

# 하향류식 슬러지층 여과(SBF)를 이용한 하수고도처리기술

(주)엘지건설/(주)에스비에프

## 기술 주요내용

○본 기술은 기존의 A2O공법과 Sludge Blanket Filtration(SBF)을 고액분리 단위공법으로 조합한 공정으로서 각 생물반응조의 미생물 농도를 6,000mg/이상의 고농도로 운전하여 생물학적 유기물, 질소 및 인 제거효율을 극대화하고자 하는 기술

○또한 활성슬러지 반응조로부터 유입된 슬러지를 SBF에서 미세기포를 이용하여 부상시킴으로써 수면에 농축 슬러지층을 형성시키고 이 부상 농축된 슬러지 층에 활성슬러지를 포함한 고품질 혼합액을 유입시키므로 매우 안정적인 고액분리 효율을 얻을 수 있는 기술

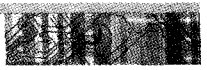
## 1. 기술의 개발배경 및 개요

하수 중의 유기물, 질소, 인 등을 제거하는 생물학적 하수처리공정에서 활성슬러지라 불리는 미생물 집합은 가장 핵심적인 역할을 수행하는 생물학적 고품질이다. 이러한 활성슬러지를 이용한 하수처리공정(활성슬러지 공정)의 운전효율은 유입하수의 유기물을 포함한 오염물질의 농도부하 및 유량부하, 반응조의 활성슬러지 농도 및 상태, 수리학적 체류시간과 고품질 체류시간 등에 의해 큰 영향을 받는다. 특히 활성슬러지의 농도는 전형적인 활성슬러지 공정 뿐만 아니라 질소, 인제거를 포함한 하수 고도처리공정에서도 매우 중요한 운전인자로서 인식되고 있다. 그러나 기

존의 고액분리 방법 중 가장 보편적으로 사용되는 중력침전으로는 반응조의 활성슬러지 농도를 적절히 조절하거나 고농도로 유지할 수가 없다.

특히 간헐적으로 발생하는 슬러지 팽화현상(bulking)이나 침전조에서 탈질에 의해 발생하는 질소 가스에 의한 슬러지 재부상과 이에 따른 고액분리 효율의 저하 및 활성슬러지의 과다 유실 문제는 중력침전에서 가장 대처하기 곤란한 문제점으로 지적되고 있다.

활성슬러지 공정에서 중력침전이 가지고 있는 이러한 문제점을 궁극적으로 해결하고 반응조의 미생물 농도를 고농도로 유지시켜 유기물 및 영양염류, 그리



고 기타 오염물질에 대한 제거효율을 향상시키고자 고안된 방법이 하향류식 슬러지층 여과 (SBF; Sludge Blanket Filtration)를 이용한 고농도 활성슬러지 공법이다. 여기서 핵심이 되는 SBF 공정은 <그림 1>에서와 같이 부상 농축된 슬러지 층을 일종의 여재로 활용하여 이 슬러지 층에 활성슬러지를 유입시킴으로써 고액분리를 달성하는 기술이다.

즉, 유입수 중의 슬러지 입자 대부분은 슬러지층에 의해 분리됨과 동시에 미세기포에 의해 농축된다. 슬러지 층의 계면은 미세기포에 의해 인위적으로 유지되며, 이 기포를 이용하여 슬러지의 농축효율을 향상시킨다.

농축된 슬러지는 반응조 상부에 설치된 스크레이퍼에 의해 슬러지 저류조(탈기조)로 배출된 후 혐기조로 반송되며, 처리수는 반응조 하단의 유출관을 통해 배출된다.

본 공정에 있어서 미세기포의 발생방식은 전기분해, 또는 가압방식을 선택적으로 적용할 수 있으나 미세한 크기(평균 20~30 μm)의 기포를 안정적으로 발생시키고, 또한 사용상의 편의를 고려하여 현재 오산시 환경사업소 내 파이롯트플랜트(60ton/day)에서는

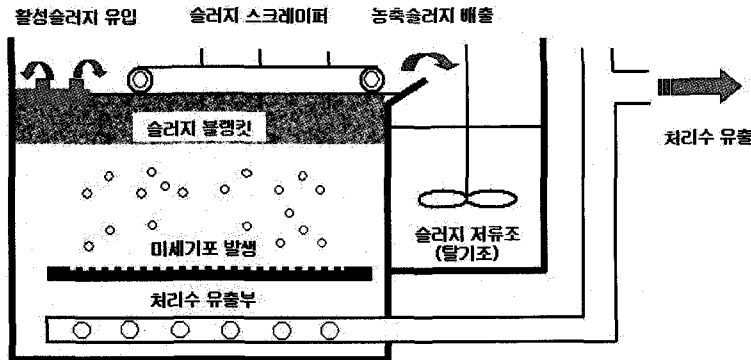
전기분해방식을 적용하고 있다.

SBF 방식에 의한 활성슬러지의 고액분리는 첫째, 침전에 의한 분리가 거의 불가능한 정도의 고농도(6,000~8,000 mg/l 이상) 활성슬러지를 효과적으로 분리할 수 있고, 둘째 기존 침전방식에 비해 2~3배 이상의 표면부하율로 운전이 가능하기 때문에 고액분리에 필요한 부지면적을 대폭 축소시킬 수 있고, 셋째 슬러지 벌킹 등에 의한 침전성 저하에 관계없이 안정적인 고액분리효율을 달성할 수 있으며, 넷째 슬러지층의 농도가 고농도(15,000~30,000 mg/l)로 농축되기 때문에 별도의 농축조가 필요치 않다.

지금까지 고농도 활성슬러지 공정의 운전을 위해 개발된 방법으로는 침지형 막을 이용한 활성슬러지 공정(MBR; Membrane Bioreactor), 순산소 포기 공정 및 대표적인 부착성장공법인 담체를 이용한 바이오필터 공법 등이 있다.

활성슬러지 공정에서 미생물을 고농도로 유지할 경우, 포기조 내에서의 유기물 처리능력의 상승으로 단위 용적당 유기물 부하율을 증가시킬 수 있기 때문에 포기조 용적을 50~75%까지 감소시킬 수 있고, 이에 따른 소요 부지면적도 대폭 줄어들게 된다.

【그림 1 SBF system 개략도】



## [신제품 신기술]

뿐만 아니라, 질산화 미생물 농도의 증가에 따라 질산화율이 급격히 향상될 것으로 기대되어, 암모니아성 질소의 제거효율이 극대화될 수 있다.

또한 F/M 비 (Food to Microorganisms)가 낮아 슬러지의 자기 산화가 활발히 진행되어 잉여슬러지의 발생량이 줄어들 것으로 예상된다. 그러나 MBR 공정이나 바이오필터 공법과 같은 경우에는 막 또는 담체의 구입에 따른 초기비용이 매우 클 뿐만 아니라, 장기간 운전시 활성슬러지 또는 슬러지 분비물에 의한 폐색이 발생하고 이에 따라 압력손실이 커지게 된다.

따라서 주기적인 세척 또는 역세척이 반드시 수반되어야 하는 단점이 있다. 순산소를 이용한 포기공법의 경우에는 활성슬러지를 고농도로 유지하기 위해서 매

우 양호한 슬러지의 침전성이 항상 확보되어야 하기 때문에 안정적인 운전이 불가능하고, 포기조의 미생물 농도 또한 8,000 mg/L 이상으로는 유지하기 어렵다고 알려져 있다. 더불어 순산소를 공급하기 위해 추가적인 비용이 든다는 단점도 있다.

이에 반해 본 기술에 의한 하향류식 슬러지층 여과를 이용한 고농도 활성슬러지 공법은 슬러지의 상태와 관계없이 항상 안정적으로 고액분리가 가능한 슬러지층 여과를 이용함으로써 생물반응조의 미생물 농도를 고농도로 일정하게 유지시킬 수 있을 뿐만 아니라, 필요할 경우 반응조의 농도 조절이 쉽기 때문에 생물학적 질소, 인 제거 공법을 포함하여 모든 생물학적 하·폐수 처리공정에 적용이 가능하다.

슬러지 blanket 층은 운전 개시 초기에 미세기포를 이용하여 활성슬러지 플록을 수면으로 부상시킴으로써 1시간 이내에 형성이 가능하고, 슬러지 blanket 층으로 유입된 고형물 혼합액은 슬러지 blanket 층의 동적 여과 기능에 의해 고액분리가 된다.

최종적으로 처리된 유출수는 반응조 하단의 유출부로 배출되고 고액분리된 슬러지는 생물반응조로 반송되어 안정적인 고형물 농도의 유지가 가능하다.

하향류 슬러지 blanket 반응조에서 일단 슬러지 층이 형성되면 미세기포는 이 층을 유지하는데 주로 사용이 되며, 만약 고형물 층에서 활성슬러지의 일부가 탈리된다면 이는 상승하는 미세기포에 의해 재차 부상하게 되므로 유출수에 포함되어 유실될 염려가 전혀 없다.

따라서 SS (suspended solids) 제거율은 전형적인 활성슬러지 공정에 비해 상당히 높다. 또한 미세기포는 공정 개시 초기를 제외하고는 슬러지 층의 계면유치에만 사용이 되므로, 일반적인 부상분리에 비해 약 1/2 이하의 동력만이 소요된다. 따라서 부상분리와 비교할 때, 본 발명에 의한 공법은 매우 저렴한 동력비로 운전하는 것이 가능하고, 앞에서 언급한 몇몇 고농도 활성슬러지 공법에 비해 초기설치비용이 매우 저렴할 뿐만

**[표1] 고농도 활성슬러지 공법별 운전조건 및 처리효율 비교**

	MBR	순산소 활성 슬러지	바이오 필터	본 발명 공법
반응조 MLSS (mg/L)	7,000 ~ 15,000	3,000 ~ 8,000	-	5,000 ~ 12,000
BOD 용적 부하율 (kgBOD/m <sup>3</sup> ·day)	0.2 ~1.2	1.6 ~3.2	0.08 ~1.6	0.2~ 1.2
F/M 비 (kgBOD/kgMLSS·day)	0.05 ~0.5	0.25 ~1.0	-	0.05~ 1.0
반송슬러지율 (%, 유입유량대비)	-	25 ~50	-	25~ 50
유기물제거율 (%)	>95%	85 ~95	65 ~90	>95%
SS 제거율 (%)	>95%	85 ~95	65 ~90	>95%



아니라 유지관리비용 측면에서도 경제적인 공법이다. 고농도로 활성슬러지 공정을 운전하였을 경우, 반응조의 MLSS (mixed liquor suspended solids) 농도, 적정 유기물 부하율, 유기물 제거율 및 유출수 SS 농도 등을 대표적인 고농도 활성슬러지 공정인 MBR 공법, 순산소 활성슬러지 공법 및 바이오필터 공법에 대해 본 발명에 의한 하향류 슬러지 blanket을 이용한 고농도 활성슬러지 공법과 비교하여 표 1에 제시하였다.

## 2. 기술의 효과

이상에서 설명한 바와 같이 본 발명에 의한 하향류식 슬러지층 여과를 이용한 고농도 활성슬러지 공법은 하·폐수중의 유기물, 영양염류 및 입자상물질 등을 효과적으로 제거하기 위한 수처리 공정으로서 기대되는 효과는 다음과 같다.

첫째, 고농도의 생물학적 고형물을 안정적으로 고액 분리할 수 있으므로 생물반응조의 MLSS 농도를 원하는 수준으로 높게 유지할 수 있다는 점이다. 생물반응조의 미생물 농도를 높게 유지할 경우, 표 1에서 제시하였듯이 높은 용적부하와 유기물 부하율에 대해 운전이 가능하며, 따라서 반응조 내에서의 수리학적 체류 시간을 단축시킬 수 있다. 고율 포기법에서는 반응조에서의 MLSS를 4,000~10,000 mg/L 정도로 유지하기 위해 유입유량 대비 약 100~500%의 슬러지 반송율이 필요하다고 알려져 있으나 (폐수처리 단위조각, 1998, 제2판; 서명교 외), 본 기술에 의한 공법은 중력 침전이 아닌 부상농축을 채택하고 있으므로 슬러지 반송유량을 대폭 감소시켜 수리학적 변화에 따른 생물학적 반응의 불안정성을 획기적으로 개선시킬 수 있다.

둘째, 생물반응조의 미생물 농도가 증가할 경우, 질

산화 미생물의 농도 또한 증가하여 암모니아성 질소의 제거율 또는 질산화율의 증가를 꾀할 수 있다.

독립영양미생물인 질산화균의 경우, 암모니아성 질소 또는 암모니아성 질소의 질산화에 따라 생성되는 아질산성 질소를 에너지원으로 사용하기 때문에 유입수의 부하율 상승에 따라 증가된 암모니아성 질소를 이용하여 그 개체수가 급격하게 증가하기 때문이다. 슬러지층 여과 공정을 생물학적 질소·인제거와 같은 고도처리공법에 적용할 경우, 미생물 농도 증가에 따른 질소·인제거 효율 향상과 모든 반응조의 용적을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

셋째, 앞서 기술한 바와 같이 고농도로 유지되는 중속영양미생물의 양에 비해 유입 유기물의 양이 적으므로 F/M 비가 감소하여, 미생물의 자기 산화율이 증가된다. 자기산화된 미생물은 대부분 SBCOD (slowly biodegradable COD)이고 (Biological wastewater treatment, 1999, 2nd Ed.; Grady & Daigger), 이는 가수분해과정을 거쳐 RBCOD (readily biodegradable COD)로 전환된 뒤, 다른 중속영양미생물에 의해 섭취되므로 잉여슬러지 발생량이 감소하며, 이에 따라 슬러지 처분비용 또한 상당히 감소될 것으로 기대된다.

넷째, 생물반응조의 용적 감소와 기존의 중력 침전조 대체 효과에 따른 처리장 부지가 획기적으로 감소될 수 있다. 중력침전조의 경우, 넓은 부지면적과 비교적 긴 체류시간을 요구하는 반면 하향류식 슬러지층 여과조는 중력침전조에 비해 약 2~3배 이상의 표면적 부하율과, 30분 이하의 체류시간으로 운전이 가능하기 때문에 소요되는 부지면적을 상당히 줄일 수 있다.

또한 슬러지층 여과조의 동적여과 기능과 탈리된 고형물의 재부상효과에 의해 유출수의 입자상 물질의 농도를 5mg/L 이하로 유지할 수 있다. [기술문의 (031)299-6682]