

오·폐수처리를 위한 수생식물 다공성 소결체여상의 기초연구

김주형·윤 찬·오준성

전남대학교 환경연구소

A Study on the filtering bed of porous sintering-product and hydrophytes for sewage treatment

Ju-Hyung Kim · Chan Yun · Joon-Seong Oh

Environment research center, Chonnam National University

요 약

본 연구는 다공성 소결체로 충전된 여상에 수생식물을 식재하여 오·폐수를 처리하는 기술로서, 수질오염 물질의 고효율 처리를 위한 적정조건을 찾는 데 연구목적을 두었다. 실험조건으로 수질오염물질(COD, T-N, T-P), 수생식물의 종류, 여재의 종류와 규격, 그리고 체류시간을 변화시켰다.

수질오염물질 중 COD는 50~450mg/ℓ 부하량 범위에서 73.8~87.1%의 처리효율을 보였으며, T-N은 7~124mg/L 범위에서 61.3~77.3%의 처리효율을, 그리고 T-P는 3~27mg/L 범위에서 89.5~99.1%의 처리효율을 얻을 수 있었다. 3종류 수생식물의 수질오염물질처리 비교실험에서는 COD와 T-N 처리는 창포, 갈대, 미나리 순으로 나타났으며, T-P 처리는 갈대가 창포보다 약간 더 우수한 것으로 분석되었다. 4종류 여재의 수질오염물질처리 비교실험에서는 다공성 소결체, 콩자갈, 페타이어, 페콘크리트 순으로 나타났으며, 다공성 소결체 경우는 직경이 작을수록 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

따라서, 창포가 식재된 직경 5mm의 다공성 소결체여상의 경우 24hr 체류시간과 COD 250mg/ℓ, T-N 70mg/ℓ 그리고 T-P 15mg/ℓ의 부하량 조건에서 각각 80%, 70% 그리고 90% 이상의 처리효율을 얻을 수 있어서 수생식물 다공성 소결체여상은 생활하수와 같은 저오염부하량을 갖는 오·폐수처리에 적합한 친자연형 폐수처리기술이라고 결론지을 수 있다.

ABSTRACT : The purpose of this study was to find the optimum condition of the high removal efficiency of water pollutant as sewage treatment technology using a filtering bed charged with porous sintering-pellet which was planted with hydrophytes.

Experiment was carried out by changing concentration of water pollutants(COD, T-N, T-P), kinds of hydrophyte, kinds of filtering material and size, and HRT.

The result of removal efficiency was obtained as following:

COD removal 73.8~87.1% for input concentration range of 50~450mg/L,

T-N removal 61.3~77.3% for input concentration range of 7~124mg/L,

T-P removal 89.5~99.1% for input concentration range of 3~27mg/L.

In a comparative experiment of three kinds of hydrophyte(*Iris pseudoacorus*, *Phragmites communis* TRIN., *Oenanthe javanica* Dc.), the best removal efficiency of COD and T-N was gained with *Iris pseudoacorus*, and *Phragmites communis* TRIN showed better result than two hydrophytes for the removal efficiency of T-P.

In a comparative experiment of four kinds of filtering-materials, the removal efficiencies were in the order of porous sintering-pellet, gravel, nonused-tire and nonused-concrete. It was found that for the porous sintering-pellet, the smaller its diameter, the better its result.

In the filtering bed in which was charged with porous sintering-pellet of 5mm diameter and planted with *Iris pseudoacorus*, the removal efficiency of COD, T-N and T-P were over 80%, 70% and 90% under the concentration of COD 250mg/L, T-N 70mg/L and T-P 15mg/L for 24hrs treatment.

Thus, we concluded that a filtering bed charged with porous sintering-pellet and planted with hydrophytes will be suitable for treatment of sewage water as a pro-natural treatment technology.

1. 서 론

수생식물을 이용한 자연정화법은 계절에 따른 온도변화에 민감하여 특히 겨울에는 수생식물의 성장이 둔화되어 처리효율이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 수생식물을 이용한 자연정화방법을 선택하는 이유는 다른 하수처리방법보다 낮은 건설 및 장비투자비로 경제적이고 효율적이며 운영과 유지면에서 조작성이 수월하고 지역적 특성을 최대한 살릴 수 있다[1].

자연정화법에 사용되는 수생식물로는 흔히 부레옥잠(Water Hyacinth)이나 부평초(Duck weed), 갈대(*Phragmites communis* TRIN.)[7] 및 부들계지(*Cattails*) [2], 미나리(*Oenanthe Javanica* DC.)[9] 등이 있다. 수생식물을 이용한 수처리시 수초의 선별은 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다. 우선 뿌리부분이 수중에서 정상적인 성장을 할 수 있어야 하고, 성장속도가 빨라야 하며, 수초 조직내 무기영양염류의 함유율이 높아야 한다. 그리고 수초의 회수가 용이해야 한다[3-6].

현재 국내의 자연정화법은 일반적으로 잔자갈을 여상내에 충전시켜 운영하는 방법이 널리 보급되어 있는 실정인데, 잔자갈을 사용시 하천 등지에서 골재 채취가 불가피하므로 이는 환경파괴를 초래한다.

따라서 본 연구에서는 재활용 측면에서 잔자갈 대신 하수슬러지를 첨가하여 제조한 다공성 소결체를 여재로 사용하는 실험을 수행하였다. 수생식물로서는 갈대[7], 창포[8] 그리고 미나리[9]를 식재하여 오염물질 처리결과를 비교분석하였으며, 결과적으로 다공성 소결체의 자연정화법의 여재로서의 적합성을

규명하게 되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 그림 1과 같다. 본 실험에 사용된 여상은 자유수면형(free water surface mode)으로 아크릴판을 사용하여 제작하였으며, 여상내에 다공성 소결체 등 여재를 충전시킨 후 수생식물을 식재하였다. 폐수는 여상의 유입구에서 유입되어 식물의 뿌리와 여재로 구성된 처리층을 수평으로 통과하여 다른 쪽 끝의 배출구로 폐수가 유출하게 된다. 이 과정에서 흡착, 여과, 생분해 등의 처리가 이루어진다. 여상의 유입수 및 유출수의 유량은 여상내의 유입구와 유출구에 설치된 밸브로 조절할 수 있도록 설치하였다.

여상의 규격(W×L×H)은 1.19 m×1.6 m×0.47 m = 0.8949m³으로 제작하였으며 여상 내 충전될 여재는 높이 0.42 m로 채웠으며 표면적은 1.904m²이다.

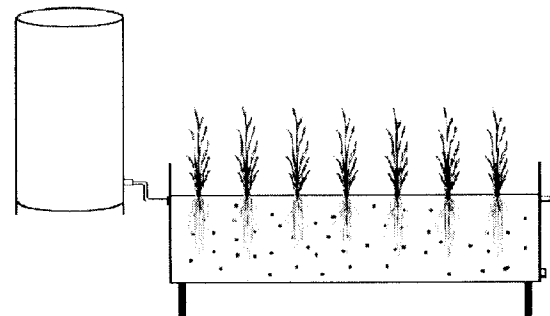


Figure 1. Filtering bed for the sewage treatment.

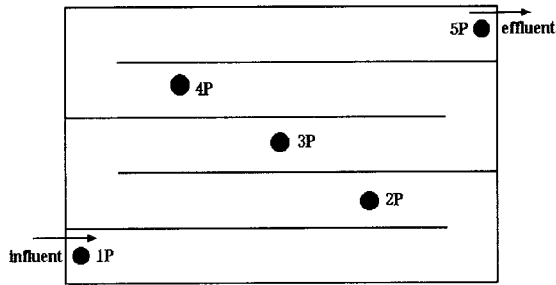


Figure 2. Sampling point in the filtering bed.

그리고, 그림 2에서 보는 것과 같이 여상내에 지름 5cm의 아크릴파이프 5개를 2m 간격으로 설치하여 분석용 시료를 채취하였다.

실험에 사용된 폐수는 Glucose[C₆H₁₂O₆], NH₄Cl, Na₂HPO₄를 사용 COD, N, P 농도는 조절하고 그 밖의 미량 원소는 전남대학교에 위치하고 있는 인공 호소인 용지에 녹아 있는 양으로 충당하여 실험실에서 직접 제조하여 사용하였다.

3종류의 수생식물인 갈대와 창포, 미나리는 인근의 하천에서 4월에 채취하여 여상 내에 식재하여 30일 정도 착생할 기간을 부여하였다.

여상에 채울 여재로는 직경 5mm, 10mm, 15mm 그리고 20mm 다공성 소결체, 콩자갈, 페타이어, 페콘크리트를 선택하였다. 본 실험에 사용된 다공성 소결체는 사질점토 90%와 하수슬러지 10%를 혼합·성형하여 1150℃의 고온에서 소성한 것으로, Size별 공극율은 표 1과 같다. 비교실험을 위하여 콩자갈은 직경 10~20mm, 페타이어는 10~15mm 그리고 페콘크리트는 5~10mm의 Size가 서로 혼합된 것을 사용하였다.

본 실험에서 각 시료에 대한 수질분석은 Standard Method[10]에 의해 수행되었으며, 분석방법과 사용기기는 표 2와 같다.

Table 1. Void volume percentage for various filtering materials adopted.

unit : %

Kind of porosity sintering-product	percentage of voids
5mm porosity sintering-product	68.1
10mm porosity sintering-product	65.0
50mm porosity sintering-product	59.5
20mm porosity sintering-product	58.0

Table 2. Methods and equipments for analysis of water quality.

Parameters	Analytical methods or equipments
COD	Standard method
T-N	Standard method
T-P	Standard method
NH ₄ -N	Standard method
pH	pH/mV meter
DO	DO meter

3. 결과 및 고찰

3.1 체류시간에 따른 처리효율

생활하수보다 약간 높은 조건인 COD 250mg/ℓ, Total Nitrogen(T-N) 70 mg/ℓ, Total-phosphor (T-P) 15 mg/ℓ 농도에서 체류시간을 6 h 간격으로 12~36 h까지 변화시키면서 체류시간에 따른 처리효율을 살펴보았다.

체류시간에 따른 COD 처리효율은 그림 3에서 보는 것과 같이 체류시간이 12h, 18h, 24h, 30h, 36h 인 경우에 대하여 유출수 농도 106mg/L, 67mg/L, 44mg/L, 36.5mg/L, 32.5mg/L로 각각 57.6%, 73.2%, 82.4%, 85.4%, 87.0%의 처리효율을 얻을 수 있었으며 전체적으로 체류시간이 길어짐에 따라 처리효율은 증가되는 경향을 보여주었다. 시료채취지점별로 살펴보면, 2 지점에서 체류시간 12h곡선에서는 31%였으나 18h 곡선에서는 34%, 24h 곡선에서는 39.6%, 30h 곡선에서는 43.5%, 36h 곡선에서는 63.5%로 나타나 시료채취 2 지점에서 체류시간의 영향이 가장 높게 나타났음을 알 수 있었다.

체류시간에 따른 NH₄-N 처리효율은 그림 4에서 보는 것과 같이 체류시간이 12h인 경우에 유입수 농도는 31.7mg/L에서 유출수 농도 15.2mg/L로 52.1%의 제거효율을, 18h의 경우에는 유입수 농도 33.4mg/L에서 유출수 농도 11.8mg/L로 64.7%의 제거효율을, 24h의 경우에는 유입수 농도 36.5mg/L에서 유출수 농도는 12.23mg/L로 66.5%의 제거효율을, 30h의 경우에는 유입수 농도 37.9mg/L에서 유출수 농도 10.7mg/L로 71.8%의 제거효율을, 그리고 36h의 경우에는 유

입수 농도는 38.5mg/L에서 유출수 농도가 9.63mg/L로 75.0%의 제거효율을 얻을수 있었다. NH₄-N의 경우 전체적으로 체류시간이 길어짐에 따라 처리효율도 증가되는 경향을 보여주었으며, 모든 시료채취지점에 걸쳐 비교적 완만한 증가를 보였다.

체류시간에 따른 T-N 처리효율은 그림 5에서 보는 것과 같이 체류시간이 12h, 18h, 24h, 30h, 36h인 경우에 유출수 농도 33.533mg/L, 26.47mg/L, 20.448mg/L, 19.9mg/L, 18.01mg/L로 각각에 대하여 52.01%, 62.1%, 70.9%, 71.5%, 74.3%의 처리효율을 나타냈으며 전체적으로 COD와 비슷한 경향을 보였다.

체류시간에 따른 T-P 처리효율은 그림 6에서 보는 것과 같이 체류시간이 12h, 18h, 24h, 30h, 36h인 경우에 유출수 농도 1.7952mg/L, 1.02mg/L, 0.587mg/L, 0.431mg/L, 0.0576mg/L로 각각에 대하여 88.04%, 93.2%, 96.1%, 97.1%, 99.62%의 처리효율을 나타내었다. T-P의 경우 유입수가 여상내에 유입하여 2 지점을 지나는 동안 80~99%의 처리효율을 보이는데, 윤춘경[10] 등의 문헌을 살펴보면, 인산염(PO₄³⁻)의 경우 90~100%의 처리효율을 보여주며 이는 습지에서 토양입자가 인산염을 흡착하고, 식물 및 미생물은 흡수·분해한 것으로 보고 있다. 본 연구에서도 여재 단독 실험에서 83.68%의 높은 처리효율을 보인 것으로 보아 위와 같은 결과는 여재에 의한 흡착 및 흡수로 인한 처리효율로 볼 수 있다.

위에서 보는 것과 같이 체류시간이 길수록 처리효율도 높다는 것을 알 수 있었으며, 체류시간 24h이

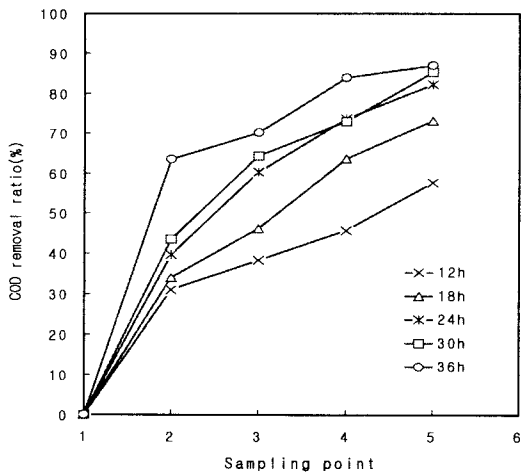


Figure 3. COD removal ratio by HRT.

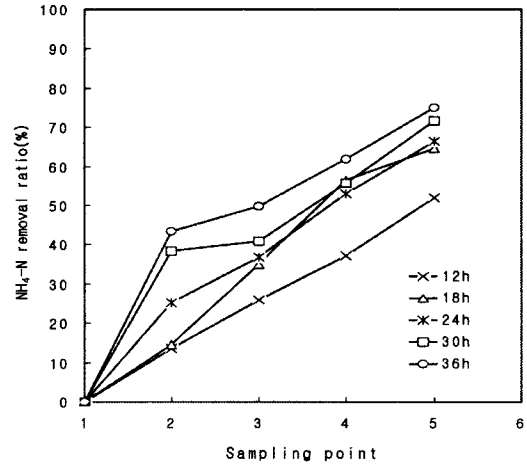


Figure 4. NH₄-N removal ratio by HRT.

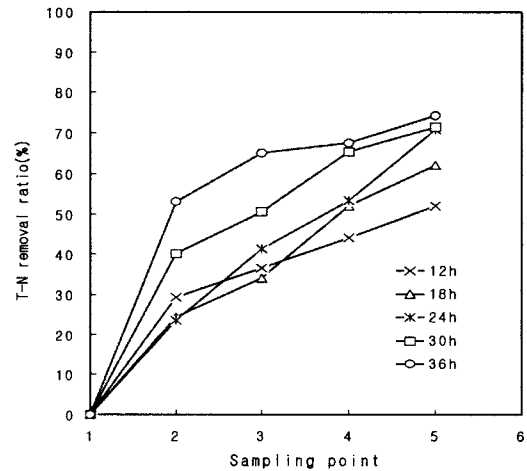


Figure 5. T-N removal ratio by HRT.

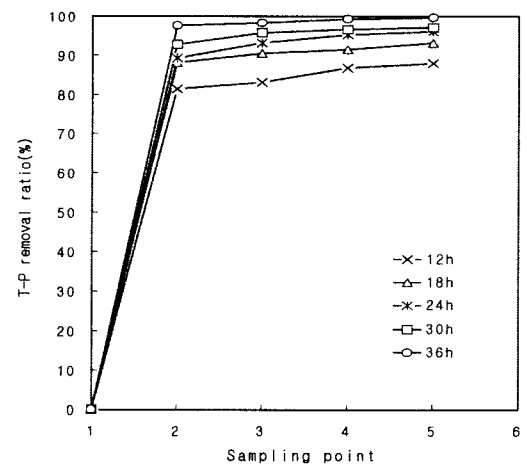


Figure 6. T-P removal ratio by HRT.

상의 경우 COD는 80%이상, T-N은 70%이상, T-P는 90%이상의 처리효율을 얻을 수 있었다. 이는 짧은 체류시간에는 폐수내의 유기물질이 여재에 미처 흡착되기도 전에 지나가게 되며, 수생식물의 뿌리와 그곳에 서식하고 있는 미생물과의 접촉시간도 그만큼 짧아지기 때문이다.

3.2. 농도에 따른 처리효율

앞의 결과로부터 체류시간이 24h 이상이면 COD 처리효율이 80%를 넘는다는 것을 알 수 있었다. 체류시간 30h, 36h이 24h보다 처리효율이 높지만 큰 차이는 없으므로 경제적인 면에서 체류시간 24h 조건으로 저농도에서 고농도로 변화를 주어 비교실험을 하였다.

COD 농도 변화에 따른 처리효율은 그림 7에서 보는 것과 같이 유입수 농도 50mg/L, 150mg/L, 250mg/L, 350mg/L, 450mg/L의 경우에 각각 87.1%, 85.3%, 82.4%, 78.6%, 73.8%의 처리효율을 나타내었으며, 전체적으로 농도가 낮을 수록 처리효율이 높다는 것을 알 수 있었다. 체류시간 6 h 지점까지는 높은 처리효율을 보이다가 이후엔 체류시간에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있으며, 유입수 농도 350 mg/L 이상이 되면 처리효율이 80%이하로 떨어지는 것을 볼 수 있었다.

NH₄-N 농도 변화에 따른 처리효율은 그림 8에서 보는 것과 같이 유입수 NH₄-N 농도 13.9mg/L, 27.7mg/L, 31.4mg/L, 32.8mg/L, 36.5mg/L일 경우 69.1%, 68.6%, 66.5%, 58.2%, 45.5%로 나타났다.

T-N 농도 변화에 따른 처리효율은 그림 9에서 보는 것과 같이 유입수 농도 14mg/L, 42mg/L, 70mg/L, 98mg/L, 126mg/L의 경우에 각각 77.3%, 75.4%, 70.9%, 65.8%, 61.3%의 처리효율을 나타내었으며, 전체적으로 저농도 곡선은 체류시간 6h까지 처리효율이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으며, 고농도 곡선은 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있었다.

T-P 농도 변화에 따른 처리효율은 그림 10에서 보는 것과 같이 유입수 농도 3mg/L, 9mg/L, 15mg/L, 21mg/L, 27mg/L의 경우에 각각 99.1%, 97.4%, 96.1%, 92.7%, 89.5%의 처리효율을 나타내었으며, 전체적으로 체류시간 6h까지 70~90%의 높은 처리효율을 보였으며 이후 처리효율은 둔화되어 증가하는 것을 볼 수 있었다.

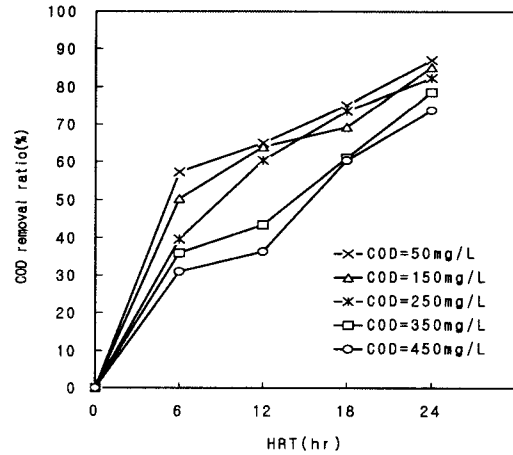


Figure 7. COD removal ratio as a function of concentrations.

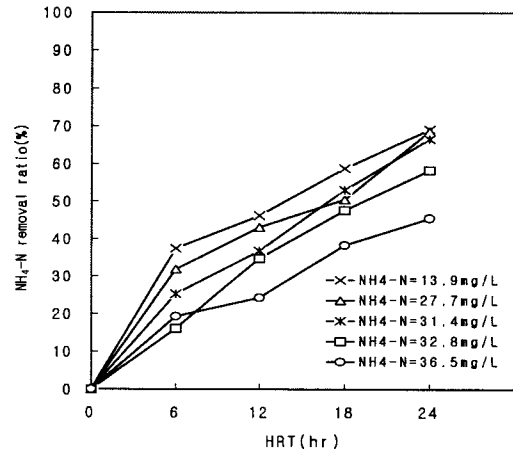


Figure 8. NH₄-N removal ratio as a function of concentrations.

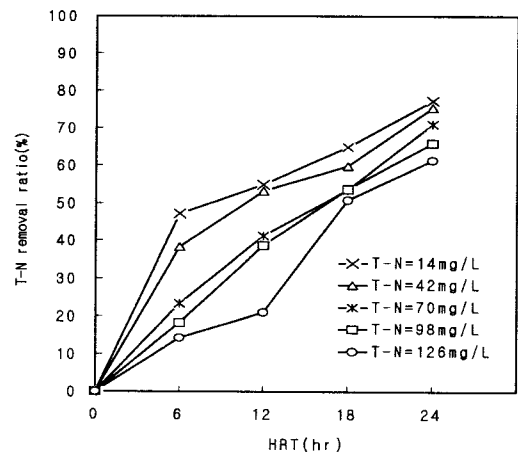


Figure 9. T-N removal ratio as a function of concentrations.

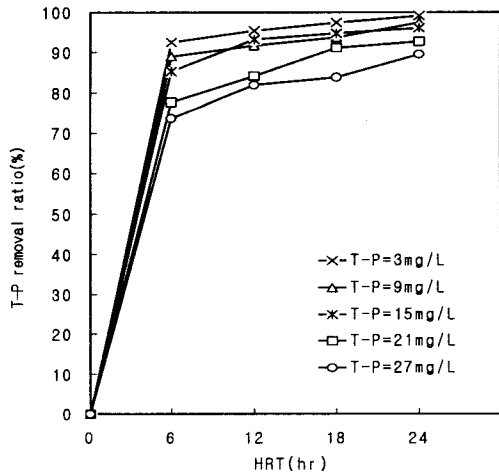


Figure 10. T-P removal ratio as a function of concentrations.

위에서 알 수 있듯이, 농도변화에 따른 처리효율은 COD 250mg/L, T-N 70mg/L, 그리고 T-P 21 mg/ℓ의 부하량 조건에서 각각 80%, 70% 그리고 90% 이상의 처리효율을 얻을 수 있었다. 이는 너무 높은 농도의 폐수는 식물을 이용한 자연정화법으로는 부적합한 것으로 보인다.

3.3 여재 종류에 따른 처리효율

앞에서 실험한 결과로부터 체류시간 24h, COD 농도 250mg/ℓ, T-N 70mg/ℓ, T-P 15mg/ℓ 조건을 얻을 수 있었다. 위의 조건을 토대로 다공성 소결체, 페콘크리트, 콩자갈, 페타이어를 비교 실험을 실시하였으며, 다공성 소결체 Size별 처리효율에 대한

Table 3. Effect of charging materials on treatment efficiency.

Type		Items	unit : %			
			COD	NH ₄ -N	T-N	T-P
porosity sintering-product	5mm		70.4	51.8	49.9	93.6
	10mm		51.2	42.1	45.7	81.1
	15mm		42.0	39.9	35.5	77.3
	20mm		37.6	37.7	31.4	73.8
Nonused concrete			32.8	32.1	23.9	69.9
Gravel			48.8	40.5	38.3	76.3
Nonused tire			34.4	34.3	26.6	71.2

실험도 실시하였다. 그리고, 여재에 의한 처리효율인

Table 4. Treatment efficiency by existence of hydrophytes.

		unit : %			
		COD	NH ₄ -N	T-N	T-P
Hydrophyte + filtering materials		82.4	66.5	70.9	89.2
filtering materials		52.8	41.3	43.8	83.68

지 식물에 의한 처리효율인지를 알아보기 위하여 식물을 식재하지 않은 여재 단독 실험을 실시하였다.

각각의 여재 종류에 따른 처리효율은 표 3에 나타내었다.

위에서 보는 것과 같이 COD, NH₄-N, T-N의 제거효율은 5mm 다공성 소결체 > 10mm 다공성 소결체 > 콩자갈 > 15mm 다공성 소결체 > 20mm 다공성 소결체 > 페타이어 > 페콘크리트 순으로 나타났다. 단, T-P의 제거효율에서만 15mm 다공성 소결체가 콩자갈보다 더 높은 처리효율을 보여주었다.

여재에 의한 처리효율인, 식물에 의한 처리효율인지를 알아보기 위하여 실시한 실험에서는 표 4에서 보는 것과 같이, 여재에 식물을 식재한 여상이 여재 단독 여상보다 더 높은 처리효율을 보였다. 이것은 수생식물의 뿌리에서의 흡수와 뿌리에서 서식하고 있는 미생물의 영양물질 흡수·분해로 인한 결과로 볼 수 있는데, 이로써 수생식물도 수질개선에 탁월한 효능이 있다고 사료된다.

또한, 위 결과로부터 여재의 영양물질 흡착능이 매우 뛰어나다는 것을 볼 수 있는데, 특히 T-P에서 그 효과는 매우 탁월하다.

3.4 수생식물 종류에 따른 처리효율

앞의 결과로부터 얻은 체류시간 24h과 COD 250mg/ℓ, T-N 70mg/ℓ 그리고 T-P 15mg/ℓ의 부하량 조건에서 3종류의 수생식물의 처리효율을 비교 실험하였다.

COD 처리효율은 그림 11에서와 같이, 갈대, 창포, 미나리의 처리수 농도는 48.25mg/ℓ, 44mg/ℓ, 71.5mg/ℓ로 각각 80.7%, 82.4%, 71.4%의 처리효율

을 나타내었다. COD의 경우 시료채취 2 지점까지는 급격한 처리효율을 보이다가 이후 완만한 증가세를 보였으며, 창포가 갈대보다 약간 높은 처리효율을 보였다.

NH₄-N 처리효율은 그림 12에서와 같이, 갈대는 유입수 농도 30.18mg/l에서 64.8%의 처리효율을 나타내었으며, 창포는 유입수 농도 36.5mg/l에서 66.5%의 처리효율을, 그리고 미나리는 유입수 농도 33.47 mg/l에서 60.9%의 처리효율을 나타내었다. NH₄-N의 경우는 T-N과 비슷한 경향을 보였다.

T-N 처리효율은 그림 13에서와 같이, 갈대, 창포, 미나리의 처리수 농도는 21.55mg/l, 20.477mg/l, 25.404mg/l로 각각 69.3%, 70.9%, 63.7%의 처리효율을 나타내었다. T-N의 경우 모든 시료채취지점에 걸쳐 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있었다.

T-P 처리효율은 그림 14에서와 같이, 창포, 미나리의 처리수 농도는 1.306mg/l, 1.628mg/l, 2.238mg/l로 각각 97.7%, 96.1%, 91.8%의 처리효율을 나타내었다. T-P의 경우 시료채취 2 지점까지는 70%이상의 처리효율을 보이다가 이후 완만한 증가세를 보였으며, 갈대가 창포보다 약간 높은 처리효율을 나타냈다.

위에서 보는 것과 같이 3종류의 수생식물의 수질오염물질처리 비교실험에서는 COD와 T-N 처리는 창포, 갈대, 미나리 순으로 나타났으며, T-P 처리는 갈대가 창포보다 약간 더 우수한 것으로 분석되었다.

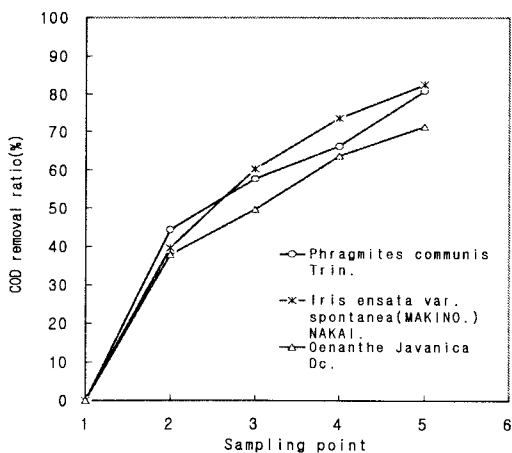


Figure 11. COD removal ratio by kinds of hydrophyte.

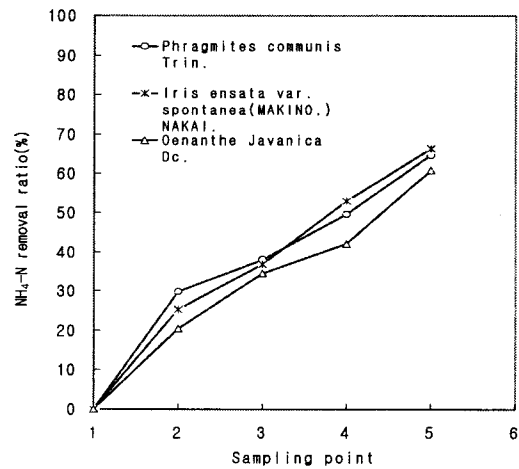


Figure 12. NH₄-N removal ratio by kinds of hydrophyte.

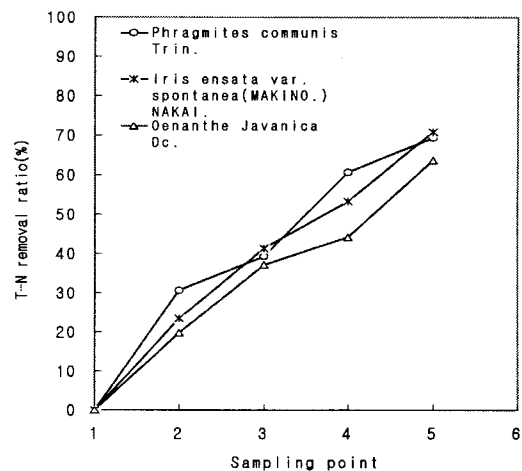


Figure 13. T-N removal ratio by kinds of hydrophyte.

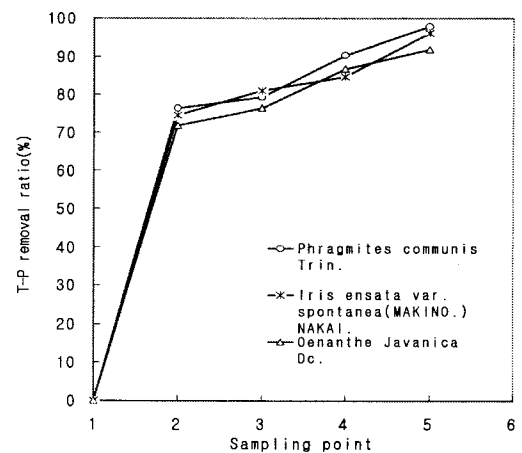


Figure 14. T-P removal ratio by kinds of hydrophyte.

3.5 월별에 따른 DO변화

여상내의 호기성상태를 조사하기 위하여 여상바닥층의 DO 농도변화를 살펴보았다. 측정기간은 5월~10월 기간동안에 매달 5일과 20일에 각각 실시하였다.

그림 15에서 보는 것과 같이 5월과 10월에는 DO의 농도가 높게 나타났으며 8월엔 DO의 농도가 낮게 나타나는 경향을 보였다. 또한, DO의 농도는 유입수보다 유출수에서 훨씬 높게 나타났으며 이는 처리과정에서 대기로부터 재폭기가 자연적으로 이루어지는 것을 알 수 있었다.

이러한 현상은 여상내 여재의 깊이를 0.42m로 낮게 하여 여재와 대기와의 접촉면으로부터 유입된 산소가 바닥까지 용이하게 이동할 수 있었으며, 또한 식물의 뿌리를 통한 산소공급을 통하여 자칫 혐기성 상태가 되기 쉬운 여상 바닥을 호기성 상태로 유지시켜준다.

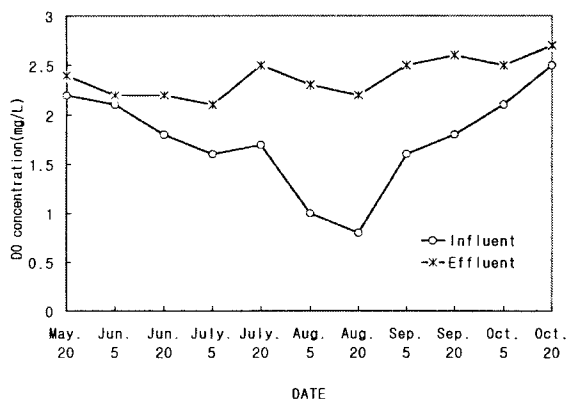


Figure 15. DO concentrations of influent and effluent.

4. 결 론

본 연구는 다공성 소결체로 충전된 여상에 수생식물을 식재하여 오·폐수를 처리하는 기술로서, 수질오염물질의 고효율 처리를 위한 적정조건을 찾는 데 연구목적을 두었으며, 실험조건으로 수질오염물질(COD, N, P), 수생식물의 종류, 여재의 종류와 규격, 그리고 체류시간을 변화시켜 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수질오염물질 중 COD는 50~450mg/ℓ 유입량 범위에서 87.1~73.8%의 처리효율을 보였으며, T-N은 14~126mg/L 유입량 범위에서 77.3~61.3%의 처리효율을, 그리고 T-P는 3~27mg/L 유입량 범위에서 99.1~89.5%의 처리효율을 얻을 수 있었다.
2. 3종류 수생식물의 수질오염물질처리 비교실험에서는 COD와 T-N 처리는 창포, 갈대, 미나리 순으로 나타났으며, T-P 처리는 갈대가 창포보다 약간 더 우수한 것으로 분석되었다
3. 4종류 여재의 수질오염물질처리 비교실험에서는 다공성 소결체, 콩자갈, 페타이어, 페콘크리트 순으로 나타났으며, 다공성 소결체 경우는 직경이 작을수록 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다.
4. 따라서, 창포가 식재된 직경 5 mm의 다공성 소결체여상의 경우 24h 체류시간과 유입폐수의 COD 250mg/ℓ, T-N 70mg/ℓ 그리고 T-P 21mg/ℓ의 농도조건에서 각각 80%, 70% 그리고 90%이상의 처리효율을 얻을 수 있어서 수생식물 다공성 소결체여상은 생활하수와 같은 저오염부하량을 갖는 오·폐수처리에 적합한 친자연형 폐수처리기술이라고 결론지을 수 있다.

참 고 문 헌

1. 이상운, 송호영, 이기중, 강호, "수생식물 재배를 통한 담저수지 유입수 수질개선 타당성 조사연구", 대한환경공학회 춘계학술연구발표회(1994).
2. 정정권, 강종훈, "미나리를 식재한 습지에서의 유기물질 및 질소제거에 관한 연구", 대한환경공학회지 Vol. 21. No. 12. 2313-2320(1999).
3. Hauser, J.R., Use of water hyacinth aquatic treatment systems for ammonia control and effluent polishing, J. Water Pollut. Control Fed., 56, 219-225(1984).
4. Reddy, K. R., Hueston, F.M., and McKim, T., Biomass production and nutrient removal potential of waterhyacinth cultured in sewage effluent, J. Solar Ener. Engineering, 107, 128-135(1985).

5. Reddy, K. R., Agami, M, and Tucker, J. C., Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by water hyacinth(*Eichhornia crassipes*) plants, *Aquat. Bot.*, 36, 33-43(1989).
6. DeBusk, T. A., Ryther, J. H., Hanisak, M.D., and Williams, L. D., Effects of seasonality and plant density on the productivity of some fresh-water macrophytes, *Aquat. Bot.*, 10, 133-142(1981).
7. 김태정, 한국의 자원식물 V, 서울대학교출판부, 56 (1998).
8. 김태정, 한국의 자원식물 V, 서울대학교출판부, 215, 217(1998).
9. 김태정, 한국의 자원식물 III, 서울대학교출판부, 184 (1998).
10. Lenore S. clesceri, Arnold E. Greenberg, APHA, Andrew D. Eaton, AWWA, Standard method (1998)
11. 윤춘경, 임용호, 김형중, "인공습지에 의한 농공단지 폐수처리", *한국환경농학회지*, Vol. 16. No.2, 170-174(1997).