

폐수 고도처리

::연재

II. 질소 및 인의 처리기술

1. 생물학적 인·질소제거 공정

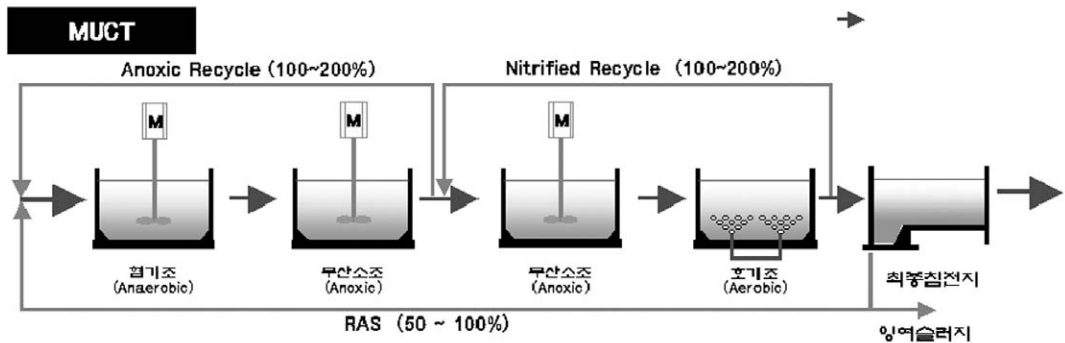
1-4-3. 설계인자

- HRT : 5~8시간(혐기성조 : 1.0~2.0시간, 1차 무산소조 : 2.0~4.0시간, 2차 무산소조 : 2.0~4.0시간, 호기성조 : 4.0~12.0시간)
- SRT : 10~30일
- F/M비 : 0.1~0.2kg BOD/MLVSS/d
- MLSS : 1,500~3,000mg/L
- 슬러지반송율(RAS) : 50~100%
- 내부반송(Nitrifier 반송) : 100~200%
- 내부반송(Anoxic 반송) : 100~200%

1-4-4. 장단점

- 인 제거 공정이 최적화 되어있어 A₂/O, UCT 공법보다 처리효율이 안정
- 기존시설의 고도처리 변경시 적용 용이
- 건설비는 표준활성슬러지법과 유사하거나 약간 높은(5~10%↑)수준임
- 내부순환을 위한 펌프사용량이 많아 유지관리비가 높으며 운전이 복잡함
- BOD/TN 비가 낮은 국내하수의 처리에 대한 기술축적이 되어 있지 않아 외부탄소원의 주입이 필요할 수 있음
- 수온 저하시 효율이 다소 저하함

1-4-5. 처리공정 모식도



1-5. VIP(Virginia Initative Plant)공법

1-5-1. 처리공정 개요

- 혐기성조, 무산소조, 호기성조로 구성
- 탈질을 위한 내부반송과 무산소조에서 혐기성 조로의 내부반송 및 침전지 슬러지 반송으로 구성
- 공정 유입수내의 일부 유기물 혐기성 지역에서 혐기성분해 공정의 산소요구량을 감소시키는 효과가 있음

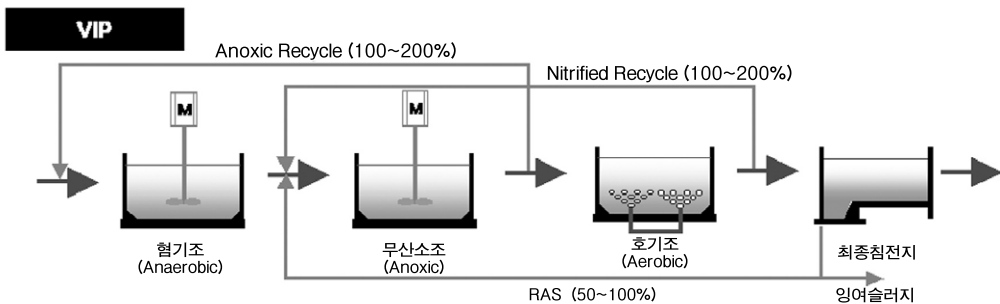
1-5-2. 처리효율

- 유기물질 - BOD : 90%이상, SS : 90%이상
- 영양염류 - TN : 50~75%, TP : 80%이상

1-5-3. 설계인자

- HRT : 5~8시간(혐기성조 : 1.0~2.0시간, 무산소조 : 1.0~2.0시간, 호기성조 : 2.5~4.0시간)

1-5-5. 처리공정 모식도



- SRT : 5~10일
- F/M비 : 0.2~0.5kg BOD/MLSS/d
- MLSS : 1,500~3,000mg/L
- 슬러지반송율(RAS) : 50~100%
- 내부반송(Nitrifier 반송) : 100~200%
- 내부반송(Anoxic 반송) : 100~200%

1-5-4. 장단점

- A₂/O, UCT 공법보다 처리효율이 안정적
- 반응조 크기가 적으므로 경제적
- 기존시설의 고도처리 변경시 적용 용이
- 건설비는 표준활성슬러지법과 유사하거나 약간 높은(5~10% ↑)수준임
- 내부순환을 위한 펌프사용량이 많아 유지관리비가 높으며 운전이 복잡
- BOD/TN 비가 낮은 국내하수의 처리에 대한 기술축적이 되어 있지 않음
- 수온 저하시 효율이 다소 저하함

1-6. PhoStrip 및 PhoStrip II 공법

1-6-1. 처리공정 개요

- PhoStrip™ 공법 - 생물학적 처리공정중 반송 슬러지의 일부가 탈인조로 유입 후 혐기성 조건에서 용출된 인은 상등수로써 배출되고, 인이 거의 없어진 활성슬러지는 포기조로 반송

- 인 농도가 높은 상징액은 석회(Lime)나 기타 응집제로 처리 후 고액 분리시킴
- PhoStrip II™ 공법 - 질소제거를 위하여 PhoStrip™ 공법을 변형한 것
- 인 용출 탱크 앞에 전단 용출탱크를 설치 용출 체류시간을 증가시킴



- Underflow의 용해성 BOD를 이용하여 유입슬러지중의 질산성질소를 탈질

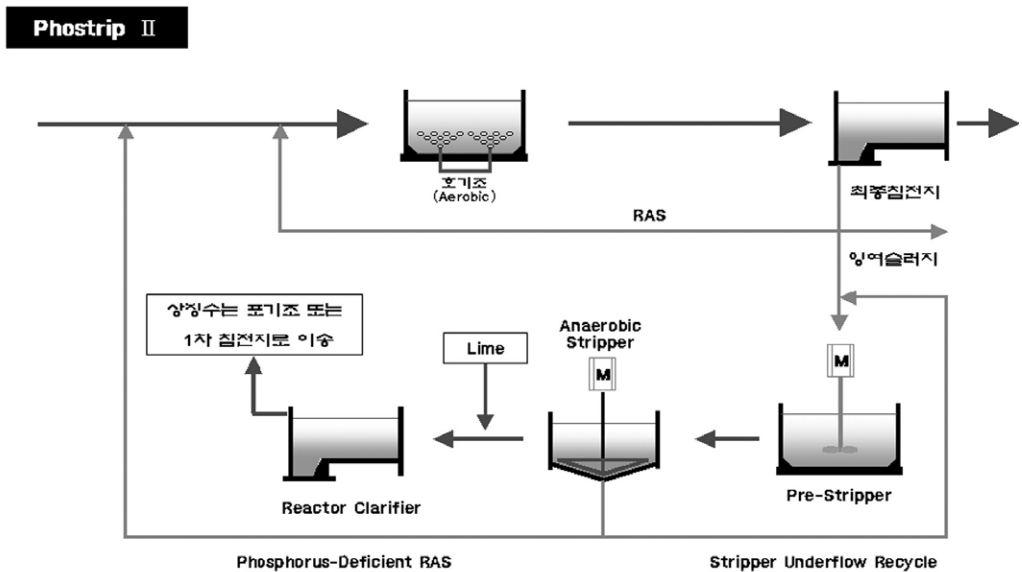
1-6-2. 처리효율

- 유기물질 - BOD : 90% 이상, SS : 90% 이상
- 영양염류 - TN : 20~30%(PhoStrip II : 70~80%), TP : 90% 이상

1-6-3. 설계인자

- 주처리공정 : 표준활성슬러지법과 비슷
HRT : 4~10시간, SRT : 10~30일,
F/M비 : 0.1~0.5kg BOD/MLSS/d,
MLSS : 1,500~3,000mg/L, 반송율 (RAS) : 20~50%

1-6-5. 처리공정 모식도



1-7. SBR

1-7-1. 처리공정 개요

- 단일 반응조에서 정해진 시간의 배열에 따라 각 단위공정이 연속적으로 일어남
- 유입(Fill)공정 → 반응(React)공정 → 침전

- 탈인조 : HRT 8~12시간, 슬러지 반송 : 10~20%

- 전단용출탱크(Re-stripper tank)의 HRT : 약 2시간

1-6-4. 장단점

- 연중 안정적인 방류수 수질유지가 가능
- 수온, 유입수질의 변동에 영향이 적음
- 건설비는 표준활성슬러지법보다 약간 높음
- 인 제거를 위하여 석회를 사용하므로 유지관리비가 높음
- 석회 Scale의 방지대책이 필요

(Settle)공정 → 배출(Draw)공정 → 휴지 (Idle)공정의 순

1-7-2. 처리효율

- 유기물질 - BOD : 85~90%, SS : 85~90%
- 영양염류 - TN : 30~85%, TP : 30~70%

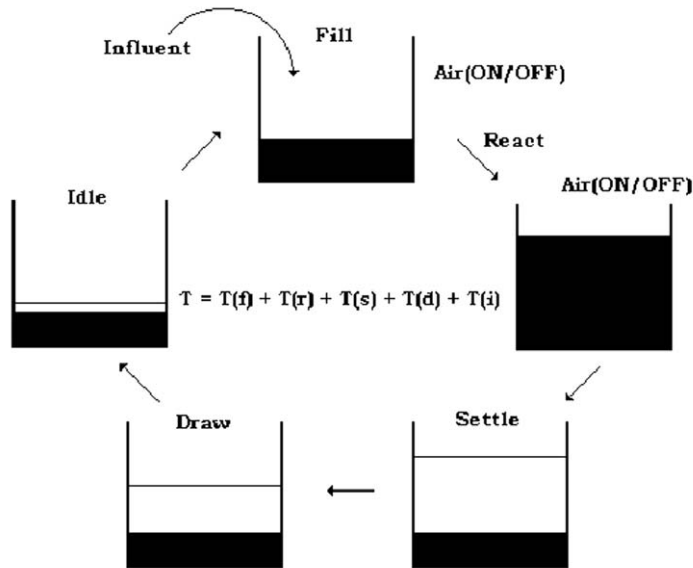
1-7-3. 설계인자

- 운전시간(3~24시간) 및 제어방법
- MLSS : 2,000~3,000mg/L
- F/M비 : 0.15~0.50kg BOD/MLSS/d
- 반송율 : 반송없음
- 혐기지속시간 : 1.8~3.0hr
- 호기지속시간 : 1.0~4.0hr

1-7-4. 장단점

- 침전지 및 반송이 필요없음
- 반응조건을 조절함에 따라 질소와 인의 제거
- 충격부하(Shock load)에 비교적 강함
- 시설이 간단하여 운전이 용이함
- 토지가 부족한 소규모 하수처리에 주로 적용 (주로 20,000~30,000m³/일 이하)

1-7-5. 처리과정 모식도



1-8. B3 공법(Bio-Best-Bacillus sp.)공법 특징

우리나라의 하수처리장에 현재 적용되어 있는 공법은 대부분이 활성슬러지공법으로 이는 유기물제거에 중점을 둔 공법으로 현재 여러 문제가 되고있는 영양염류의 제거에는 그 제거효율의 한계가 있다. 또한, 반응조를 각각 혐기조, 무산소조, 호기조로 구분을 하여 각각 설치 운영되고 있는 공법보다 기존의 활성슬러지로 운전되고 있는 처리장의 보완이나 신설처리장의 적용시 그 비용 및 유지관리가 타 공법에 비해 저렴하고 운전이 용이한 특징을 가지고 있다.

1-8-1. 공법의 구성

① 하수처리장

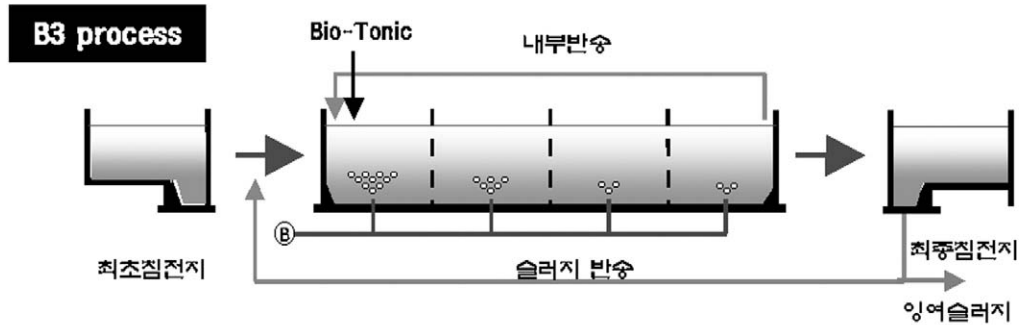
하수처리장에서 본 공법은 크게 유입수를 균등분배하기 위한 분배조, 최초침전지, 반응조, 최종침전지로 구성된다. 반응조는 총 4개의 실로 구분되어 각각의 실에 폭기 및 교반을 위한 산기관이 설치되어있다.

② 분뇨·축산폐수 처리장

고농도의 유기물질이 처리장내로 유입되기 때문에 제1반응조와 제2반응조로 구성되어 처리하고 있다.



B3 공법의 주공정도



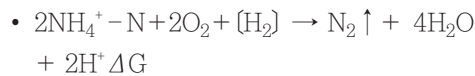
1-8-2. 공법의 영양물질 제거원리

① 질소제거원리

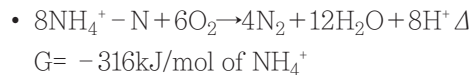
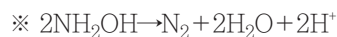
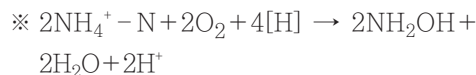
B3공법에 의한 질소제거 공정 아래에 나타낸 4가지의 과정에 의해 질소가 제거된다..

가. 호기탈질에 의한 질소제거

수소 공여체로서 유기물질이나 황 화합물을 환원하여 사용하는 호기탈질에 의한 질소제거 <호기성 조건에서 수소공여체가 존재할 경우>



$$= -435\text{kJ/mol of NH}_4^+$$



나. 동화작용에 의한 질소제거

추가 탄소원의 공급없이 바실러스속 세균의 세포합성과 에너지대사에 필요로 하는 glutamine 합성효소의 생산을 위해 암모니아성 질소의 형태로 섭취하는 동화작용에 의한 질소 제거과정이다.

※ $\text{NH}_4^+ - \text{N} \rightarrow$ 체내흡수

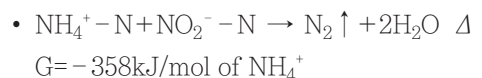
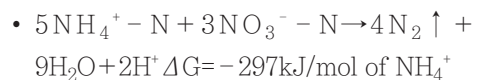
(Glutamine & Asparagine \rightarrow Amino Acid)

• 암모니아의 동화작용의 과정에 관여하는 것으로 Glutamate, 탈수소효소, 글루타민 합성효소, 알라닌 탈수소 효소, 글루타민-알라닌 아미노기 전이효소가 관여하는 것으로 알려져 있다.

- Glutamin합성과정은 Glutamate dehydrogenase에 의해 ammonium을 α -ketoglutarate로 이동하여 glutamate합성
- Glutamine synthetase에 의해 ammonium을 glutamate로 이동하여 glutamine을 합성

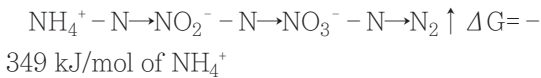
다. Anamox(Anaerobic ammonium oxidation)에 의한 질소제거

무산소 상태에서 전자수용체인 아질산성 질소나 질산성질소에 의해 암모니아가 산화되는 Anammox (Anaerobic ammonium oxidation)공정에 의해 제거



라. 일반적인 질산화 → 탈질 과정에 의한 질소제거

대부분의 유기물이나 질소 및 인이 제거되는 포기조 제1실의 우점종은 바실러스속 세균이지만 이외의 절대적 호기성세균인 질산화 미생물 등이 공존하는 상태이므로 질산화 과정→탈질과정을 경유하여 질소가 제거되는 것을 생각할 수 있다. 그러나 실제현장에서 90%이상의 질소가 제거되는 포기조 제1실에서 측정된 질산성질소의 농도가 저농도로 측정되는 것으로 보아 B3공법에서 질산화 과정→탈질과정에 의한 질소제거는 매우 적음을 알 수 있다.



② 인제거 원리

가. 물질대사에 의한 제거(핵지질, 핵산, 단백질의 구성성분으로 섭취)

나. 포자화 과정으로 진행될 때 인산염 보충(알칼리성 Phosphatase 유전자를 발현시킴)

다. 바실러스속 세균의 고 균체 농도에 의한 인의 다량제거(일반적인 활성슬러지법과 비교하여 10~100배의 고 균체의 농도를 유지함으로써 P의 다량제거)

2. 생물막 공정

일반적으로 하·폐수처리공정은 미생물의 성장형태에 따라 부유식 성장(Suspended Growth)과 부착식 성장(Attached Growth)으로 나눌 수 있다. 부착식 성장의 경우에는 관여하는 미생물들이 고정상 또는 이동상의 매질에 부착하여 형성된 생물막(Biofilm)을 이용하여 정화하는 방법으로 살수여상, RBC, 활성생물막(Activated Biofilter), 유동상생물막(Fluidized Bed Reactor)등 여러 가지가 있는데, 미국의 경우 하·폐수처리장에서 생물막공정이 차지하는 비율이 30%이상이나 되는 반면에 우리의 경우는 거의 90%이상의 하수처리장이 부유식 성장에 근거한 활성슬러지 공정을 사용하고 있다.

2-1. 생물막 공법에 의한 질소·인제거 공정

2-1-1. 생물막 공법의 기본이론

생물막은 입자 표면에 부착되어 있는 미생물로 구성되어 미생물 세포와 여러 가지 생성물로 구성되어 있다(Marshall, 1992). 생물막은 유기 고분자 겔속에 갇혀 있는 살아있는 미생물과 유기 고분자 겔로서 고려될 수 있다(Flemming, 1993). 생물막 자체는 흡착력이 매우 강하고 물이 95%이상인 다공성 구조이며, 매트릭스 내에서 무기물질을 포획하기도 한다. 생물막은 젖어 있는 모든 표면에서 성장한다. 특히 유기물질이 박테리아에 정상적으로 공급되는 유수계(flowing system)에서 빠르게 형성된다.

2-1-2. 생물막 형성과정

생물막 공정에서 생물막 형성과정은 유기물의 흡착, 미생물의 이동과 부착, 미생물의 증식에 따른 생물막의 탈리와 같은 과정을 거치며 이루어진다. 각각의 생물막은 다양한 계면을 통한 물질전달 과정과 지지매체에 생물막이 축적되는 과정으로 분류할 수 있다. 따라서 생물막형성은 다음의 물리적, 화학적, 생물학적 공정을 거쳐서 형성된다고 할 수 있다.

- 먼저 유기물 분자가 지지매체에 축적되어 “조절된 담체 표면(Conditioned substratum)을 형성한다.
- 부유하는 형태의 미생물 세포가 벌크 유체로부터 조절된 담체 표면으로 이동된다.
- 담체에 도달한 세포층 일부가 가역적으로 담체에 부착하였다가 탈착한다. 이 과정을 가역부착이라고 한다. 탈착은 주로 유체의 전단력에 의해 발생되지만, 다른 물리적, 화학적 또는 생물학적 요소들도 영향을 미칠 수 있다.
- 가역적으로 흡착된 세포중 일부는 어느 일정기간 이상 고정화되고 비가역적으로 부착된다. 비가역적으로 부착된 세포는 벌크 유체로부터 기질과 영양염을 이용하여 성장함에 따라 생물막



세포수가 증가하고 다른 신진대사 후 생성물을 만드는데, 이 중 일부는 배출된다. 이러한 생성물의 한 종류가 생물막을 결합시켜 주는 세포의 고분자 물질이다. 그러므로 생물막 축적은 벌크 유체의 기질 에너지를 소모하는 미생물 대사과정을 통하여 축적된다.

- 세포와 다른 입자성 물질이 생물막에 부착되어 생물막 축적을 증가시킨다.
- 생물막의 일부가 탈착되어 벌크 유체에서 부유하게 된다.

여기서 탈리(detachment)는 생물막으로부터 세포외 고분자 물질의 유실을 의미하나, 탈착(desorption)은 담체 표면으로부터 미생물과 세포외 고분자 물질의 유실을 의미한다. 탈리는 침식이나 탈락에 의한 손실을 말하며, 미생물 증식과정 중 딸세포를 벌크 유체 상으로 방출할 수도 있다.

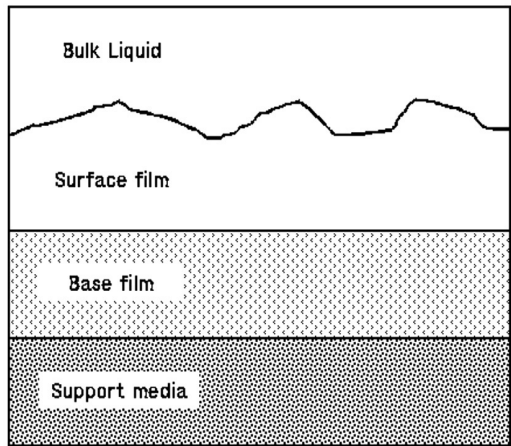
Marshall(1971) 등은 부착과정이 상대적으로 두 단계로 구성되어 있다고 제안하였다. 첫 번째 단계는 매우 빨리 일어나 부착능이 상대적으로 약하고 가역적이며 운동상태를 유지하면서 세포와 접촉표면사이에서 서로 잡아당기는 Van der Waal's 인력과 전자층(Electron layer)의 척력이 작용하여 양자사이에는 좁지만 일정한 간극이 존재한다고 하였다. 이에 반해 두 번째 단계는 비가역적인 단단한 부착으로써 적어도 3시간의 잠복기간을 필요로 하며, 이 단계에서는 부착상태에 있는 생물막을 흐르는 물에서 세척을 하여도 부착된 표면으로부터 생물막이 떨어지지 않는다.

2-1-3. 생물막 구조

〈그림 1〉에 나타난 바와 같이 생물막은 두 가지 다른 구조로 형성되어 있다.

- 기초막(Base film) : 독특한 성분이 연속적인 고체모형(matrix)을 형성

- 표면막(Surface film) : 다소 불연속적이고 사상성 구조를 형성



〈그림 1〉 Schematic diagram of base and surface film

생물막은 표면막이나 기초막 하나로 이루어지거나 두 부분의 조합으로 이루어진다. 표면막은 생물막 벌크액체 계면 근처에서의 불균일한 생물막 영역으로 정의된다. 표면막은 거칠고 점탄성 표면(visco-elastic)을 가지며, 유체의 마찰저항을 받는다.

표면막에 유기물이나 무기물이 전달된다. Suschka(1987)는 살수여상 공정에는 두 개의 생물막 층(기초막과 표면막)이 존재하며, 기초막의 공극율과 표면막의 공극율이 다르다고 주장하고, 표면막 층에서는 액체가 자유로이 움직일 수 있고, 기초막에서는 생물막 내로 포획되어 흐른다고 하였다. 기초막에는 세포와 고분자가 연속적으로 축적되고 표면막보다 밀도가 높아서 전달현상이 제한되어 영양물질 수송은 분자확산에 의해 지배된다.

자료제공 : 환경보전협회 환경연수부
다음호에 계속...