



전 병 준

(주)프라임텍인터내쇼날
사업지원본부장

효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술<16>

목 차

1. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념

- (1) 현탁 입자의 제거방법
- (2) 슬러지의 침전 부상처리
- (3) 용해성 물질의 제거방법
- (4) 저농도 유기물의 제거방법
- (5) 무기성 오염물의 제거방법

2. 석유화학 공장의 폐수처리

- (1) 정유공장의 폐수처리
- (2) 일반 석유화학 공장의 폐수처리

3. 제지·펄프공장의 폐수처리

4. 합섬·염색공장의 폐수처리

5. 식품공장의 폐수처리

6. 제철·철강공장의 폐수처리

7. 하수·위생처리장의 폐수처리

8. 특정 오염물질의 처리기술

9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

10. 폐수 재활용 기술과 안정관리

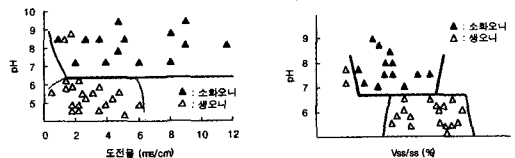
2. 하수처리장의 슬러지처리

하수오니의 탈수처리법은 재래적 방법으로 염직·소석회에 의한 진공탈수처리가 퇴조하고 고분자 응집제를 사용한 탈수처리(원심탈수기·Belt-Press형 탈수기 등)가 일반적으로 적용되고 있다. 본란에서는 하수처리장의 슬러지의 성상과 그 처리방법을 살펴본다.

가. 하수오니의 성상

(1) 오니의 pH와 도전율의 관계

생오니는 pH = 5.0~7.0, 도전율 = 1.0~7.5 ms/cm
소화오니는 Alkali도가 높아서 pH = 7.0~8.5
도전율 = 1.0~2.0 ms/cm의 범위에 분포한다.



【그림7-14. 오니의 pH와 도전율】

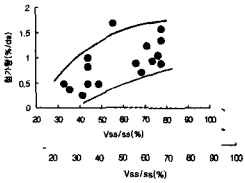
【그림7-15. 오니의 pH와 유기질량】

(2) 오니의 pH와 VSS/SSQ의 관계

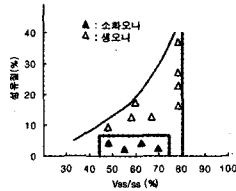
생오니는 유기성이 높아서 VSS/SS = 50~85%
소화오니는 이보다 낮다. VSS/SS = 35~75%의 범위에 분포한다.

(3) 오니의 SS 농도와 VSS/SSQ의 관계

오니의 종류에 상관없이, VSS/SS비가 낮은 만큼 SS 농도가 높아지는 경향이 보인다. 이것은 무기분이 많은 만큼 오니농축이 쉬워진다고 생각된다.



【그림 7-16. 오니의 SS와 유기질량】



【그림 7-17. 오니의 섬유질량과 유기질량】

(4) VSS/SS 비와 섬유질량의 관계

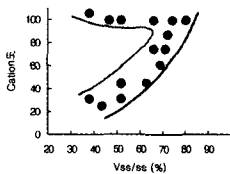
생오니는 Vss/ss 비가 높은 만큼 섬유질량이 많아지므로 소화오니는 VSS/SS 비의 대소에 관계없이 섬유질량은 일정(약 7%이하)해진다.

나. 오니의 성상과 최적 응집제

원심탈수기 및 Belt-Press형 탈수기의 실장치시험 효과를 이하에 나타낸다.

(1) 원심탈수기

1) Vss/ss 비와 응집제의 Cation의 관계

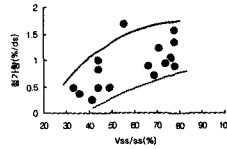


【그림 7-17. 오니의 섬유질량과 유기질량】

오니의 유기질의 증가에 따라 Cation도가 강한 응집제가 적용되는 경향이 있으므로, 고 Cation계 응집제라면 Vss/ss 비의 대소에 관계없이 양호한 효과를 나타낸다.

2) VSS/SS 비와 응집제 첨가량의 관계

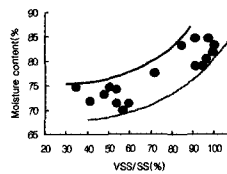
일반적으로 유기질이 높은 오니일수록 난탈수성이 된다. 응집제 첨가량은 Vss/ss 비의 증가에 따라 비례적으로 많아지는 경향을 나타낸다.



【그림 7-18. 오니의 유기질과 응집제의 첨가량】

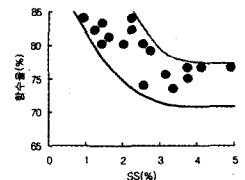
3) Vss/ss 비와 함수율의 관계

오니의 종류에 관계없이 Vss/ss 비의 증가에 따라서 함수율이 높아진다.



【그림 7-19. 오니의 유기질과 함수율】

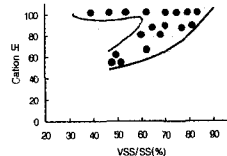
4) SS 농도의 저하에 따라 함수율이 높아져 그 경향은 SS = 3% 이하의 범위에서 특히 뚜렷해진다.



【그림 7-20. 오니의 SS와 함수율】

(2) Belt-Press 형 탈수기

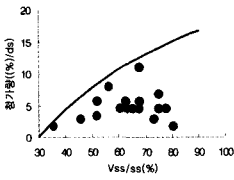
1) VSS/SS 비와 응집제의 Cation도의 관계



【그림 7-21. 오니의 유기질과 응집제의 Cation도】

원심탈수기의 경우와 같이 Vss/ss 비의 증가에 따라 Cation도가 강한 응집제가 적용된다. 적용의 폭은 원심탈수기보다 적어 주로 중 Cation 이상의 응집제가 적용된다.

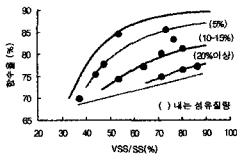
2) VSS/SS 비와 응집제 첨가량의 관계



원심탈수기의 경우와 같이 VSS/SS 비의 증가에 따라 응집제 첨가량이 비례적으로 증가한다. 그러나 첨가량의 절대치는 원심탈수기보다 Belt-Press 형 탈수기가 약간 적다.

【그림7-22. 오니의 유기질과 응집제의 첨가량】

3) VSS/SS 비와 함수율의 관계

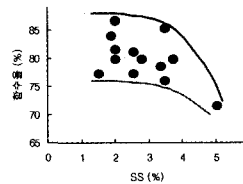


원심탈수기의 경우와 같이 VSS/SS 비의 증가에 따라 함수율이 높아진다. 또한 동일한 오니중의 섬유질량이 많은 만큼 저함수율의 Cake가 얻어진다.

【그림7-23. 오니의 유기질과 함수율(Belt-Press)】

4) SS 농도와 함수율의 관계

원심탈수기와 같이 SS 농도의 증가와 더불어 함수율이 저하한다.



【그림7-24. 오니의 SS와 함수율】

다. 하수폐수의 탈수최적화

앞에서 살펴본 바와 같이 유기물이 많은 하수처리의 슬러지는 유기물의 함량이 높을수록 양이온도가 높은 탈수제를 적용하는 것이 바람직하며, 최적의 탈수효율을 얻기 위해서는 사용기종 및 오니의 VSS/SS 비에 적합한 농도를 적용하는 것이 바람직하다.

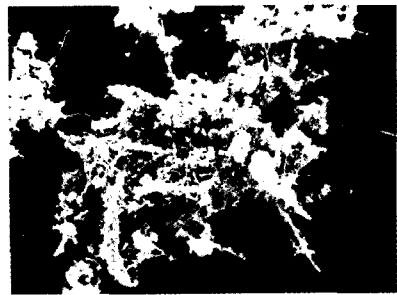
3. 활성슬러지의 Bulking 현상

활성오니 처리에서는 미생물이 활동하는데 최적의 환경조건

을 유지하는 것이 중요하다.

만일 환경이 악화되면 미생물의 활동이 둔화되므로 유기물의 제거효율이 저하되게 된다.

이러한 생육환경의 적절한 조절과 함께 잉여 미생물의 효율적인 분리제거가 이루어져야만 정상적인 처리효과를 기대할 수 있다. 활성오니가 Bulking상태에 이르게 되면 고액분리가 어렵게 되어 처리효율의 감소문제가 발생하게 된다.



【그림 7-1. 활성슬러지의 Morphology】

(출전 : Bulking 원인과 대책-이상은)

활성슬러지 공정의 운전에서 폭기조내에서 번식된 미생물들이 2차 침전조에서 분리가 되지 않아 결국 이러한 미생물들이 유출수에 포함되어 방류되면서 처리수의 수질을 저하시키고 처리시스템내의 미생물 농도를 적정하게 유지할 수 없어 처리효율이 저하될 수 있는데 이와 같은 고액분리상의 문제점은 여러 가지 형상으로 나타나며, 이들 중 가장 문제가 되고 가장 많이 발생하는 현상은 슬러지 팽화(Bulking)현상이다.

가. Bulking에 대한 기본고찰

Bulking(팽화)현상은 폭기조내의 사상세균(Sphaerotilus, Gestrichum, Bacillus 등)이 증가됨으로써 발생하게 되는 것이 일반적이다. 사상균은 대개 선형의 모양을 가지고 있어 미생물(Floc Fomer) Floc과 밀착되어 밀도가 낮은 미생물 Floc을 형성하는 것으로 알려져 있다. 따라서 사상균 증가시에는 침전조에서 침전이 대단히 불량하게됨은 물론 Sludge 가 부상

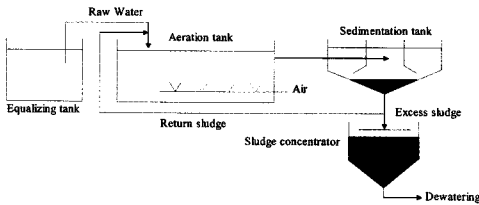
되어 결국은 Carry-over를 야기 시키는 것으로 알려져 있다. Bulking이 발생하게 되면 침강성이 불량하여 양호한 처리효과를 기대하기 어렵다.

Bulking의 원인은 주로 다음과 같은 것들이 있는 것으로 알려지고 있다.

- ① 유기물의 부하량에 대한 용존산소의 부족 또는 과잉
- ② 질소(N) 또는 인(P)과 같은 필수 영양원소의 결핍
- ③ 유기물 부하량의 부족 또는 과잉
- ④ 특수한 저해물질의 존재로 호기성 균의 활동도 저하
- ⑤ 기타 인자의 유입으로 인한 사상형 미생물의 급속 증가

Bulking이 발생되면 SVI치는 300~400까지 올라가며, 500이하에서는 오니가 해체되어 오히려 혼탁액이 된다.

【 그림 7-2. 활성오니 처리공정의 전형적인 Flow-Sheet 】



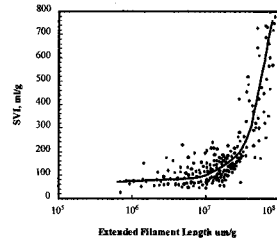
나. BULKING의 원인과 FILAMENT ORGANISM의 관계

슬러지 팽화현상과 관련시켜 폭기조내에서 성장하는 미생물을 크게 분류하면 Floc을 형성하는 미생물 (Floc former), Floc 밖으로 뻗어나와 성장하는 사상형 미생물(Filamentous organisms)으로 구분될 수 있는데 슬러지 팽화를 일으키는 미생물은 사상형 미생물들이다.

모든 슬러지 Bulking 현상은 다른 형태의 고액분리와 관련된 문제점들이거나 일반적인 현미경으로는 잘 관찰되지 않는 사상형 미생물에 의한 경우였던 것으로 알려지고 있다.

슬러지 Bulking은 Floc 밖으로 뻗어 나온 사상형 미생물에 의해 발생되므로 Floc밖으로 뻗어 나온 사상형 미생물의 수나 총길이가 침전성을 연관 지을 수가 있는데 그동안 발표된 결

과에 의하면 < Sezgin et al. (1978) : Palm et al. (1980) : Lee et al. (1983) : Beebe et al. (1982) > 사상형 미생물의 수나 길이가 SVI와 일정한 관계가 있는 것을 알 수 있었으며, 이중 총길이 (Total Extended filament length)와의 관계를 보면 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.



【 그림 7-3. 사상형 미생물의 길이와 SVI와의 관계 】

(출전 : Activated Sludge Theory : Jenkins, SE -Lee)

다. BULKING 현상의 형태적 분류

활성 슬러지가 침강하기 어렵고, 또는 거의 침강하지 않는다는 것은 활성 슬러지 Floc (Bio-floc)의 밀도가 과도하게 작게 된 경우와 Floc이 해체되어 Pin point floc으로 부유된 형태로 구분될 수 있다.

Floc의 밀도가 작은 경우(Floc의 직경은 크나 밀도가 작은 경우)에는 Floc내에 pore를 함유하는 형태 또는 기체의 부착(포화수에서 이탈되는 기포 또는 유기물 분해에서 발생하는 기포)에 의하여 침전되기보다는 부상되는 경향이 커지게 된다.

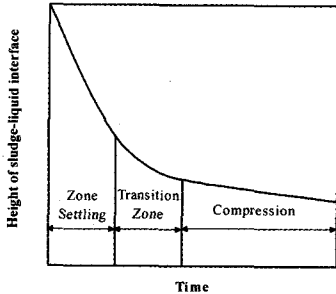
따라서 Filament형 사상균 미생물이 부착된 Floc(Bulking 현상의 원인)도 물리적인 측면에서 접근해 보면, 결국 밀도가 작은 Floc의 범주에 속하게 되며, 이러한 이유로 인하여 침전성이 저하되는 것으로 해석될 수 있다.

이와 함께 입자에 소량의 기포가 부착되어도 부상되므로 결국 Bulking 현상을 초래하는 것이다.

해체된 Pin point floc은 입자의 직경이 작아 침전이 어렵고, Filament형 사상균에 의해 Back-Bone Fiber가 과도한 Floc은

입자의 조밀 충진이 어려워 밀도의 저하를 초래하게 되고, 특히 기포의 부착이 쉬워 (Floc의 입자경은 크기 때문) Floc의 부상성은 더욱 증가되게 되는 것으로 이해될 수 있다.

이러한 현상을 통칭한 Bulking 현상은 정상적인 운전조건 중에서도 발생하는 것으로 보고되고 있으며, 이 경우들은 많은 다른 설비 및 운전인자들과 복잡한 연계관계를 갖는 것에 기인한다.



【그림 7-4. Flocculated Sludge의 침전】

Bulking 현상의 형태학적 분류로는 다음과 같이 구분되어 질 수 있다.

(1) 응집성의 불량에 기인한 Bulking

어떤 원인에 의하여 슬러지의 응집성을 잃게 되어 파괴되거나, 저해를 받아서 생기는 것으로, 슬러지의 일부는 양호한 침전성을 나타내나 일부가 침전성이 불량하여 상등액중에 현탁 상태가 높은 형태가 특징이다.

Dispersed Growth, Deflocculation, Pin Point Floc 등이 해당됨.

(2) 밀도가 낮은 것이 원인인 Bulking

슬러지의 겉보기 밀도가 정상 슬러지보다 작고 슬러지가 부상하는 경우와 일단 침강되었다가 부상하는 경우가 있다.

Rising Sludge, Aerobic Sludge, Over-Aerated Sludge, Floatation Sludge 등이 해당됨.

(3) Floc의 조밀 충진이 불량한 것에 기인한 Bulking

사상형 세균에 의해 발생하는 것이 지배적이며, 슬러지의 압밀성이 불량하여 극히 천천히 침강하며, 침강한 슬러지도 거

의 서로 엉키지 않는 상등액 부분도 극히 작은 특성을 갖는다. SVI가 300 이상으로 높으나, 슬러지와 상등액의 경계가 명확하고 상등액 투명도가 높은 것이 특징이다.

라. Bulking 원인에 대한 세부고찰

활성 Sludge의 생물구성이나 그 생리상태는 폐수의 수질과 설비 장치 및 운전관리법 등이 복합한 결과로서 형성되는 Sludge의 주위 환경에 의해서 기본적으로 지배된다고 생각된다.

Sludge가 존재하는 주요한 곳은 폭기조와 침전조이므로 이 두 조에 있어서의 환경조건과 조작조건이 Sludge의 활성이나 물성에 주는 영향은 매우 크다고 생각되나, Sludge 물성과 이 두 조에 있어서의 외부환경조건과는 복잡하게 얽혀서 서로 영향을 미치고 있는 것이기에 이 둘 사이의 관련성은 해명하기가 쉽지 않다.

따라서, Sludge Bulking의 원인이나 요인은 어느 정도 해명되어 있는 것도 있으나, 아직 불명한 점도 많은 것이 사실이다. 그러므로 현재까지 밝혀져 있는 사항을 중심으로 개관해 보기로 한다.

(1) 폐수의 수질 요인

폐수의 질과 농도의 변동은 주로 Sludge의 응집성에 큰 영향을 주고 있다. Dispersed Blower나 Deflocculation은 비교적 큰 수질변동, 즉 Shock Loading(충격 부하)에 의해서 일어나나, 이와 같은 급격한 수질 변동이 비교적 단시간에 원상태로 돌아가면, 거의 원래의 정상 Sludge로 회복되는 것이 보통이다.

이 두가지 Bulking Sludge의 외관상 차이는, Dispersed Growth가 Sludge와 상등액과의 경계가 명확하지 않으나, 현탁액의 윗 부분은 저부보다 약간 투명도가 높는데 계면은 확인할 수 있으나 상등액에는 다량의 균체가 분산현탁하여 심하게 탁해 있다.

이와 같은 차이가 생기는 이유는 확실치는 않지만 아마도 충격 부하의 내용이나 정도의 차이에 의한 것이며, Dispersed Growth는 충격 부하의 정도가 큰 경우에, 그리고 Deflocculation은 작은 경우에 생기는 것이라고 생각된다.

또, Pin-point Floc의 원인은 아직껏 명확치는 않으나, 현상적으로는 종종 인정되고 있으며, 정상 Sludge의 Floc보다는 훨씬 작으나 육안으로 충분히 Floc을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있는 입자로서, 일반적으로 침강도 부상도 하지 않고 호흡활성을 가지는 경우와 그렇지 않은 경우가 있다. 아마도 Pin-point Floc의 원인은 BOD부하의 과소에 의한 것으로 생각된다.

(2) 처리 설비와 장치 요인

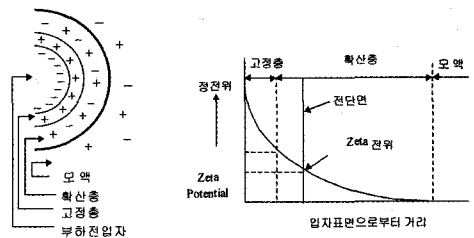
처리 설비의 규모나 능력, 사용 장치의 능력이나 용량 및 구조상의 결함은 종종 많은 문제의 원인이 되며, 결과적으로 Bulking Sludge를 발생시킨다. 처리 설비에 걸리는 BOD총량이 처리 능력을 상회할 경우, 즉 항상 Sludge가 과부하의 조건 하에 있는 경우에는, 거의 예외가 없이 Bulking, 특히 사상성 Bulking을 불러일으키는 것이다.

이와 같은 처리 설비로서 치명적인 결함을 가진 경우를 제외하고도 Sludge Bulking의 원인이 되는 설비, 장치상의 결함 등이 원인이 되는 경우도 있다.

Over-Aerated Sludge(과폭기된 Sludge)는 폭기조에서의 송기량이 BOD 공급량이나 존재하는 Sludge양에 대해서 과대하기 때문에, Sludge Floc의 기계적 파괴와 미세화된 Sludge Floc내로의 미소한 기포의 침입유지가 동시에 진행되는 결과, Sludge의 침강성이 저해되는 것으로 알려지고 있다.

또, 침전조에서 Sludge의 체류 시간이 너무 길어지면 Sludge 부분의 환경이 혐기적으로 되어, 이른바 탈질 반응에 의해 생긴 질소Gas를 주로 내포하여 Rising Sludge가 되어 부상하거나, 더욱 더 체류시간이 길어진 경우나 침전조에 집니장치(集

泥裝置)가 없는 경우에는, Sludge 구분은 부분적이라 해도 한층 호기적으로 되어 유기물의 분해에 의해 생긴 탄산Gas, 메탄Gas, 수소Gas 등을 내포한 흑색 또는 흑회색의 Sludge(塊), 즉 Aerobic Sludge가 되어 Bulking으로 나타나게 된다. 이들 Sludge Bulking은 그 어느 것도 Gas상의 미세한 기포를 내포하기 때문에 Sludge의 겉보기 밀도가 감소해서 처리수질의 악화를 가져온다.



【그림 7-5. 입자 계면 부근의 전기적 구조】

이것과 유사한 슬러지 Bulking으로 Floating Sludge가 있으나, 이것은 곰팡이류와 같은 균사 등이 부패하여 겉보기 밀도가 역시 감소하기 때문에 부상하는 것이지만, 많은 경우 생물 활성이 있는 Sludge 입자를 동반하여 유출해서 처리 수질을 악화시킨다.

이와 같은 과부하에 의한 Bulking의 경우를 제외하고, 상기한 Bulking Sludge의 원인이 되는 처리 설비 장치상의 결함은 어느 정도 개조, 개수를 함으로써 경감시킬 수 있는 것이며, 더욱 적절한 운전 관리법과 조합시키면 한층 경감시킬 수 있고 경우에 따라서는 완전히 결함을 해소하는 것까지도 불가능하지는 않다. 따라서 이들 Bulking Sludge가 발생했을 때는 현상을 잘 파악하여 그 원인을 추정한다면 해결이 어느 정도 가능하다.

다음호에 계속