

생물학적 폐·하수처리



이 문 호 이호환경컨설팅 대표이사 ☎ 031-407-8001
leehojamun@hanmail.net

〈필자약력〉

- 한국과학기술원 생물공학과 이학석사 ○ 국립환경과학원 12년 근무
- 1995년~현재 이호환경컨설팅 대표

∴ 연재

하수, 폐수, 활성슬러지 시험법

1. 생물학적처리시설의 운전에 필요한 시험법

하수, 폐수와 같은 원수의 수질특성, 폭기조와 같은 반응조내 활성슬러지의 시험, 처리수의 수질분석 등에 필요한 시험방법을 열거해보면 표-1과 같다. 물론 이런 통상적인 목적이외에도 원수의 처리율시험이라든지 운전중에 어떤 트러블이 발생했을 때 그 원인을 진단할 때에도 이런 시험법이 선택적으로 필요하게 된다.

[표-1]의 시험법 중에서 가장 간편하면서 빠르게 결과를 얻을 수 있는 것은 검경이다. 그러면서도 검경의 결과는 반응조 미생물의 상태를 나타내는 아주 중요한 정보가 담겨져 있다. 그래서 처리시설을 유지관리하는 데 꼭 필요한 파라미터로 볼 수 있다. 그러나 대부분의 처리장에 현미경을 구비하고는 있지만 막상 매일 한번의 검경도 실행하지 않는 처리장도 있고 매일 검경은 하더라도 그 결과를 단지 하나의 데이터로만 남겨두는 곳도 많은 것 같다. 이처럼 검경결과로부터 정보를 충분히 얻어 내지 못하는 데는 검경결과를 평가하는 능력의 부족이 가장 큰 원인으로 생각한다. 그래서 검경을

통해 얻은 결과를 어떻게 평가하여 운전 파라미터로 활용할 것인가를 설명한다.

[표-1] 하수, 폐수처리에 필요한 시험,분석법

이화학분석	
DO	NH ₃ -N
BOD	NO ₂ -N
COD _{Mn}	NO ₃ -N
COD _{Cr}	T-N
알칼리도	TKN
수온	PO ₄ -P
pH	T-P
SS	N-H
TDS	전기전도도
염소이온	
활성슬러지시험	
검경	산소흡수속도
SV ₃₀	생분해도
MLSS	질산화속도
MLVSS	탈질속도
SVI	탈수시험
폭기조 DO	독성시험
미생물시험	
유기영양세균	암모니아산화세균
사상세균	아질산산화세균
방선균	탈질세균
곰팡이	일반세균
효모	대장균군
클로로필a	분원성대장균군

2. 미생물상으로 본 활성슬러지의 유형

먼 거리에서 산의 형태를 먼저 보고 이어서 숲을 보고 더 나아가 나무를 보듯이 활성슬러지를 저배율에서 보고 점점 더 고배율로 봐가면서 검경을 하게 된다. 저배율에서 활성슬러지를 전체적으로 보았을 때 슬러지의 형태나 크기, 그리고 특정미생물의 과다증식 등을 먼저 평가할 필요가 있다. 현장의 많은 기술인들은 활성슬러지내에 어떤 원생동물이 있느냐 하는데(나무만 보는) 가장 관심을 집중시키는 듯하다. 물론 활성슬러지내 지표미생물의 확인도 중요하지만 슬러지의 관찰과 출현되는 전체 미생물들의 구성도 중요하다. 먼저 활성슬러지의 슬러지관찰부터 해보기로 한다.

2-1. 원생동물, 후생동물이 전혀 없는 슬러지 <현상>

원생동물과 후생동물이 전혀 증식되지 않는다. 플럭박으로 뺏어 나온 사상체도 없고 플럭 주위에 흩어져 있는 분산세균도 거의 없다. 슬러지의 산소흡수속도도 거의 나타나지 않는다. 폭기조내에서 MLSS의 증가가 거의 없거나 오히려 MLSS의 감소가 일어나기도 한다. BOD제거율과 N제거율이 점점 저하되어 처리수 수질이 악화된다.

<원인>

원수를 통해 독성물질(중금속 등)이 유입되거나 반응조내에 미생물증식을 저해하는 환경(Low DO, 산 또는 알칼리, 고온 또는 저온 등)이 주어졌을 때, 그리고 원수에 BOD가 극히 적을 때(매립지

침출수 등) 이런 현상이 일어난다.

<대책>

독성조사를 실시하여 원인을 규명하는 것이 우선이다.

2-2. 원생동물, 후생동물의 死體가 많은 슬러지 <현상>

원생동물과(또는) 후생동물의 死體(죽은 세포, 형태를 알아볼 수는 있으나 섬모의 활동이나 운동성이 전혀 없고 세포 내용물이 세포밖으로 빠져나와 흩어져 있다)를 볼 수 있다. 세포의 내용물이 빠져나와 플럭 사이에 흩어져 있는 슬러지부스러기가 많다. 이 부스러기가 많을 경우 폭기조에서 거품이 발생될 수도 있다.

폭기조의 MLSS는 높으나 살아있는 미생물이 적으므로 F/M비가 높아져 약간의 부하증가에도 DO가 낮아지고 편모충류나 Zoogloea가 증식하기도 한다. 침전조상등액이 혼탁해지는 경우가 많고 이 조건으로 계속 운전할 경우 슬러지해체가 일어나 침전조상등액이 아주 혼탁해질 수도 있다.

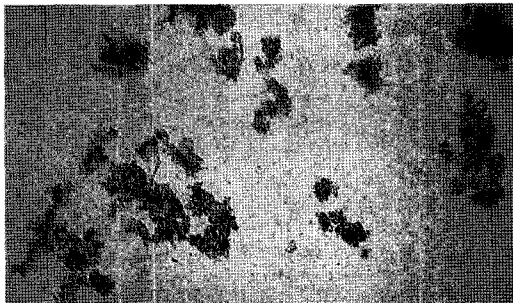
<원인>

SRT가 너무 길다.

의도적으로 SRT를 길게 운전하는 경우도 있을 것이고 슬러지인발(탈수기용량 부족)이 충분하지 못할 경우, 또는 원수발생량이 감소하여 저질로 SRT가 길어지는 경우도 있을 것이다.

<대책>

MLSS를 줄인다. 슬러지의 침강성을 증대시키고 침전조에서 슬러지블랭킷의 상승을 막기 위해



달항매수처리장 슬러지, 40배



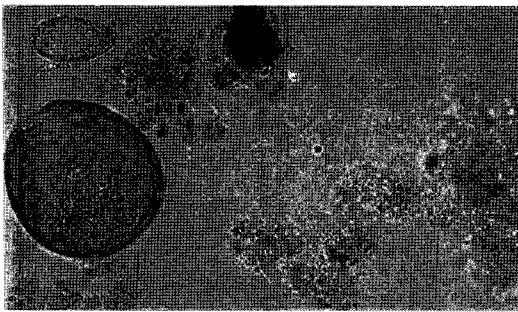
이이스크림폐수처리장 슬러지, 원내는 Chaetospira의 死體

응집제를 폭기조에 계속 투입하는 처리장도 있는데 이것은 슬러지플럭을 단단하게(과립형태로 되기도 한다.) 만들어 플러내부가 혐기성으로 되므로서 처리효율이 저하되기도 하며 슬러지해체를 촉진시킬 수도 있다.

2-3. Long SRT의 지표성 원생동물이 많은 슬러지

<현상>

SRT가 길 때 나타나는 유각육질충류(Arcella, Euglypha 등), 후생동물(Lecane, Monostyla, Rotaria 등)의 수가 많다. 슬러지플럭은 아주 얇고 잘게 흩어질 수 있다. 슬러지량(SV30)이 적은 경우가 많다.검경시 슬러지플럭 주위는 깨끗하게 보인다. 따라서 침전조상등액은 대부분 아주 맑다.



골프장 오수처리장 슬러지, Euglypha(위), Centropyxis(아래)

<원인>

SRT가 길다.일반적으로 F/M비가 매우 낮은 경우가 많다.

<대책>

부하량 변화만 없다면 별로 문제되지는 않는다.

그러나 Low F/M, Long SRT에 잘 순응된 슬러지(상대적으로 세균량이 적다.)이므로 약간의 부하량증대에도 부패가 일어나는 트러블(대체로 침전조혼탁, 처리수에 색도 생성이 동반된다.)이 일어날 수 있다. 그러므로 갑작스런 부하량증대가 없도록 운전해야 한다. 반대로 부하량이 크게 감소한 환경(원수 유입중단 등)이 계속 주어진다면 슬러지해체가 일어날 수도 있다.

2-4. 자기산화가 많이 진행되고 있는 슬러지 <현상>

슬러지는 잘 가라앉으나 상등액이 혼탁하다.움직임이 있는 세균이 없고 원생동물, 후생동물의 수도 매우적다. Euplotes와 같이 슬러지를 헤집고 다니는 대형섬모충류나 Rotaria가 다수 나타나기도 한다.

침전조상등액이 혼탁한데 그 상등액을 검경해보면 사진-4에서 보듯이 슬러지부스러기가 많이 보인다.

<원인>

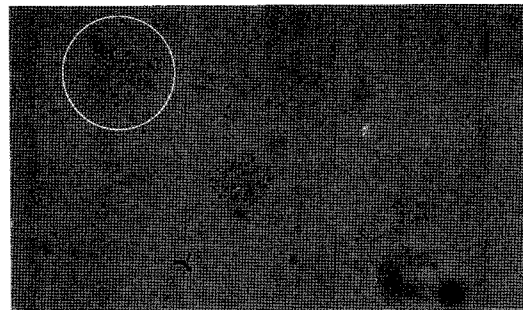
Low F/M, Long SRT, High DO가 오래 지속되므로서 슬러지 자기산화가 많이 진행되어 슬러지플럭은 해체되기 시작한다. 그리하여 슬러지부스러기가 침전조에서 가라앉지 않아 침전조상등액이 혼탁해진다.

<대책>

폭기량을 줄이거나 간헐포기를 한다.

BOD원이 있으면 유입BOD를 조금씩 늘려 F/M비를 증대시킨다.

폭기조가 여러개 있으면 폭기조용량을 줄이거나 원수 주입을 단속적(intermittently)으로 한다.



제지폐수처리장 침전조상등액, 슬러지 부스러기(원내)

2-5. 슬러지의 대부분을 차지할 정도로 특정균이 증식된 슬러지

2-5-1. Zoogloea별킹

<현상>

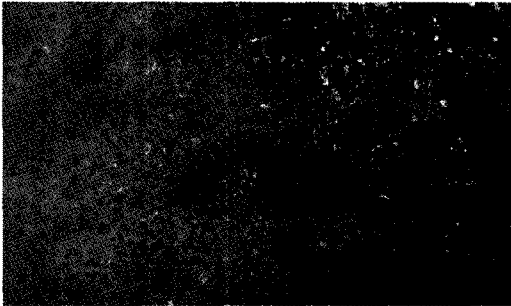
Zoogloea나 Amoeba가 우점한다. 침전조상등액이 혼탁해진다.

〈원인〉

충격부하가 원인일 가능성이 가장 많다.

〈대책〉

폭기조DO가 거의 0로 될 수 있으므로 폭기량을 최대로 한다. 슬러지부패(폭기조와(또는) 침전조가 검은색으로 변화)가 일어나면 원수주입을 일시 중단하고 폭기를 강하게 한다. N,P가 결핍되는지 확인하고 부족하면 충분히 공급해준다.



Zoogloea별킹

2-5-2.사상체 별킹

〈현상〉

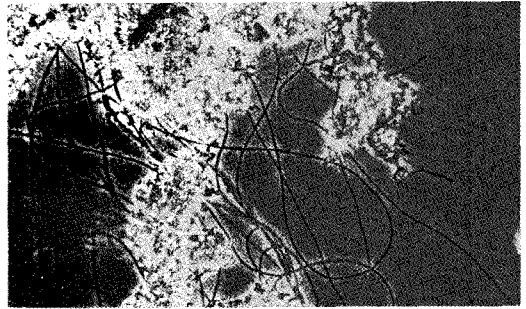
슬러지플럭 속에 또는 플럭 바깥으로 길게 뻗어 나가며 증식하고 있는 사상체가 매우 많다. 슬러지 침강성이 매우 악화(대체로 SV₃₀이 98%이상)된다. 그리하여 침전조에서 슬러지블랭키트가 매우 높아져 방류수로 슬러지가 유출될 수도 있다. 별킹이 심하게 일어나면 침전조가 갈색으로 보이고 별킹 사상체의 종에 따라서는 침전조상등액이 매우 혼탁되고 방류수의 SS도 매우 높아질 수 있다.

〈원인〉

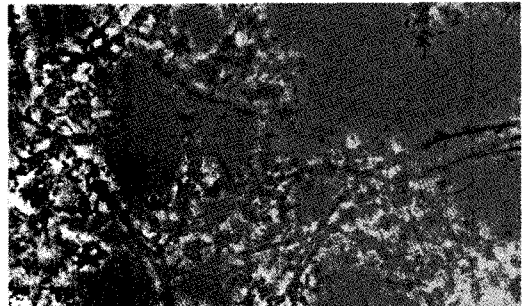
실모양의 사상체(絲狀體, filament)가 많이 증식하여 플럭의 침강을 방해한다. 별킹을 일으키는 사상체의 종류는 20종이 넘는다.

〈대책〉

사상체 증식을 유발하는 환경(1.Low DO(=High F/M), 2.Low F/M, 3. 원수 부패, 4.N,P결핍, 5.Low pH)에 대해 그 반대로 운전한다. 사상체를 죽이는 약품(Cl₂, H₂O₂ 등), 사상체의 증식을 억제하는 약품(alum, FeCl₃ 등)을 투입한다. 시설을 개선하므로



별킹슬러지, Type 021N



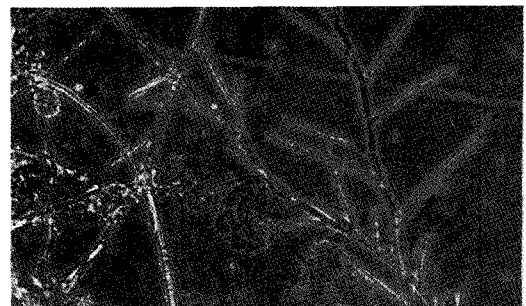
별킹슬러지, Type 0041

서(선택조 설치, 폭기조 분할, 물 흐름을 plug flow로 바꿈) 사상체증식을 억제시킨다.

2-5-3.곰팡이 증식 슬러지

〈현상〉

곰팡이가 많이 증식되어 슬러지 침강이 매우 악화되고(곰팡이 별킹) 처리효율도 저하된다.곰팡이 덩어리(흰색, 폭기조내에서 곰팡이는 포자생성을 하지 않고 균사증식만 한다)가 생기거나 점성이 생기도 한다.

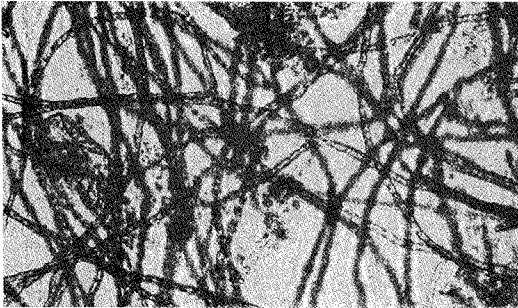


아이스크림폐수처리장, 200배

〈원인〉

원수에 당, 유기산 등이 많이 함유되어 있을 때

폭기조의 pH가 산성으로 되기 쉬운데 곰팡이는 산성에서 잘 증식한다.



음료폐수처리장, 200배

〈대책〉

슬러지인발량을 증가시키면서 폭기조의 pH를 중성으로 조정해준다. 그리하여 활성슬러지에 곰팡이 대신 세균이 증식되도록 한다. 슬러지생성을 빠르게 하기 위해 세균제제를 투입해도 좋다.

2-5-4. 효모가 증식된 슬러지

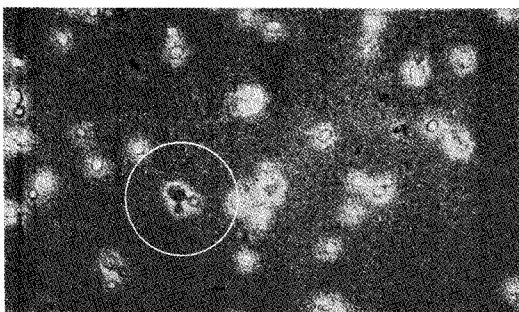
〈현상〉

슬러지침강성은 양호한 경우가 많지만 침전조상 등액이 혼탁하다. 그 상등액에 효모가 많이 분산되어 있다.

〈원인〉

원수에 당이 많이 함유되어 있을 때 폭기조에서 효모가 잘 증식한다.

효모는 플러클을 형성하지 않으므로 침전조에서 침강되지 않고 방류수로 유출된다.



음료폐수처리장, 출아법으로 증식하는 효모(원내)

〈대책〉

당폐수의 경우 집수조에서 이미 효모가 증식되

기 쉬으므로 효모증식을 억제하는 대책을 세운다.

원수를 희석처리하거나 집수조, 폭기조의 pH가 산성으로 되지않게 중화(약품비가 많이 소요된다.)시킨다. 침전조 유출수를 약품으로 응집처리하여 효모를 제거한다.

2-5-5. 방선균 Nocardia가 증식된 슬러지

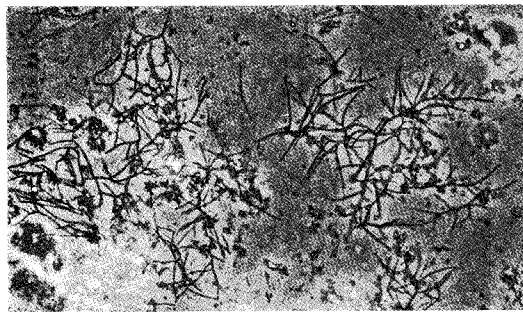
〈현상〉

폭기조에 거품과 스크임이 많이 발생된다. 방선균 세포가 분산되어 있으므로 침전조가 갈색으로 보이고 상등액이 매우 혼탁해진다.

〈원인〉

방선균 Nocardia가 많이 증식되어 있다.

Nocardia는 원수에 기름이 함유되어 있을 때, 수온이 높고 SRT가 길 때 증식되기 쉽다.



오수처리장, Nocardia, 200배

〈대책〉

스크임을 제거한다. SRT를 감소시킨다. 1차처리를 통해 원수의 기름을 제거한다.

2-5-6. Microthrix parvicella가 우점된 슬러지

〈현상〉

폭기조에 아주 두꺼운 스크임이 형성된다. 폭기강도가 높을수록, 기포의 크기가 작을수록 스크임발생은 더 많아진다.

〈원인〉

길이가 아주 긴 사상체 Microthrix parvicella가 많이 증식되는데 폭기조혼합액에는 적고 스크임에 대부분 포함되어 있다. Microthrix parvicella는 수온이 낮은 겨울철에 더 잘 증식한다.

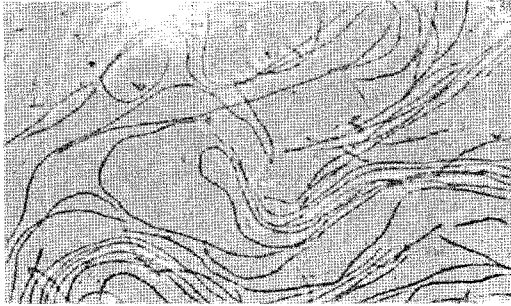
이 균 역시 원수에 기름이 함유되어 있을 때, SRT가 길 때 증식되기 쉽다.

〈대책〉

스킴을 제거한다.

스킴을 완전히 제거해야 하며 다시 스킴이 생성되더라도 생성되는대로 스킴을 제거하는 것이 바람직하다. SRT를 감소시킨다.

1차처리를 통해 원수의 기름을 제거한다.



하수처리장, Microthrix parvicella, 200배

2-5-7. 후생동물이 변장한 슬러지

〈현상〉

폭기조에서 거품이 발생되기 쉬우며 슬러지는 점성이 있는듯이 보이는 경우가 많다.

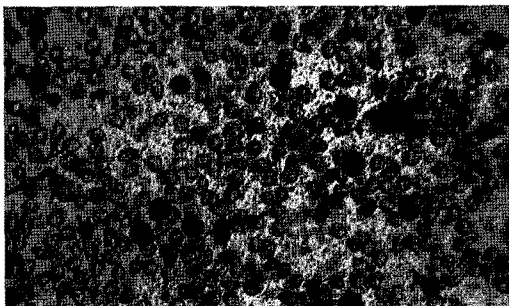
〈원인〉

SRT가 길게 되면 증식속도가 느린 후생동물도 증식이 가능해진다.

폭기조 MLSS가 높은(SRT가 긴) 처리장에서 후생동물이 증식되기 쉽다.

〈대책〉

슬러지인발량을 증대시켜 SRT를 감소시킨다.



커피폐수처리장 거품에 포함된 Rotaria, 40배



식품폐수처리장에 번창한 Aelosoma, 40배

2-5-8. 분산세균이 많이 증식된 슬러지

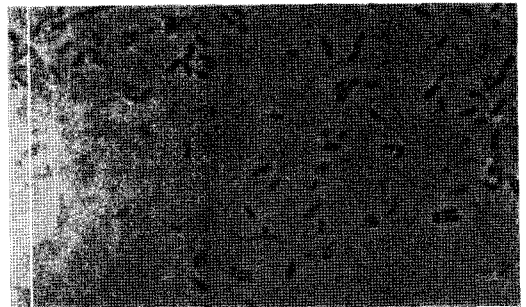
〈현상〉

침전조상등액이 거의 우유빛이고 방류수에 분산세균이 많이 포함되어 있어서 뿌연다. 폭기조에서 부패가 일어나 슬러지는 검은색이다.

〈원인〉

충격부하 때문이다. 충격부하에 의해 갑자기 F/M비가 크게 높아지므로 폭기조에 DO가 0로 되어 부패가 일어난다.

따라서 원생동물이 전혀 증식하지 못한다. 대신 플릭 주위에 아주 활발하게 움직이는 세균(분산세균, dispersed growth)이 많다.



전자폐수처리장, 분산세균, 위상차 1,000배

〈대책〉

가능하다면 일시적으로 원수공급을 중단하고 폭기량을 최대로 한다. 그리하여 되도록 빨리 원생동물이 증식할 수 있도록 환경(DO>0)을 만들어준다.

침전조 앞에 응집제를 투여하여 침전조에서 유출되는 분산세균을 다시 폭기조로 반송시키므로서 폭기조의 F/M비를 낮춰준다.

2-6. 편모충류가 증식한 슬러지

〈현상〉

활성슬러지에 편모충류와(또는) 소형의 유영형 섬모충류(swimming ciliates)가 많은 수로 나타난다. 침전조상등액이 혼탁한(편모충류중 Pleuromonas로만 우점되면 Pleuromonas는 플럭에 고착하고 있으므로 상등액이 맑다) 경우가 많다.

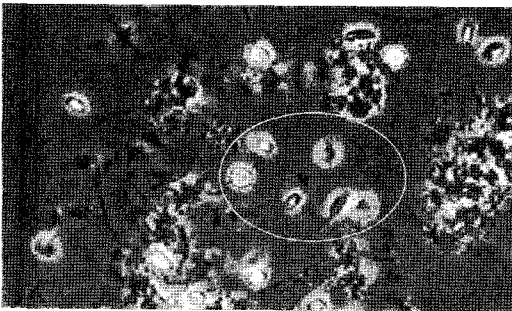
〈원인〉

동물성편모충류(Bodo, Monas, Oikomonas, Pleuromonas 등)는 F/M비가 높을 때 증식한다. 따라서 영양이 풍부하므로 편모충류의 운동성이 매우 높다.

편모충류는 플럭 바깥에 분산되어 돌아다니므로 많은 수로 증식되면 상등액이 혼탁해진다.

〈대책〉

폭기량을 최대로 한다. 원수 유입량을 줄이거나 폭기조 MLSS를 높여 F/M비를 낮춘다. 원수를 폭기조별로 나눠 주입시키는 것(step feed법)도 하나의 방법이다.



Pleuromonas(원내)가 증식한 슬러지, 400배

2-7. F/M비가 적당한 슬러지

〈현상〉

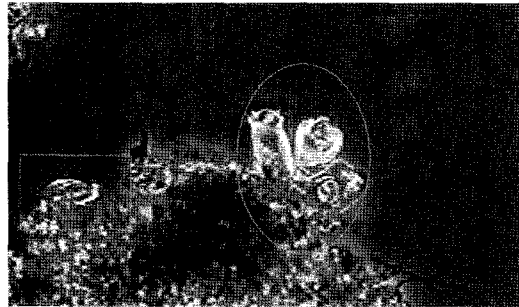
고착형섬모충류(Vorticella 등), 포복형섬모충류(Aspidisca 등), 크기가 큰 유영형섬모충류(Chilodonna 등)가 나타난다. 후생동물이 출현되기도 한다. 대체로 슬러지가 크고 두껍고 단단해 보이며 플럭 내부는 약간 검은색을 띠기도 한다. 플럭 밖으로 길게 뻗어나와 있는 사상체는 거의 없다. 슬러지 침강이 잘되어 침전조상등액은 대체로 맑고 처리수질도 양호하다.

〈원인〉

F/M비가 적절하여(표준활성슬러지법에서 0.2~0.4) 다양한 원생동물과 후생동물이 증식하므로 플럭형성이 양호하고 상등액도 맑다.

〈대책〉

원수유입을 일정하게 하여 F/M비를 유지한다.



고착형섬모충류 Vorticella(원내), 포복형섬모충류 Aspidisca(사각내)

다음호에 계속...