오니 펌프 능력을 크게 하고 예비용 1대를 설비해 두어야 한다.

(viii) 폭기조의 과폭기

폭기조의 통기량을 제어한다는 것은 폭기조내 DO관리를 하는 것으로서 DO값을 2~4mg/ℓ 로 유지하기 위해서는 통기량을 올려야 한다. 이때 장치상 문제가 되는 것은 산기장치의 성능(산소이동효율)이 나쁠 경우는 통기량을 상승하는 것이 폭기조내의 공기교반을 높게 하는 것만으로서 충분하다. 따라서 과폭기할 때의 예상되는 문제점은 다음과 같다.

(ㄱ) 활성오니의 공기교반에 의한 물리적인 파괴

-대책: 산기장치의 개선

(ㄴ) 침전조에서 한번 침전된 오니가 다시 부상

-대책: 질화현상을 방지하기 위해 통기량을 감소

(ㄷ) 활성오니가 과도하게 산화되면 적은 pin floc 오니가 되고 SVI는 낮은 데도 불구하고 처리수 중에 오니가 현탁하게 되어 수질은 악화한다.

-대책: 통기량을 줄임

(ㄹ) 잉여오니의 인발이 서툴면 일부 오니가 조밀부분, 조벽에 축적해서 혐기성 분해를 받아 가스를 발생해서 부상할 때가 있다.

-대책: 침전조에서 인발오니량을 많게 하고 침전조의 체류시간을 적게 한다.