

수처리용 생물산화 여과장치 개발

(Development of the Biological Oxidation Filter System for Water Treatment)

연구기관:(주)신우엔지니어링 부설연구소, 고려대학교, 참여기업:(주)신우엔지니어링

염병호, 정충혁, 문정석*, 최승일

기술개발요약

본 연구는 99년 7월에 벤처형 중소기업 기술개발 지원사업으로 신규 계약된 과제로서 상수원수의 전처리 및 하수 2차 침전수의 재처리 공정에 활용될 생물 산화 여과지를 개발하는 것이다. 생물 산화 여과 system은 상수 원수의 전처리, 상수도의 고도정수 처리, 하수 및 폐수처리에 이용될 수 있는 것으로, 특히 물리적 여과기능과 포기 과정을 통한 산화 기능을 포함하는 생물학적 분해 및 자연정화처리환경을 유지하여 수질이 악화된 상수도의 전·후처리나 하·폐수의 3차 처리에 적용하기 위한 것이다.

생물 산화 여과 시스템은 여과지의 하부 장치에 균등한 공기(산소)공급시설을 하여 여과층에 연속적으로 공기를 공급하면서 여과를 함으로써 생물막 여과 및 산화 기능으로 유기물질, 철, 망간 등을 제거하고 공기의 부상력에 의하여 조류, 부유 물질, 냄새 등을 동시에 제거하는 System이다.

현재 상수처리 공정으로서의 생물 산화 여과지 개발을 위해 Bench-scale과 semi-pilot plant를 거쳐 Y시 M취수장에 pilot plant를 설치하여 연구를 진행중에 있으며 또한, G시 G하수처리장에 하수처리 공정에 관한 연구를 위해 pilot plant를 설치하고 하수 3차처리와 저농도 하·폐수 처리를 중심으로 연구중에 있다. 아래의 연구 결과는 정수처리 공정 연구를 위한 Bench-scale plant실험을 통해 얻은 결과치이며 현재까지 진행된 연구는 주로 정수처리 공정 중심으로 이루어 졌으나 pilot plant에서는 정수 및 하수처리에서의 생물산화여과공정의 연구가 진행중이다.

현재 연구가 진행중이므로 각 인자별 최적운전조건 등은 지속적인 실험과 연구를 통해 찾아지겠으나 현재까지 수행된 연구자료를 기반으로 볼 때 생물산화 여과장치는 탁도, SS, VSS 등의 제거에 탁월한 효능을 보이고 있다.

수처리용 장치로서의 이러한 기본적인 기능 이외에 NPOC, DOC 제거에도 뛰어난 효능을 보이고 있으며 특히 정수처리 공정에서 문제시 되고 있는 동질기 암모니아성 질소제거 또한 큰 가능성을 보여주고 있다. 그 동안 외국기술에 전면 의존해 오던 생물 산화 여과방식의 국내개발은 비용 절감뿐만 아니라 국내 실정에 맞는 기술개발이라는 점에서 향후 그 적용 범위를 넓혀 갈 수 있을 것이다.

1. 서 론

1.1 연구배경

인구증가, 산업의 발달, 공업의 발전 등으로 인하여 생활하수, 산업폐수, 축산폐수의 양이 날로 증가하여

원수의 수질은 더욱 악화되는 반면에 시민의 요구수질은 높아만 가고 있다. 그러나, 정수처리 공정은 새로운 처리방식이 개발되지 못함으로써 상수도의 불신은 커지고 있는 실정이며 이와 같이 오염된 원수를 처리하기 위하여 최근에는 고도정수처리방식이 도입되

고 있으나 이 방식 역시 많은 단점이 있어 확대시행에는 많은 문제점을 안고 있는 실정이다. 현재의 고도정수처리 기술인 오존 + 입상 활성탄 처리공정(BAC)은 수질변화의 폭이 클 경우에는 처리에 문제점이 있으며 건설 및 유지관리 비용이 크고 오염물질의 증가에는 처리에 한계성이 있으므로 상수원수의 생물막 여과처리 방식인 허니컴 방식, 회전원판방식, 살수여상 방식 등의 다양한 처리방식이 연구되고 있으나 적용은 어려운 실정이다. 또한 철, 망간 등을 제거하기 위한 방법, 질소·인 등의 오염물질 제거방법 및 조류, 냄새물질 등의 제거방법이 일반화되어 있지 못하고 있다.

하·폐수처리부분을 살펴보더라도 저농도 하수처리는 일반적인 활성오니 처리방식으로 처리효과가 떨어지고 유지관리가 어려우므로, 간편한 처리기술의 개발이 요구되고 있는 실정이며 하·폐수의 방류수질 향상, 중수도의 개발 등을 고려할 때 처리가 용이하고 유지관리가 용이한 처리기술의 개발이 요망되어진다. 그 대안으로 수처리용 생물 산화 여과장치의 개발과제를 연구하게 되었으며 현재 정수와 하수분처리 분야에서 각각 실험은 계속 수행중에 있다. 아래의 연구 방법 및 결과는 정수처리 공정 연구를 위한 Bench scale plant실험을 통해 얻은 결과이다

1.2 생물산화 여과 system 개요

생물산화 여과 System은 상수 원수의 전처리, 상수도의 고도정수 처리, 하수 및 폐수처리에 이용될 수 있는 생물산화 여과방법 및 장치에 관한 것으로, 특히 물리적 여과기능과 포기 과정을 통한 산화 기능을 포함하는 생물학적 분해 및 자연정화처리환경을 유지하여 수질이 악화된 상수도의 전·후처리나 하·폐수의 3차 처리에 적용하기 위한 것이다.

1.3 생물산화 여과 system의 원리

가. 생물산화 여과원리

여과지의 하부 장치에 균등한 공기(산소)공급시설을 하여 여과층에 연속적으로 공기를 공급하면서 여과를 함으로서 생물막 여과 및 산화 기능으로 유기물질, 철, 망간 등을 제거하고 공기의 부상력에 의하여 조류, 부유 물질, 냄새 등을 동시에 제거하는 System이다.

나. 제거물질의 자동배출(역세척) 원리

기 개발된 신우유공블럭형 하부 집수 장치를 이용하여 여층의 팽창이 없는 공기와 물 동시 역세척을 시행하여 여과층에 역류되어 있는 제거물질을 자동 배출하도록 개발하였다.

1.4 생물산화 여과 system의 기능

물이 여과층을 통과하는 동안, 기계적 체 분리 작용과 표면 부착에 의하여 현탁 물질을 역류 여과층에 현탁 물질들이 역류되는 효과 외에, 여재 표면에는 호기성 미생물이 번식하고 여재 내부에는 혐기성 미생물들이 서식하여 오염물질을 흡수 분해하는 생물막 산화 여과기능 수행, 정화능력의 대부분은 물리적 여과의 체 분리작용과 호기성, 혐기성 미생물에 의한 흡착 및 생물 산화 작용에 의하여 이루어진다.

여과층 내부의 여재 입자 표면에는 박테리아와 그 대사 산물이 부착해서 한천상의 피막을 형성하고 있어 유하하는 수중의 암모니아 등을 산화하여 안정시키는 기능 수행.

여과지에는 공기를 공급하여 물에 용존 산소의 농도를 충분히 유지하게 되고, 여과층에 존재하는 박테리아에 의하여 유기물 산화가 촉진되며, 철이나 망간의 산화를 촉진시킴.

2. 연구방법

2.1 Bench scale plant를 이용한 연구

2.1.1 실험장치 및 원수특성

본 연구에서 사용한 실험장치의 개략은 Fig. 1과 같다. 반응조는 두께 10 mm의 아크릴 원통을 재질로 내경 30 mm, 높이 2,000 mm로 4개의 반응조를 제작하였으며 공기가 일정하게 주입되도록 하부에 300 mm의 자갈층을 충전하고 그 위에 여재를 600 mm 충전하였다. 여재는 크기에 따라 두 가지 종류의 하이드로볼을 사용하였는데 지름이 약 5~10 mm 정도의 L-하이드로볼과 지름이 약 3~5 mm인 S-하이드로볼을 이용하였다. Sampling port는 여재하부 10cm 지점에서 채취하도록 하였으며 공기는 여과관의 저부에서 다공 산기관을 통하여 여과관내로 주입하도록 하였다. 또, 공기의 유량을 일정하게 유지하기 위해 공기 유량계를 설치하였다. 여과의 흐름은 하향류이며 여과 유량은 유입부에서 제어하였고 여과수는 여층면보다 높은 위치에 정수위조를 설치하여 유출하였으며 손실수두와 균형을 이룬 곳에서 여과관내 수위가 평형이 되도록 하였다. 수위가 상승했을 때 역세척을 수행하기 위해서 역세수 저장탱크와 역세척을 위한 펌프가 설치되었다.

온도의 영향을 검토하기 위해서 여과관 외벽에 5~6℃의 순환수를 통과시켜 반응조내의 온도를 5~6℃로 유지하였다. 수온이 일정하게 유지되는지를 보기 위하여 반응조 내부에 온도계를 설치하였다. 원수는 J시에 있는 하천수를 사용하였으며 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 의 농도가 낮아 NH_4HCO_3 를 주입하여 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 농도를 3~9 mg/L로 유지하였다. 그 외의 원수 특성을 Table 1에 요약하였다.(그림 참조)

2.1.2 실험반응조 운전조건

Table 2는 실험실 반응조에 주입한 여재의 종류와 포기 방식을 나타낸 것이다. 여재로는 화산석 계열의 하이드로볼을 사용하였는데 반응조 A 및 C에는 S-하이드로볼을, B 및 D에는 L-하이드로볼을 충전하였

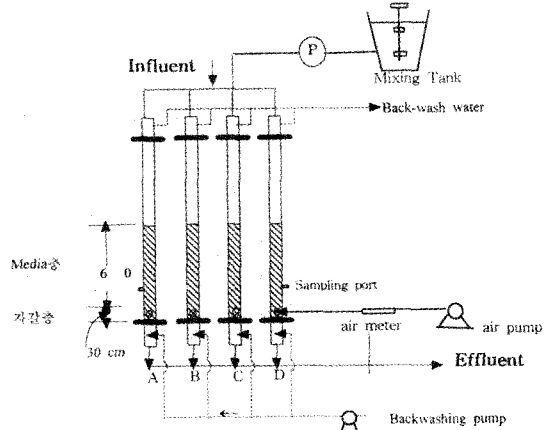


fig. 1. Schematic diagram of laboratory reactor

table 1. Characteristics influent used in this experiment

Parameter	Range
Turbidity(NTU)	3-15
SS(mg/L)	5-40
VSS(mg/L)	1-7
TOC(mg/L)	1-4
DOC(mg/L)	0.5-3
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (mg/L)	3-9
UV_{254}	0.02-0.039
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (mg/L)	0.05-1
$\text{T} - \text{P}$ (mg/L)	1-65
Alkalinity(mg/L)	65-82
pH	7.5-8.1

다. 또 반응조 A 및 B에는 공기를 연속적으로 주입하였으며, 반응조 C에는 산소를, 반응조 D에는 간헐적으로(12 hr on/ 12 hr off) 공기를 주입하여 온도 9~21℃에서는 포기속도 204 m/day에서 체류시간 34 min(여과유속 30 m/day)과 84 min(여과유속 12 m/day)으로 운전하고, 온도 5~6℃에서 반응조 A와 B는 체류시간을 84 min(여과속도 12 m/day), 체류시간 60 min(여과속도 17 m/day) 및 체류시간 34 min(여과속도)으로 변화시키고 포기속도 20 m/day, 61 m/day, 101 m/day 및 204 m/day로 변화를 주어 운전하였다.

table 2. Characteristics of reactor

Average concentrations	Effluent				
	Influent	A	B	C	D
Turbidity(NTU)	134	4.1	6.7	6.9	2.0
SS(mg/L)	200	5.5	9.1	7.4	1.8
VSS(mg/L)	3.9	1.6	2.3	1.9	1.2
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	4.04	0.2	0.12	2.28	2.46
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	2.65	7.76	7.59	4.96	4.23
pH	7.9	7.9	7.7	8.3	7.9
Alkalinity(mg/L as CaCO ₃)	60	44	46	56	58
UV ₂₅₄	0.030	0.030	0.030	0.032	0.031

3. 연구 개발 결과

3.1 Bench scale plant 실험결과

Table 3은 30일 동안 운전한 유입수와 유출수의 탁도, SS, VSS, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, pH 및 alkalinity의 평균값을 나타낸 것이다. 탁도, SS 및 VSS는 반응조 D에서 유출수의 농도가 가장 낮았으며 NH₄⁺-N은 반응조 모두 NO₃⁻-N로 전환되어 질산화되었다. 유입수의 alkalinity는 60 mg/L as CaCO₃이며 NH₄⁺-N의 제거로 질산화가 일어난 반응조의 alkalinity는 약 45 mg/L as CaCO₃로 감소하였다.

table 2. Characteristics of reactor

Column	Medium	Diameter	Type of aeration
A	SmallS-하이드로볼	3-5 mm	연속포기(공기)
B	LargeL-하이드로볼	5-10 mm	연속포기(공기)
C	SmallS-하이드로볼	3-5 mm	연속포기(산소)
D	LargeL-하이드로볼	5-10 mm	간헐포기(12hr on/12hr off)

운전결과 반응조 A, B, C 및 D의 탁도, SS 및 VSS의 평균 제거율을 보면 탁도는 74%, 57%, 58% 및 80%, SS는 73%, 74%, 74% 및 87% 였으며 VSS는 57%, 41%, 53% 및 62%의 처리효율을 얻었다. Fig. 2에서 Fig. 7는 탁도, SS 및 VSS의 변화를 나타낸 것이다.

(그림 참조)

운전초기에는 탁도, SS 및 VSS의 제거율이 현저히 낮고 유출수의 농도도 불안정하였으나 운전 10일 이후

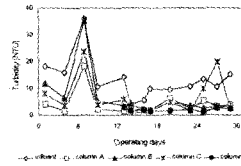


fig. 2. Variation of turbidity with time

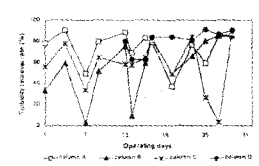


fig. 3. Turbidity removal rates with time

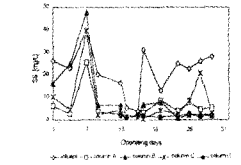


fig. 4. Variation of SS with time

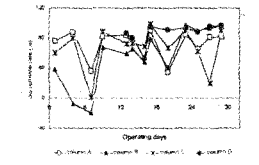


fig. 5. SS removal rates with time

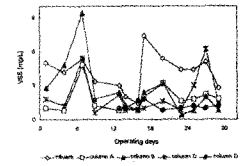


fig. 6. Variation of VSS with time

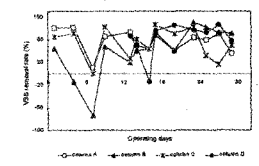


fig. 7. VSS removal rates with time

에는 안정하게 되었다. 그러나 연속 포기한 반응조 A, B 및 C는 운전 10일 이후 안정한 상태에서도 가끔 탁도, SS 및 VSS 제거율이 현저히 저하하고 유출수 농도의 변화폭도 크게 나타났는데 이유는 운전초기에 미생막이 연속포기에 의한 전단력(shear force)으로 인하여 탈리되었기 때문인 것으로 사료된다. 특히 반응조 B와 반응조 C는 운전도중 유출수의 탁도, SS 및 VSS 농도가 유입수의 농도보다 높게 나타나는 경우가 많은데 이로 인해 이들 반응조는 반응조 A보다 미생물의 부착이 적을 것으로 보인다. VSS 모두 가장 높은 처리효율을 보였고 유출수의 농도도 안정적이었다. Fig. 8과 9는 반응조 A, B, C 및 D의 NH₄⁺-N 변화와 제거율을 나타낸 것이다.

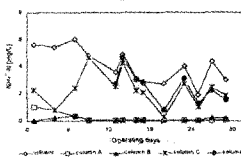


fig. 8. Variation of NH₄⁺-N with time

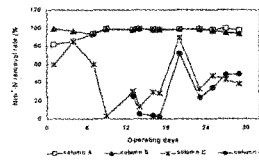


fig. 9. NH₄⁺-N removal rates with time

유입수의 DO 농도는 평균 8.5 mg/L이었으며 DO/NH₄⁺-N 농도비는 2.13으로 화학평형상수 4.57보다는 작은 값이다. 따라서 반응조 내의 지속적인 포기는 안정적인 질산화 공정의 유지에 도움이 될 것으로 판단된다. 본 실험에 사용한 공기를 연속 포기시킨 생물막 반응조 A와 B의 NH₄⁺-N 제거율은 운전시간에 따라 지속적으로 증가하였고 운전 10일 후에 안정적인 유출수 결과를 얻었으며 그 제거율이 약 96%로 양호하였다. 질산화 미생물은 autotrophic bacteria로 CO₂를 탄소원으로 이용하며 NH₄⁺ 및 NO₂⁻를 산화시켜 에너지를 획득하는데 이러한 에너지 획득과정에서는 동시에 CO₂를 유기성 중간 대사산물로 환원시키기 위한 환원력을 얻기도 하며 최종적인 전자수용체는 산소이다. 따라서 CO₂의 동화작용은 autotrophic bacteria 주요한 에너지 소비원이 된다. 그러나 질소의 산화를 통해 얻을 수 있는 자유 에너지는 heterotrophic bacteria의 유기물 산화를 통해 얻는 에너지에 비해 매우 작기 때문에 질산화균의 성장속도는 heterotrophic bacteria에 비해 매우 느리다. 그러므로 유기물질이 풍부한 경우는 반응조내에 heterotrophic bacteria가 우점종을 이루어 질산화균의 성장을 방해할 수 있지만 (Wanner and Gujer, 1984), 유기물 농도가 낮은 상수원수를 기질로 하는 생물막에서는 질산화세균이 훨씬 빠르게 성장할 수 있다. 반응조 A, B, C 및 D의 NH₄⁺-N 평균 제거율은 96%, 97%, 43% 및 20%로 나타났다. 운전초기에 반응조 A와 B의 유출수 NH₄⁺-N 농도는 높고 불안정하였으나 약 10~15일 후에는 NH₄⁺-N의 농도가 0.05 mg/L 이하로 낮아지고 안정적이게 되었다. 따라서 NH₄⁺-N의 충분한 제거를 위해서는 약 10~15일 정도의 적응기간이 필요한 것으로 사료된다. 산소를 주입한 반응조 C는 NH₄⁺-N의 평균 제거율이 43%로 공기를 주입한 반응조보다 제거율이 낮았고 12 hr 간격으로 간헐포기한 반응조 D도 NH₄⁺-N 평균 제거율이 20%로 현저히 낮았다.

3.2 결론

온도 9~21℃에서 운전한 연속 포기와 간헐적(12 hr on/ 12 hr off) 포기방식을 비교해본 결과 탁도, SS 및 VSS의 제거율은 간헐포기한 반응조가 연속포기한 반응조보다 높았으며 유출수의 농도도 안정적이었다.

산소를 주입한 반응조의 높은 NH₄⁺-N 제거율을 기대했으나 제거율은 50% 이하로 현저히 낮았고 유출수의 농도도 불안정하였다. 따라서 NH₄⁺-N 제거하는데는 비경제적인 순산소를 사용할 필요가 없는 것으로 판단된다.

여재 크기에 의한 영향을 비교해본 결과 운전일수가 증가할수록 S-하이드로볼을 사용한 반응조가 L-하이드로볼을 사용한 반응조보다 비표면적이 크기 때문에 미생물의 부착이 잘 일어나고 NH₄⁺-N 제거와 NPOC 및 DOC 제거도 잘 일어났다.

체류시간에 따른 영향을 비교해본 결과 체류시간이 증가함에 따라서 탁도, SS 및 VSS의 제거율은 증가하고 간헐포기(12 hr on/12 hr off) 반응조의 경우 NH₄⁺-N 제거율이 약 89%로 증가하였다. 따라서 간헐포기시간을 짧게 하고 체류시간을 증가시켜주면 NH₄⁺-N의 제거율도 증가할 것으로 보인다.

3.3 현재 진행중인 Pilot Test

현재 진행중인 Pilot Test는 최적운전조건 도출중이라 결과는 기술하지 않았으며 상수처리용 Pilot plant는 Y시 M취수장에 설치·운영중이며 하수처리용 Pilot plant는 G시 G 하수처리장에 설치·운영중이다.

다음 Fig 10, 11은 Pilot plant 모식도를 보여주고 있으며 설계제원은 Table 4에 나타내었다.(그림 참조)

4. 기술개발효과 및 적용분야

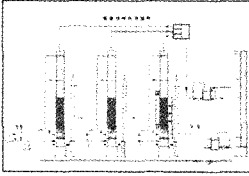


fig. 10. 상수처리용 Pilot Plant

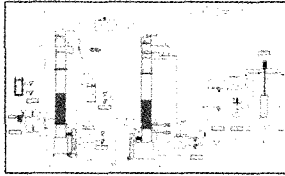


fig. 11. 하수처리용 Pilot Plant

4.1 기술개발효과

생물막 여과에 의한 유기물질 및 암모니아성 질소의 제거효과 산화 여과에 의한 철, 망간 등의 제거효과
포기에 의하여 냄새, 조류, 부유 물질 등의 제거효과
제거된 물질을 자동배출 (역세척)
용존 산소의 증가효과

4.2 적용범위

2급수 이상의 상수도 전처리 및 중·후처리 (고도정수처리 대응)
하수의 3차처리
저농도의 하수 및 폐수처리

5. 결론 및 향후전망

현재 연구가 진행중이므로 각 인자별 최적운전조건 등은 지속적인 실험과 연구를 통해 찾아지겠으나 현재까지 수행된 연구자료를 기반으로 볼 때 생물산화여과장치는 탁도, SS, VSS 등의 제거에 탁월한 효능을 보이고 있다.

수처리용 장치로서의 이러한 기본적인 기능 이외에

NPOC, DOC 제거에도 뛰어난 효능을 보이고 있으며 특히 정수처리 공정에서 문제시 되고 있는 동절기 암모니아성 질소 제거 또한 큰 가능성을 보여주고 있다. 아직 여재조합이나 최적 공기량, 체류시간 등 최적 운전 인자 도출이 Pilot Plant 연구를 통해 이루어져야 하겠지만 정수장에서의 암모니아성 질소 제거, 또한 하수의 3차처리 및 질산화 공정 등 생물산화여과장치로 기대할 수 있는 수처리 효과는 크다 할 수 있을 것이다.

그 동안 외국기술에 전면 의존 해 오던 생물 산화여과 방식의 국내 개발은 비용절감 뿐만 아니라 국내 실정에 맞는 기술 개발이라는 점에서 향후 그 적용범위를 넓혀 갈 수 있을 것이다.

참여기업소개

기업명	(주)신우엔지니어링	대표자	연락처	연번호	02) 572-2211
주소	서울시 서초구 양재동 20-2 합동8D	주된업종	환경처리설비		
설립년월일	1998. 08. 01	기술보유현황			
건설신기술 · "개방형 순산소 활성 슬러지법을 이용한 하·폐수 처리공법" (제 147호) · "하·폐수의 질소·인제거를 위한 개방형 순산소 활성 슬러지 변법" (제 159호) · "여과 및 역세척 기능 개선을 위한 하부집수장치" (제 175호) 상수도 분야 실용신안 제 1056598호 급속여과지의 하부집수장치 등 특허 20건 하수도 분야 실용신안 제 0805915호 생물학적·폐수 및 하수처리장치 등 특허 7건					
주요생산제품	상하수도 설계 및 감리, 신우유공발탁형 하부집수장치의 다수				
홈페이지	www.shinwu.co.kr (E-mail : sveng03@chollian.net)				

