



생물막 여과법에서 여재별 유기성오수의 처리특성에 관한 연구

A Study on the Effect of Filter Media for Sewage Treatment in Biofilm Reactors

주 욱 중*, 권 순 국**
Joo, Uk-jong, Kwun, Soon-kuk

Summary

Recently, biofilm reactors have been considered as an efficient small scale sewage treatment system in Korean rural areas because of easy operation and cost effectiveness. The objective of this study was to select a more effective filter medium of the biofilm reactor for better treatment efficiency.

Series of laboratory experiments were conducted and the results were compared for five selected media - zeolite, artificial sponge gourd, absorbent biofilter, non-woven fabric, and charcoal - using small scale experimental biofilm reactors. Based on the results of the experiment, charcoal and non-woven fabric were found to be the most efficient in terms of treatment efficiency, however, absorbent biofilter was the best in both economic and treatment efficiency perspectives.

I. 서 론

최근 국민생활 수준의 향상으로 생활오수, 생활쓰레기, 축산폐수, 산업폐수 증가 등 농촌 지역 수질오염원이 다양화되고 배출량이 급격히 증가하고 있다. 농업용수 수질측정망 161개 지점의 유역내 주요 오염원에 대한 자료에 의하면 생활하수에 의한 것이 109개소(67.7%), 축산폐수 39개소(24.2%), 기타 7개소(4.4%), 산업폐수 6개소(3.7%)의 순으로 생활하수가 농촌지역 수질 오염의 대부분을 차지하여, 생활

하수 처리가 농촌지역의 생활개선뿐만 아니라 농업용수 수질정화에도 중요한 역할을 차지하게 되었다.

농촌지역은 농업생산의 장소와 취락주거생활 장소가 동일한 공간에 존재하고 소규모의 마을이 분산되어 분포하는 공간적인 특징을 가지고 있어, 관로시설을 포함한 전체 건설비 측면에서 보면 오수처리 시스템은 소규모 방식이 대규모 시설에 비하여 더 유리하다. 생물막여과법은 오수처리 시스템 중 충진된 여재에 자연적으로 생기는 생물막에 의해 오수를 산

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드: 소규모 오수처리 시스템, 생물막 여과법, 여재, 처리 효율, 질산화작용, 흡수성 biofilter

화·분해하는 방법이다. 본 연구에서 사용한 생물막여과법은 아직까지 우리나라 농촌의 소규모 오수처리 방법으로는 적용사례가 없지만, 발생오수가 거의 없어서 유지관리가 용이하고 BOD 처리효율이 높으므로 소규모의 농촌 하수도시설로서 적합한 특징을 가지고 있는 방법이다.

생물막법은 미생물이 부착되는 여재에 따라 그 처리효율 및 처리특성이 크게 달라진다. 본 연구의 목적은 소규모 오수처리용으로 개발되고 있거나 적용 가능성이 있는 여러 가지 여재 중 불석, 인공 수세미, 흡수성 바이오 필터, 부직포, 그리고 숯 등 5가지 여재에 대하여 실험 장치를 구성하고, 그 처리효율과 처리특성을 비교 검토하여 생물막 여과법에서 가장 처리효율이 우수한 여재를 선정함으로써, 농촌하수도의 소규모 분산처리 시스템으로서 생물막 여과법의 도입 가능성을 판단하는 기초자료를 제공하고자 한다.

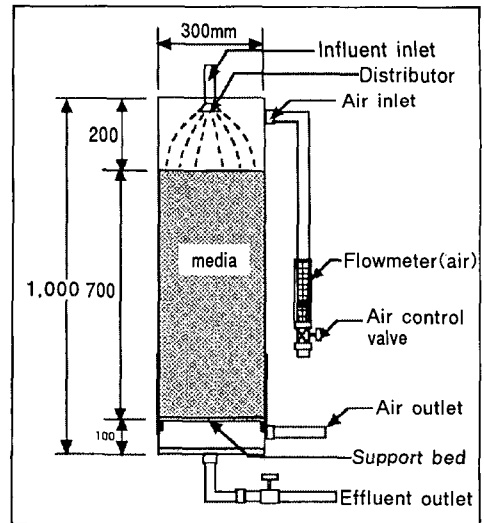
II. 재료 및 방법

1. 실험 장치

본 연구의 실험장치의 구조는 <Fig. 1>과 같은 장치를 5개 병렬로 연결한 것이다. 원통의 재질은 투명한 아크릴이며 30cm 지름, 1m 높이의 크기이다. 실험장치 내부에서 호기성 분해가 잘 이루어지도록 Blower를 이용하여 일정한 양의 공기를 유입 하였다. 분사된 오수는 중력에 의해서 여재를 통과하는데 여재를 통과하는 동안 여재에 붙은 생물막에 의해 처리되어 유출구로 나오게 된다.

오수의 유입량은 자동밸브와 제어판(Control box)을 이용하여 간헐적인 방식으로 조절하였다.

투명한 원통의 둘레는 검은 종이로 감아 햇빛을 차단하여 광합성 작용에 의해 조류가 성장하는 것을 방지하였다.



(Fig. 1) Schematic diagram of an experiment set-up

2. 공시여재

본 연구에서 공시된 여재는 불석, 인공 수세미, 흡수성 바이오 필터, 부직포, 숯이다. 실험 여재에는 최근 오수처리 시스템에서 많이 이용되고 있는 부직포, 숯, 그리고 캐나다에서 개발되어 그 효율이 뛰어난 것으로 확인된 흡수성 바이오 필터를 대상으로 선택하였다. 부직포 및 흡수성 바이오 필터는 구조가 비슷하며, 주위에서 쉽게 구할 수 있는 인공 수세미는 질소 제거에 높은 효율을 가지고 있고 쇄석과 같은 모양인 불석을 선택하여 전체 다섯 가지 여재를 공시하였다. 본 논문에서는 불석은 여재 I, 인공 수세미는 여재 II, 흡수성 바이오필터는 여재 III, 부직포는 여재 IV, 숯은 여재 V로 표시하였다.

가. 불석

불석(Zeolite)은 화산재가 속성작용(速成作用)을 받아 생성된 Allumino Silicate계의 광물로 결정의 구조에 따라 Analcim, Chabazite, Clinoptilolite, Erionite, Ferrierite, Modenite,

Phillipsite로 나뉜다. 본 연구에 이용한 불석은 Clinoptilolite로 다른 불석에 비해 이온교환용량이 많으며 물리적, 화학적 내성이 뛰어나다. 주로 산성 화산암에서 산출되며 양이온 치환(Cation exchange)과 흡착(Adsorption)능력이 크기 때문에 산업용으로 많이 이용되고 있다. 본 연구에 사용된 불석의 크기는 길이 8mm, 두께 3mm 정도의 작은 쇄석과 모양이 비슷하였다.

나. 인공 수세미

인공 수세미(Artificial sponge gourd)는 일반적으로 주방에서 많이 사용되는 진초록색의 인공 수세미를 사용하였다. 인공 수세미의 성분은 나일론으로 부직포와 같이 짜지 않고 뭉쳐 만든 것이다. 본 연구에 사용한 인공 수세미의 두께는 6mm 정도였으며 가로, 세로 50mm로 제단하여 사용하였다.

다. 흡수성 바이오필터

흡수성 바이오필터(Absorbent biofilter)는 경량의 변형이 쉬운 발포 플라스틱 통기체로 구형의 빈 공간은 제조 과정에서 형성된 이산화탄소 공기방울에 의해 만들어진다. 이 공기방울이 서로 연결된 공극을 형성시키고 이 공극들은 얇은 플라스틱 기둥에 의해 분리 지지된다. 모래 입자와 비교하여 넓은 표면적을 형성하며 더 많은 양의 폐수가 체류할 수 있는 공극을 가지고 있다. 또한 구조적으로 2차적으로 가공된 Open cell 형태를 사용하였다. 여재의 크기는 2.5cm×2.5cm×2.5cm로서 정육면체이다.

라. 부직포

부직포는 베틀에 짜지 않고 섬유를 적당히 배열하여 접착제나 섬유 자체의 융착력(融着力)을 이용하여 접합시킨 시트 모양의 천이다. 본 연구에서 사용한 부직포(Non-woven fabric)는

두께 4mm를 가로, 세로 5cm로 제단하여 사용하였다.

마. 숯

숯(Charcoal) 속에는 크기가 수 μ m에서 수백 μ m에 이르는 다양한 굵기의 구멍이 있기 때문에 이 굵기에 알맞은 미생물이 착상하여 서식하면서 정화능력을 갖게 된다. 또, 1g당 약 330m² 정도의 방대한 표면적에 기체와 액체의 분자가 붙기 때문에 숯은 대단히 큰 흡착력을 발휘하게 된다. 본 연구에서는 참나무를 고온으로 태워 만든 백탄을 길이 7mm, 두께 2.5mm 정도로 깨뜨린 것을 사용하였다.

3. 실험방법 및 수질분석

공시오수는 건국대학교 농업생명과학대학의 3단 정화조의 세 번째 단에서 하수관으로 유출되기 직전의 오수를 양수하여 사용하였다. 유입수의 BOD와 SS의 농도는 각각 62~185mg/l, 24~92mg/l로 농도의 변화가 많았다. 이는 학교라는 특수한 상황으로 인해 등교 학생들의 많고 적음에 관계가 깊은 것으로 생각된다. 또, T-N, T-P의 값은 일반 생활오수에 비하여 5배 정도 높았다. 이는 공시오수가 화장실의 방류수가 대부분이기 때문으로 사료된다.

실험장치에 오수를 1998년 8월 1일 처음으로 유입시켰다. 오수의 양은 36 l/일(0.51 m³/m²·일)로 실험기간 중 계속 유지시켰다. 이 양을 유입수의 평균 BOD 농도를 사용하여 BOD부하로 환산하면 0.091kgBOD/m²·일이다. 공기의 유입량은 40 l/분으로 5가지 여재에 대하여 균일하게 고정시켜 유입시켰다.

수질 측정항목은 하천의 수질오염과 호소의 부영양화에 많은 영향을 미치는 영양물질 위주로 수질항목을 정하였다. 측정항목은 온도, pH, BOD, COD, SS, T-P, Org-N, NH₃-N,

NO₂-N, NO₃-N, T-N 등 11항목이다. 모든 분석은 건국대 농업생명과학대학의 환경분석실에서 미국의 Standard Method에 따라 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

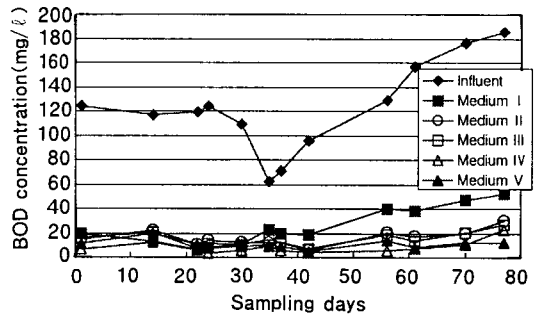
본 연구를 위해 설치한 실험장치를 가지고 수질분석한 결과를 수질항목별로 그 처리특성을 살펴보았다. 호기성 처리방법에서의 질산화 작용에 대하여서 각 여재별로 비교해 보고 온도에 따른 BOD의 처리효율 및 방류수 농도변화를 고찰해 보았다. 방류수의 수질을 현재 시행되고 있는 방류수 수질기준과 적합한지를 검토하고 경제적으로 어떤 여재가 가장 유리한지를 검토하였다.

1. 수질항목별 처리특성

가. BOD

<Fig. 2>는 9월 3일(0일)부터 11월 18일(76일)까지 12회 측정된 유입수와 방류수의 BOD 수질 결과를 나타낸 것이다. 각각의 여재의 평균 처리효율은 불석 79.8%(67~94%), 인공 수세미 86.8%(80~94%), 흡수성 바이오 필터 87.3%(76~94%), 부직포 93.0%(85~97%), 숯 90.8%(83~95%)로서, 처리효율면에서는 부직포, 숯, 흡수성 바이오 필터, 인공 수세미, 불석의 순으로 나타났다. 부직포와 숯의 방류수 평균 농도는 각각 8.3mg/l, 10.5mg/l 이고 표준편차는 4.9, 3.5이었다. 이 값은 다른 여재들의 표준편차(불석 15.1, 인공 수세미 6.1, 흡수성 바이오 필터 5.6)보다 적은 값을 나타낸 것으로 방류수의 농도 변동이 적어서 안정적인 처리를 나타내고 있음을 알 수 있다. 흡수성 바이오 필터와 인공 수세미는 방류수의 평균 농도가 각각 15.0mg/l, 15.9mg/l 로 비슷하였으며, 표준편차 값에서도 유사한 값을 보여 BOD의 처리특성이 비슷하였다. 불석의 방류

수질이 다른 여재들에 비하여 높았으며 이는 불석은 다른 여재에 비하여 표면적이 작은 여재로 미생물의 양이 충분하지 않아 10월 7일(34일) 이후 유입수의 농도가 62mg/l에서 185mg/l로 계속 증가함에 따라 방류수의 농도도 계속적으로 높아진 것으로 판단된다.



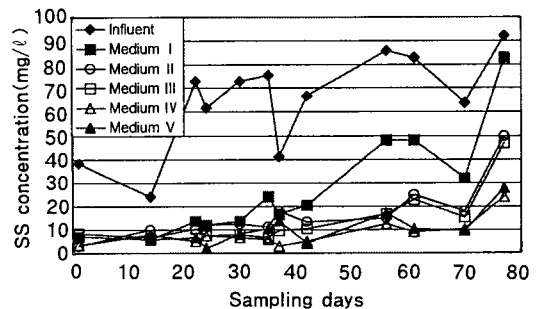
<Fig. 2> BOD concentration of influent and effluent from the biofilm reactor

Remark : Medium I : Zeolite, Medium II : Artificial sponge gourd, Medium III : Absorbent biofilter, Medium IV : Non-woven fabric, Medium V : Charcoal

나. SS

<Fig. 3>은 유입수와 방류수의 SS 수질 결과를 나타낸 것이다.

여재의 처리효율은 불석 9.8~82%, 인공 수세미 46~92%, 흡수성 바이오 필터 49~91%, 부직포 67~93%, 숯 70~97%로 부직포로서



<Fig. 3> SS concentration of influent and effluent from the biofilm reactor

처리효율면에서는 숯, 흡수성 바이오 필터, 인공 수세미, 불석 순으로 나타났다. BOD의 처리효율이 높은 여재가 SS의 처리효율도 높은 것으로 나타났다. 부직포와 숯의 방류수 평균 농도는 각각 8.3mg/l, 10.5mg/l 이고 표준편차는 5.4, 6.6으로 다른 여재들의 표준편차(불석 21.7, 인공 수세미 11.0, 흡수성 바이오필터 11.0) 보다 적은 값을 나타내 BOD와 마찬가지로 안정적으로 처리가 이루어졌음을 알 수 있다. 흡수성 바이오 필터와 인공 수세미는 방류수의 평균 농도가 각각 16.5mg/l, 14.1mg/l로 비슷하였으며, 표준편차 값에서도 유사한 값을 보여 BOD와 마찬가지로 SS의 처리특성이 비슷하였다. 불석은 BOD와 마찬가지로 SS에 있어서도 처리효율은 낮고 처리의 안정성도 떨어졌는데 이 역시 비표면적이 작기 때문으로 사료된다.

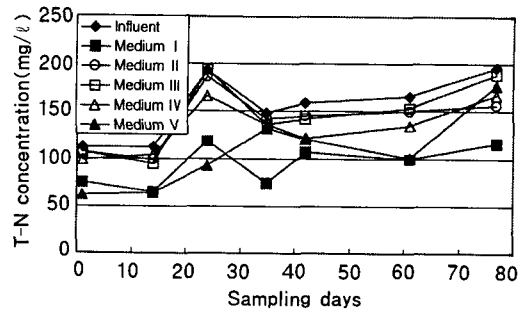
특히 11월 18일의 경우 모든 여재의 SS의 방류수 농도가 높아졌는데 11월 18일(76일)의 경우 외기온의 급격한 강하(11월 11일(69일) : 8℃, 11월 18일(76일) : 2.5℃)로 인해 여재중의 미생물이 방류수와 함께 흘러나와서 방류수의 SS가 급격히 증가된 것으로 판단된다.

다. T-N

<Fig. 4>는 9월 3일(0일)부터 11월 18일(76일)까지 7회 측정된 유입수와 방류수의 T-N 수질 결과를 나타낸 것이다.

여재별 T-N의 처리효율은 불석 33~50%, 인공 수세미 3.4~20%, 흡수성 바이오 필터 -0.5~16%, 부직포 8~19%, 숯 11~52%으로 처리효율면에서는 불석, 숯, 부직포, 인공 수세미, 흡수성 바이오 필터 순이었다.

인공 수세미, 흡수성 바이오 필터, 부직포의 경우 평균 처리효율이 15%이하로 적은 처리효율을 보였으나 불석과 숯의 경우는 각각 39.8%, 32.2%의 높은 처리효율을 보였다. 불석과 숯의 경우는 흡착에 의해 처리하는 기능을



<Fig. 4> T-N concentration of influent and effluent from the biofilm reactor

가지고 있는 여재로 처리효율이 높은 것은 이 때문으로 생각된다. 특히 불석의 경우는 Clinoptilolite로서 양이온 흡착에 있어서 뛰어난 성능을 가지고 있는데, 특히 오수의 질소이온 중 NH₄⁺의 흡착능력이 뛰어난 것으로 알려지고 있으며 본 연구에서는 이러한 사실이 확인되었다.

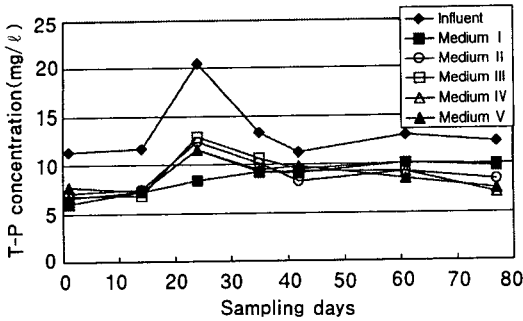
라. T-P

<Fig. 5>는 유입수와 방류수의 T-P 수질 결과를 나타낸 것이다.

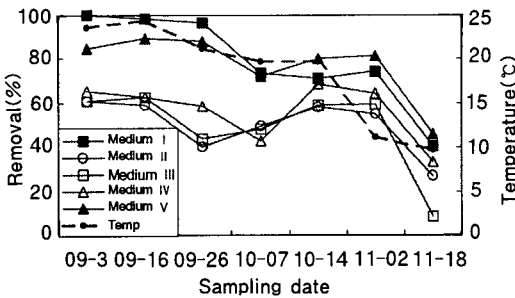
여재별 T-P의 처리효율은 불석 20~59%, 인공 수세미 24~39%, 흡수성 바이오 필터 16~42%, 부직포 17~43%, 숯 13~44%으로 모든 여재가 평균 30~40%정도의 고른 처리효율을 보였다. 또 불석의 경우 역시 BOD와 SS의 처리효율은 낮으나 T-P의 처리효율은 높았다. 불석은 흡착능력이 뛰어난 여재이고 인역시 다른 물질에 흡착되는 물질로 처리효율이 높은 이유는 이 때문으로 사료된다.

2. 질산화 작용

질산화 작용은 암모니아성 질소가 호기성 미생물에 의해 아질산성질소, 질산성 질소로 산화되는 것으로 가장 잘 일어나는 온도는 22℃이다. <Fig. 6>은 측정일의 대기 평균 온도와



〈Fig. 5〉 T-P concentration of influent and effluent from the biofilm reactor



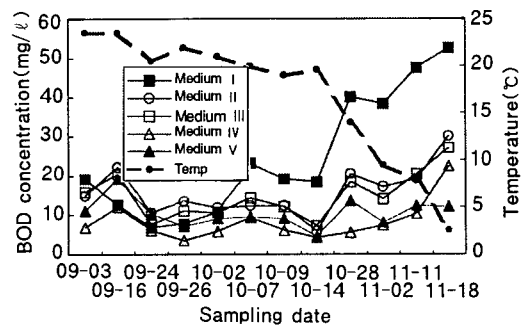
〈Fig. 6〉 Temperature and NH₄⁺ removal efficiency from five media

각 여재의 암모니아성 질소(NH₄⁺)의 처리효율을 나타낸 것이다. 10월 7일 이후 온도가 내려감에 따라 공시여재의 암모니아성 질소 처리효율이 같이 내려갔다. 10월 14일까지는 20°C를 유지하다 그 이후 온도가 강하함에 따라 암모니아성 질소의 처리효율은 낮아졌다.

불석과 숯은 여재들에 비해서 높은 암모니아성 질소 제거율을 보였는데 이는 질산화작용에 의한 암모니아성 질소의 변화뿐만 아니라, 흡착능력이 뛰어난 여재의 특성에 의해 질소 성분이 여재에 흡착되었기 때문으로 생각된다. 특히, 불석의 경우 높은 양이온 흡착능력을 가지고 있는 여재로 암모니아성 질소의 제거효율이 높았다. 9월 26일까지의 불석의 TKN 처리효율은 97.6%로 굉장히 높았으나 10월 7일 이후 급격히 떨어졌는데 이는 불석의 양이온 흡착능력이 한계에 도달되었기 때문으로 생각된다.

3. 온도에 따른 BOD 처리특성

〈Fig. 7〉에서와 같이 방류수의 농도는 온도가 낮아짐에 따라 높아졌는데 생물막여과법은 미생물에 의해 오수를 처리하는 방법이므로 온도와 미생물의 활동과 상관관계가 있음을 알 수 있다.



〈Fig. 7〉 Temperature and BOD concentration of effluent from the biofilm reactor

4. 방류수 수질기준과 비교

오수·분뇨 및 축산폐수에 관한 법률의 오수정화시설 및 정화조의 방류수 수질기준에 관한 법률(1998년 개정)을 보면 합병정화조의 경우 BOD와 SS의 방류수 농도가 일반지역(General region), 특정지역(Special region) 모두 20mg/l 이하이다.

〈Fig. 2〉에서와 같이 BOD의 경우 숯을 제외하고는 방류수 수질 기준을 초과하는 경우가 있었으나 5가지 여재의 방류수 농도 평균값은 방류수 수질 기준을 만족하였다. 이는 유입수의 농도의 변화가 심하였기 때문인 것으로 사료된다. 〈Fig. 3〉에서와 같이 SS의 경우 불석의 경우는 방류수의 SS 평균값에서도 방류수 수질기준을 만족하지 못하였다. 다른 4가지 여재에 있어서는 방류수 SS의 평균값은 방류수 수질기준을 만족하였으며 방류수 수질기준을 초과하는

<Table 1> Cost comparison for unit BOD removal

BOD		Medium				
		I	II	III	IV	V
Unit BOD removal	Cost (Won/kgBOD)	3,328	3,170	524	3,700	1,515
	%	635	605	100	706	289
Average BOD removal rate(%)		79.8	86.8	87.3	93.0	90.8

횟수도 2회 이하로 적었다. 불석의 경우 적은 표면적으로 인하여 다른 여재에 비하여 BOD와 SS의 처리효율이 떨어져서 방류수 수질기준을 만족시키지 못하는 경우가 많았다.

5. 경제성 분석

<Table 1>은 단위 BOD 부하량을 처리하는데 여재에 소요되는 비용을 나타낸 것이다. 또한 본 연구에서 실험으로 얻은 각 여재에 대한 BOD 처리효율을 나타내었다.

흡수성 바이오 필터는 단위 중량의 BOD를 제거하는데 불석, 인공 수세미, 부직포, 숯에 비하여 각각 1/6.4배, 1/6.1배, 1/7.1배, 1/2.9배로 가장 경제적이었으며, 처리효율도 87.3%로 높아 생물막여과법의 여재로 적합한 것으로 판단되었다. 숯의 경우도 90% 이상의 높은 처리효율을 보이며 불석, 인공 수세미, 부직포에 비해 경제성이 뛰어났다. 부직포의 경우 처리효율은 다른 여재들에 비하여 뛰어났으나 여재의 비용이 가장 높았다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 생물막여과법에서 처리효율이 가장 우수한 여재를 선택하여, 농촌하수도의 소규모 분산처리 시스템으로서 생물막여과법의 도입가능성을 판단하는 기초자료를 제공하기

위하여, 실험장치를 구성하고 5개 여재(불석, 수세미, 흡수성 바이오 필터, 부직포, 숯)를 이용하여 실험을 하였다. 오수는 간헐적인 방법으로 각각의 실험 장치에 0.5l/m²/일의 수리부하로 오수를 유입시켰다.

실험장치의 유입수 및 방류수에 대한 수질 분석을 실시하여 BOD, SS, T-N, T-P의 처리특성에 대해 고찰하였으며, 질산화작용과 BOD 처리효율에 대하여 온도와 관계를 검토하였다. 또 방류수의 수질과 최근 개정된 방류수 수질기준과의 비교를 하였으며 경제적으로 유리한 여재를 판단하기 위하여 경제성 검토를 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. BOD의 경우 숯과 부직포의 처리효율이 다른 여재에 비하여 높았으며, SS의 처리효율은 BOD와 마찬가지로 부직포와 숯이 다른 여재들에 비하여 높았다. 또, T-N은 불석과 숯이 다른 여재들에 비하여 높은 처리효율을 보였는데, 이는 불석과 숯이 흡착처리 능력을 가지고 있기 때문으로 생각된다. T-P는 30~40%의 처리효율로서 5개 여재에 있어서 비슷한 값을 나타냈다.

2. BOD의 방류수는 온도가 23℃에서 2℃까지 떨어졌음에도 불구하고 방류수의 농도 변화는 거의 없었음을 볼 때, 생물막여과법의 경우 온도변화에 대한 완충능력이 어느 정도 있는 것으로 판단된다.

3. 방류수의 수질은 BOD의 경우 모든 여재가, SS의 경우 불석을 제외한 다른 모든 여재가 오수·분뇨 및 축산폐수에 관한 법률에서 제시된 방류수 수질기준을 만족하였다.

4. 질산화작용은 암모니아성 이온의 처리효율로 경향을 분석하였는데 온도가 강하함에 따라 질산화작용이 감소됨을 알 수 있었다.

5. 흡수성 바이오 필터는 BOD 평균 처리효율이 87.3%로 높으면서, 단위 BOD 부하량을

처리하는데 다른 여재보다 경제적으로 3~6배 유리하여 가장 우수한 생물막여과법 여재로 판단된다.

6. 각 여재별 BOD 부하량의 변동에 따른 적정 부하량과 적정 순환 공기량에 따른 처리특성은 앞으로 계속 연구되어야 할 것이다.

이 논문은 1998년도 한국과학재단 산학협력연구과제의 일환으로 수행된 연구로서 (주)바투환경기술의 연구비 지원과 건국대학교의 실험장소 제공, 수질분석 협조에 감사드린다.

참고문헌

1. 권숙표, 1985. 복지국가를 위한 환경대책과 자연보호, 연세대학교 환경공해연구소, pp.1810.
2. 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구, 1998. 지역환경공학, 향문사, pp.370.
3. 권순국, 유명진, 임종완, 임창영, 1993. 농어촌용수 환경관리에 관한 연구(II), 93-05-09, 농어촌진흥공사, 농림수산부, pp.306.
4. 김형중, 1997. 자연정화방법을 이용한 농촌지역의 소규모 오폐수처리 시스템, 건국대학교 농공학과 학위논문. pp.116.
5. 농림부, 1997. '97 농업용수 수질조사 보고서, pp.644.
6. 동화기술 편집부, 1996. 수질오염, 폐기물, 토양오염 공정시험방법, 동화기술. pp.683.
7. 삼성건설기술연구소, 1997. Zeolite를 이용한 질소, 인 동시 제거 공정 개발, 환경부, pp.104.
8. 연세대학교환경공해연구소, 1989. 농촌소규모 취락지역 오수처리시스템 개발사업, 환경청, pp.349.
9. 강대원, 1996. 목탄을 이용한 환경정화, 한국농촌환경연구회 발표자료 모음집, pp.38.
10. 환경부, 1998. 1997년 환경백서, pp.551.
11. 谷山中孝, 1993. 농촌지역의 수질보전, 농어촌진흥공사, 진명사 pp.140.
12. American Public Health Association, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition, Washington DC., USA. pp.953.
13. Jowett, E. C. and M. L. McMaster, 1995. On-site Wastewater Treatment Using Unsaturated Absorbent Biofilters. Journal of Environmental Quality 3(24), pp.86~95.