

수직 흐름 제올라이트 갈대 여과상의 간헐적 주입에 의한 인공하수 처리

† 서 정 윤 · 김 태 형 · 최 민 수
창원대학교 공과대학 환경공학과
(접수 : 2003. 3. 4., 게재승인 : 2003. 4. 25.)

Vertical Flow Zeolite-Filled Reed Bed for Treatment of Artificial Sewage with Intermittent Feeding

Jeoung-Yoon Seo[†], Tae-Hyeung Kim, and Min Soo Choi
Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Changwon National University, 9 Sarim-Dong,
Changwon, Gyeongnam 641-773, Korea
(Received : 2003. 3. 4., Accepted : 2003. 4. 25.)

The artificial sewage was treated using a vertical flow zeolite-filled reed bed. The artificial sewage was fed into the reed bed for 10 minutes every 6 hours at the hydraulic load of 314 L/m² · day. The filtering height of the reed bed was 100 cm and the zeolite mixture was filled in the reed bed. The mixture consisted of the same volume of two types of zeolites ; 0.5~1 mm and 1~3 mm in diameter. Annual average removal efficiency was COD_{Cr} 95.1%, T-N 49.5%, NH₄⁺-N 99.4% and T-P 56.4%. T-N removal efficiency decreased remarkably from 73 to 27% with the operating time. Most of T-P was adsorbed in the upper area of the reed bed. The major portion of adsorbed phosphorus was composed of Fe-, Ca- and reductant soluble Fe-P.

Key Words : Vertical flow, zeolite reed bed, artificial sewage, treatment, intermittent feeding

서 론

생활수준의 향상으로 상수사용량이 증가하고, 하수 발생량도 증가함으로써 하수도의 증설과 하수처리장의 설치가 절실해지고 있다. 인구밀집지역에서는 대규모의 하수처리장을 설치하여 생활하수를 처리하고 있으나 하수도 보급이 미흡한 도시외곽지역이나 농촌지역에서는 대부분의 생활하수가 자연수계로 방류되어 하천과 지하수를 오염시키고 있는 실정이다(1).

농어촌지역에서 배출되는 오폐수에는 BOD나 SS와 같은 주 관심 오염물질 외에도 질소나 인 등의 영양염류가 많이 함유되어 있어 소하천이나 농업용 저수지 등의 부영양화를 일으키는 주요 원인이 되고 있다. 근래에는 조류에 의한 어류양식장의 피해사례가 문제가 되면서 부영양화 및 그 원인인 질소와 인의 거동 및 제거에 대한 관심이 높아지고 있다. 근래에 농어촌 환경정비사업의 일환으로 오수처리시설들이

전국에 걸쳐 도입되고 있는데, 이 중에는 농어촌의 지형적인 특성을 충분히 고려하지 않은 시스템이 적용되는 경우가 있어 기능 및 유지관리상 문제점이 발생하는 사례가 있다. 농어촌지역에는 이용 가능한 자연이 도시에 비해 상대적으로 풍부하게 존재하므로 이러한 자연 스스로가 지니고 있는 정화기능을 최대한 활용하면 지역특성에 맞고 유지관리가 용이한 처리시설을 도입할 수 있을 것이다. 이와 같이 자연의 정화기능을 이용한 오폐수 처리방식으로는 토양처리방식(land treatment system), 산화지 처리법(oxidation pond system), 부생식물을 이용한 수중처리(aquatic system with floating plants), 습지처리(wetland system), 휴경지를 이용한 처리, 삼림토양침투에 의한 처리 등을 들 수 있다(2).

이 중에서 인공습지는 화학적, 물리적 그리고 생물학적 처리 기작들이 모두 복합된 자연적인 하수정화시스템이다(3). 습지에서의 중금속들은 흡착, 착화합물 형성, 화학적 침전 및 식물체에 의한 흡수작용들에 의하여 제거된다(4). 암모니아는 질산화, 식물 흡수, 그리고 휘발에 의하여 제거되며 주요한 영양물질들은 미생물에 의한 탈질(3), 그리고 토양에 존재하는 Fe 및 Al(5)과 이탄(6)에 의한 P의 흡착 등에 의하여 제거된다.

Kartin von Feld 등(7)은 식물이 없는 토양 여과상에서 처리수를 간헐적으로 주입하여 수직방향으로 처리수를 흐르게

† Corresponding Author : Dept. of Environmental Engineering, College of Engineering, Changwon National University, 9 Sarim-Dong, Changwon, Gyeongnam 641-773, Korea.

Tel: +82-55-279-7562, Fax: +82-55-281-3011

E-mail: syseo@sarim.changwon.ac.kr

하였을 때 COD 및 암모니아성 질소를 90% 이상 제거할 수 있었다. Guenter 등(8)은 식물이 성장하는 토양 여과상에서 BOD 및 암모니아성 질소를 제거하기 위해서는 처리수의 수리학적 부하가 중요하지 않고 오염물질의 부하가 더욱 중요하다고 하였다(9).

인공습지의 일반적인 구조는 처리수의 흐름 유형에 따라 수직 및 수평흐름 두 가지로 구분될 수 있다(10-16). 수직 흐름은 수평 흐름보다 산소공급이 원활한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 우리 나라에서 많이 생산되고 있는 제올라이트를 인공습지의 여재로 사용한 수직흐름 갈대 여과상을 제작하여 하수의 처리효율을 조사하였다. 실험에는 인위적으로 조제한 인공하수를 사용하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 제올라이트는 경북 포항에 위치하고 있는 Y 화학에서 제공받은 것으로 화학성분을 살펴보면 Table 1과 같다. 구성성분 대부분이 SiO₂이었다.

Table 1. Chemical component of zeolite used for experiment

Chemical component	Content(%)
SiO ₂	68.0 ~ 72.0
Al ₂ O ₃	9.0 ~ 14.0
CaO	> 3.0
MgO	> 2.0
K ₂ O	> 3.0
Na ₂ O	> 4.0
Fe ₂ O ₃	> 3.0

Y 회사에서는 입경 0.5~1 mm와 1 mm ~3 mm의 두 가지 종류를 생산 판매되고 있는데, 본 실험에서는 이 두 가지의 제올라이트를 혼합하여 여재로 사용하였으며 두 종류의 제올라이트를 부피 비 1 : 1로 혼합하였을 때 시료의 입도 분석 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Particle size distribution of the zeolite mixture filled in the reed bed. The mixture consisted of the same volume of two types of zeolite ; 0.5~1 mm and 1~3 mm in diameter

Diameter(mm)	<0.3	0.3~0.5	0.5~0.85	0.85~1.7	1.7 <
Weight(g)	206	193	813	1,090	741
Weight percent(%)	6.8	6.3	26.7	35.8	24.4
Cumulative percent(%)	6.8	13.1	39.8	75.6	100

실험에 사용한 혼합 제올라이트의 투수계수는 Table 3과 같다. 입경 0.5~1 mm인 제올라이트와 입경 1~3 mm 제올라이트를 부피 비로 1 : 1 혼합했을 때 투수계수는 1.54×10⁻³ cm/sec, 1 : 3일 때 7.91×10⁻³cm/sec 그리고 입경 1~3 mm 제올라이트의 투수계수는 8.36×10⁻³ cm/sec이었다.

Table 3. Permeability coefficient of each zeolite mixture

Mixing ratio by volume	Permeability coefficient (cm/sec)
A : B = 1 : 1	1.54 × 10 ⁻³
A : B = 1 : 3	7.91 × 10 ⁻³
B	8.36 × 10 ⁻³

* A : Zeolite in the diameter range of 0.5 to 1mm
 B : Zeolite in the diameter range of 1 to 3mm

인공하수 성상

본 실험에서 인공하수는 COD_{Cr} 200 mg/L, NH₄⁺-N 20 mg/L, T-P 3 mg/L를 기준으로 조제하여 사용하였다. 이러한 인공하수는 우리 나라 하수처리장의 평균 유입농도(17)와 동일하게 조제한 것으로 농촌의 오폐수 성상과도 유사한 것으로 간주하고 실험을 실시하였다. Table 4에 인공하수 조제에 필요한 성분 및 함량을 나타내었다.

Table 4. Composition of synthetic sewage used for experiment

Ingredients	Quantity in 40L tap-water (g)
Glucose	9.00
Na ₂ CO ₃	8.48
KCl	0.84
NH ₄ Cl	3.00
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.84
NaCl	1.50
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.50
KH ₂ PO ₄	0.53

실험장치

실험장치는 그림 1과 같이 수직 흐름(Fig. 1 A): 500 cm × 600 cm × 1,200 cm(height) 갈대 여과상은 스테인레스 그리고 여재에 흡착된 인 화합물과 여과상 높이별 유기물함량을 조사하기 위한 칼럼장치(Fig. 1 B)는 아크릴로 제작하였다. 갈대는 하천에서 자라는 6포기를 떼어다가 여과상에 옮겨 심었다. 칼럼은 두께 8 mm, 내경 184 mm, 높이 1,300 mm로 제작하였다. 칼럼의 상부 10 cm는 폐수의 분산을 위하여, 하부 20 cm는 폐수의 유출수를 채취하기 위하여 빈 공간으로 남겨두었다. 그리고 칼럼 내의 빛에 의한 조류 생성을 방지하기 위하여 알루미늄 호일로 칼럼을 싸서 빛을 차단하였다.

실험장치의 충전물은 입경 범위 0.5~1 mm와 1~3 mm인 새로운 두 제올라이트의 부피 비율 1:1로 혼합한 것을 사용하였다. 여재 층의 높이는 모두 1 m로 충전하였다.

운전조건

하수는 수리학적 부하량 314 L/m²·day를 하루 4회(10분 동안 주입 후 5시간 50분 동안 중단) 균등하게 주입하였다.

수질 분석 및 투수계수 측정방법

수질분석은 원수와 각 장치의 유입수 및 유출수를 채취하여 COD_{Cr}, NH₄⁺-N, T-N, T-P 항목을 분석하였다. NH₄⁺-N은 공정시험법의 인도페놀법, T-N와 T-P는 과황산칼륨으로 전처리 후 자외선 흡광광도법으로 흡광도를 측정하여 정량하였다(18). COD_{Cr}은 Standard methods(19)에 준하여 측정하였으며,

결합 형태별 무기성 인은 토양화학분석법(20)에 따라 분석하였다. 투수계수 측정은 토질시험법(21)에 의하여 실시하였다.

결과 및 고찰

Table 5에는 제올라이트로 채워진 갈대 여과상에서 인공하수를 유입하면서 COD_{Cr}의 처리효율을 나타내었다. 유출수의 농도는 33.33 mg/L 이하이었으며 특히 가동 후반에 안정적으로 낮게 유지되었다. 유기물의 처리효율은 실험초기에 갈대가 충분히 자라지 않았음에도 불구하고 연중 높게 유지되었다. 유기물의 처리효율이 연중 높게 유지된 것은 두 가지 측면에서 해석이 가능하다. 첫 번째는 제올라이트의 유기물 흡착능이 크지 않다는 것(22)을 고려하면 제올라이트 입자 표면에 서식하는 미생물에 의하여 즉시 분해된 것으로 해석된다. 두 번째로는 본 연구에서 하수가 간헐적으로 유입되었기 때문에 유입되는 동안에 일단 제올라이트에 흡착된 후 하수가 유입되지 않는 동안에 미생물에 의하여 분해되어 제올라이트의 유기물 흡착능이 다시 회복되는 과정이 계속 반복됨으로써 유기물 분해가 연 중 높게 유지될 수 있었을 것이다.

수초 여과상에서 용존 유기물질은 여과상에 채워진 충전물질의 표면에 서식하는 미생물과 주입되는 하수에 존재하는 미생물들에 의하여 분해, 산화, 환원, 합성 등 그리고 비 용해성 유기물질의 일부는 여과상의 여과작용에 의하여 제거된다(23). 또한 미생물에 의하여 하수가 처리되는 과정에서 호기성 미생물은 산소를 표층과 수초의 뿌리를 통하여 공급받는다. 뿌리공간에는 산소가 빈약한 곳이 있을 수 있다. 이런 경우에 하수는 혐기성 상태에서 처리된다. 수초와 수초뿌리의 밀도에 따라 다를 수 있지만 뿌리가 엉겨진 경우와 그렇지 않은 경우 토양에 있는 미생물은 그 밀도가 작게는 10배에서 많게는 1,000배 이상 차이가 난다. 따라서 수초 여과상에서는 많은 종류의 미생물들의 상호작용에 의한 시너지효과가 나타난다는 것이 중요하다(24).

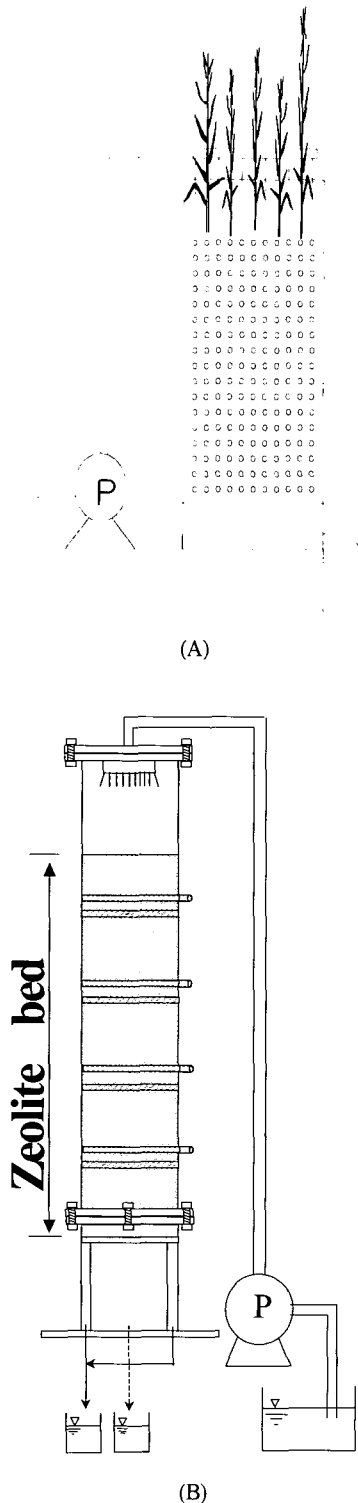


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus. (A) Vertical Flow Zeolite-Filled Reed Bed, (B) Column test for phosphorus adsorption and organic matter distribution measurement.

Table 5. Removal efficiency of COD_{Cr} in zeolite-filled reed bed

Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)	Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)
16.11.2000	260.00	26.67	89.74	11.07.2001	230.00	11.50	95.00
20.11.2000	242.32	20.41	91.58	21.08.2001	180.00	8.00	95.56
12.12.2000	313.33	11.00	96.49	04.09.2001	206.67	8.72	95.78
17.01.2001	194.21	5.93	96.95	11.09.2001	172.00	7.00	95.93
06.02.2001	234.23	4.68	98.00	25.09.2001	180.00	6.00	96.67
08.02.2001	277.46	5.55	98.00	10.10.2001	166.67	6.00	96.40
13.02.2001	160.00	26.67	83.33	23.10.2001	213.33	2.00	99.06
16.02.2001	230.00	33.33	85.51	14.11.2001	260.00	3.00	98.85
20.02.2001	220.00	21.32	90.31	26.11.2001	213.33	5.00	97.66
14.03.2001	256.17	15.37	94.00	19.12.2001	220.00	4.00	98.18
31.03.2001	217.48	10.87	95.00	26.12.2001	260.67	4.00	98.47
02.04.2001	200.00	1.33	99.34	Average	219.73	10.80	95.08

Table 6에는 제올라이트 여과상의 높이별 유기물 함량을 나타내었다. 여과상의 맨 위 0~5 cm와 깊이 60~80 cm 부위의 유기물 함량이 가장 높았다. 서(25)에 의하면 수직 흐름 제올라이트 칼럼실험에서 칼럼의 상부 하수 유입부 20 cm 여재 높이에서 유입 COD_{Cr}의 91.05%가 감소되었으며 이것은 그곳에 유기물이 가장 많이 공급되어 미생물들이 가장 빠르

계 성장하기 때문이라고 하였다(26, 27). 본 실험에서 인공하수를 사용하였기 때문에 SS의 유입이 거의 없었다는 것을 전제하면 여과상의 높이별 유기물 함량 차이는 증식된 미생물에 의한 것으로 볼 수 있을 것이다. 그러나 높은 층의 유기물 함량 차이가 너무 미미하여 이러한 미생물 양의 차이에 의하여 여과상의 유입부 상부 층에서 유기물의 제거율이 크게 증가할 것으로 단정하는 데는 어려움이 있을 것으로 생각된다. 만약 상부 층의 미생물 양 차이에 의하여 유기물 제거율의 차이가 발생되지 않았다면 전 층에 걸쳐 고르게 분포된 미생물의 분해력은 거의 같다고 하더라도 유입되는 유기물의 양이 하수가 유입되는 상부 층에 서식하는 미생물이 분해할 수 있는 양을 어느 정도 초과하는나에 따라 그 하부 층에 공급되는 유기물 양이 달라지게 될 것이다. 그러므로 아래층에 공급되는 유기물의 양이 상층부에 유입되는 유기물의 양보다 적다면 아래층의 유기물 제거율은 상층부의 유기물 제거율보다 작아지게 될 것이다.

Table 6. Percent distribution of organic matter depending on depth of zeolite column

Depth(cm)	0-5	5-20	20-40	40-60	60-80	80-100
%	2.34	2.22	2.21	2.20	2.32	2.20

Table 7에는 가동 기간에 따른 T-N의 처리효율을 나타내었다. 처리효율은 가동 초기에는 높다가 7월부터 대단히 낮아졌다. 5월과 6월의 분석 자료가 없어 언제부터 크게 감소하였는지는 알 수 없었지만 가동 시간이 경과하면서 T-N의 제거효율은 크게 감소하였다. 가동 초기에 T-N의 제거효율이 높았던 것은 유입된 T-N이 NH₄⁺-N이어서 양전기를 띄고 있는 NH₄⁺-N이 음전기를 띄고 있는 제올라이트 표면에 치환되기 쉽기 때문이다(22). 그러나 가동 후반에 제거효율이 낮았던 것은 제올라이트에 흡착되었던 NH₄⁺-N이 NO₃⁻-N로 산화되어 유출된 것이기 때문으로 예상된다.

Table 7. Removal efficiency of T-N in zeolite-filled reed bed

Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)	Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)
16.11.2000	28.50	7.65	73.16	11.07.2001	24.72	17.35	29.81
20.11.2000	23.76	6.57	72.35	21.08.2001	17.19	12.29	28.50
12.12.2000	30.95	8.09	73.86	04.09.2001	15.85	11.61	26.75
17.01.2001	24.55	6.55	73.32	11.09.2001	16.26	12.06	25.83
06.02.2001	23.43	6.24	73.37	25.09.2001	26.81	18.58	30.70
08.02.2001	25.25	6.75	73.27	10.10.2001	31.27	21.92	29.90
13.02.2001	24.28	6.47	73.35	23.10.2001	29.67	20.52	30.84
16.02.2001	23.80	6.35	73.32	14.11.2001	28.83	21.97	23.79
20.02.2001	21.45	6.28	70.72	26.11.2001	27.72	21.30	23.16
14.03.2001	23.04	11.09	51.87	19.12.2001	26.71	20.42	23.55
31.03.2001	28.56	10.53	63.13	26.12.2001	31.09	22.62	27.24
02.04.2001	24.40	8.94	63.36	Average	25.13	12.70	49.46

Table 8에 의하면 가동 시간에 관계없이 NH₄⁺-N의 처리효율은 대단히 높게 유지되었다. 이것 역시 위에서 설명한 것과 같이 양전기를 띄고 있는 NH₄⁺-N이 음전기를 띄고 있는 제올라이트 표면에 치환되기 쉽기 때문이다(22). 제올라이트에 의한 NH₄⁺-N의 제거효율은 지속적으로 유지되었는데 이것은 하수가 연속적으로 주입되는 것이 아니라 간헐적으로

주입되었기 때문에 하수와 함께 유입된 암모니아성 질소가 먼저 양이온 치환용량이 대단히 높은 제올라이트에 치환되고, 하수가 주입되지 않는 350분 동안 제올라이트에 흡착된 암모니아성 질소가 생물학적 재생에 의하여 탈착 및 질산화 되어 원래의 제올라이트 치환능이 회복되었기 때문이다(22). 이것으로 보아 제올라이트를 이용하여 하수를 처리할 때 암모니아성 질소의 제거가 가능할 것으로 예측된다.

Table 8. Removal efficiency of NH₄⁺-N in zeolite-filled reed bed

Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)	Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)
16.11.2000	25.59	0.42	98.36	11.07.2001	21.42	0.15	99.30
20.11.2000	20.63	0.06	99.71	21.08.2001	15.41	0.08	99.48
12.12.2000	28.02	0.06	99.79	04.09.2001	14.22	0.21	98.52
17.01.2001	22.26	0.16	99.28	11.09.2001	14.97	0.09	99.40
06.02.2001	19.83	0.12	99.39	25.09.2001	23.96	0.31	98.71
08.02.2001	21.44	0.06	99.72	10.10.2001	30.07	0.19	99.37
13.02.2001	20.52	0.11	99.46	23.10.2001	27.66	0.05	99.82
16.02.2001	21.89	0.18	99.18	14.11.2001	26.71	0.06	99.78
20.02.2001	19.85	0.10	99.50	26.11.2001	24.88	0.10	99.60
14.03.2001	21.59	0.04	99.81	19.12.2001	24.65	0.03	99.88
31.03.2001	23.24	0.07	99.70	26.12.2001	28.32	0.10	99.65
02.04.2001	21.42	0.15	99.30	Average	22.55	0.13	99.42

Table 9에는 가동 기간에 따른 T-P의 처리효율을 나타내었다. T-P의 처리효율은 가동 기간과 계절에 관계없이 큰 변화가 없었다. 일반적으로 갈대 여과상에서 인은 갈대에 의하여 흡수, 여재에 함유되어 있는 Ca, Fe 및 Al과 화학적으로 결합하여 불용성 물질로 되어 여재에 축적과 여재 표면에 증식하는 미생물체의 합성에 의하여 이루어진다(27). 그 중 갈대에 의하여 제거되는 양은 미미하기 때문에 제올라이트에 함유되어 있는 칼슘 및 철과 반응하여 불용성 물질의 생성에 의한 제거와 표면에서 미생물의 증식에 의한 생물학적 제거가 모두 가능하리라 예상된다. Klaus Bahlo(28)는 수직형 모래여과상에서 T-P 51.9% 그리고 Fehr 등(29)은 식재한 토양 여과상에서 53~56%이었다고 보고하였다. 이들과 비교할 때 제올라이트의 T-P 제거효율은 크게 다르지 않다.

Table 9. Removal efficiency of T-P in zeolite-filled reed bed

Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)	Sampling date	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efficiency (%)
16.11.2000	3.60	1.33	63.06	11.07.2001	4.22	2.52	40.28
20.11.2000	3.48	1.59	54.31	21.08.2001	3.33	1.46	56.16
12.12.2000	3.24	1.48	54.32	04.09.2001	3.63	2.52	30.58
17.01.2001	3.23	1.52	52.94	11.09.2001	3.96	1.40	64.65
06.02.2001	3.34	1.43	57.19	25.09.2001	3.30	0.86	73.94
08.02.2001	3.24	1.47	54.63	10.10.2001	3.23	1.31	59.44
13.02.2001	3.52	1.56	55.68	23.10.2001	3.30	1.58	52.12
16.02.2001	3.31	1.52	54.08	14.11.2001	3.57	1.23	65.55
20.02.2001	3.29	1.47	55.32	26.11.2001	3.31	1.44	56.50
14.03.2001	2.29	1.00	56.33	19.12.2001	3.32	1.45	56.33
31.03.2001	3.78	1.68	55.56	26.12.2001	3.29	1.44	56.23
02.04.2001	3.19	0.98	69.28	Average	3.41	1.49	56.30

Table 10에 의하면 칼럼실험에서 여재인 제올라이트에 흡착된 인의 형태별 함량은 깊이 5-20 cm에서는 Ca-P > Fe-P > 환원가용성 Fe-P > Saloid P > Al-P 그리고 20-100 cm에서는

Ca-P > 환원가용성 Fe-P > Fe-P > Saloid P > Al-P 순이었다. 여과상 깊이별 T-P의 함량은 위층일수록 높았다. Fe-P 함량은 위층에서 높았고, Ca-P와 환원가용성 Fe-P의 함량 비율은 깊이가 깊을수록 높아지는 경향이였다.

Table 10. Distribution of total and inorganic phosphorous in zeolite depending on bed depth(number in parenthesis means percent)

Bed depth (cm)	T-P (mg/kg)	Saloid P (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)	Reduciant soluble Fe-P (mg/kg)
0~5	359.1 (100)	16.2 (4.5)	3.6 (1.0)	100.5 (28.0)	101.4 (28.2)	76.1 (21.2)
5~20	288.9 (100)	10.3 (3.6)	4.1 (1.4)	70.6 (24.4)	79.0 (27.4)	55.9 (19.4)
20~40	197.9 (100)	8.8 (4.5)	3.8 (1.9)	46.2 (23.4)	79.1 (40.0)	56.9 (28.3)
40~60	202.2 (100)	4.6 (2.3)	2.3 (1.1)	26.4 (13.0)	82.7 (40.9)	57.2 (28.3)
60~80	156.3 (100)	4.3 (2.8)	2.3 (1.5)	25.7 (16.5)	65.0 (41.6)	56.8 (36.4)
80~100	163.2 (100)	4.4 (2.7)	4.5 (2.7)	27.7 (17.0)	68.0 (41.7)	58.0 (35.5)

요 약

제올라이트로 충전된 수직 흐름 갈대 여과상에 인공하수를 주입하면서 처리효율을 조사하였다. 여과상 표면적 m² 당 1일 314 L의 인공하수가 6시간마다 10분 동안 간헐적으로 주입되었다. 각 항목별 연중 평균 처리효율은 COD_{Cr} 95.1%, T-N 49.5%, NH₄⁺-N 99.4%, T-P 56.4%이었다. T-N의 처리효율은 가동 시간이 경과함에 따라 현저하게 감소하였다. 여과상의 상층에서 많은 인이 흡착되었으며 흡착된 인 중 대부분은 Fe-P, Ca-P와 환원가용성 Fe-P이었다.

감 사

이 논문은 2002년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Lee, J. H. (1999), A study on Simultaneous Organic and Nutrient Removal in Membrane Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment, M. S. Thesis, Changwon National University, Changwon.
- Metcalf & Eddy (1991), Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse, 3rd ed. pp 901-982, McGraw-Hill, New York.
- Crites, R. W., G. D. Dombeck, R. C. Waston, and C. R. Charles (1997), Removal of metals and ammonia in constructed wetlands, *Water Environment Research* 69(2), 132-135.
- Reed, S. C., R. W. Crites and E. J. Middlebrooks (1995), Natural Systems for Waste Management and Treatment, 2nd ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Richardson, C. J. (1985), Mechanism controlling phosphorous retention capacity in freshwater wetlands, *Science* 228, 1424-1427.
- Reedy, K. R. and E. M. D'angelo (1994), Soil processes regulating water quality in wetlands, *In Global Wetlands ; Old World and New*. W. J. Mitch, ed, p309, Elsevier Science B.V., Amsterdam. The Netherlands.

- Von Felde, K. and S. Kunst (1996), N- und CSB-Abbau in vertikal durchstroemten Bodenfiltern, *gwf-Wasser/Abwasser*, 137(8), 401-408.
- Fehr, G. and H. Schuette, (1996), Leistungsfahigkeit intermittierend beschickter, bepflanzter Bodenfiltern, *gwf-Wasser/Abwasser*, 132(4), 207-213.
- An, T. S. (1997), On the artificial wetland for water quality improvement in golf course, *Research Bulletin of Yonkang Foundation*, 347-372.
- ATV-Regelwerk: Abwasser - Abfall (1998), Grundsätze fuer Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten fuer kommunales Abwasser bei Ausbaugroessen bis 1,000 Einwohnerwerte, *Arbeitsblatt ATV - 262*, Gesellschaft zur Foederung der Abwassertechnik e.V.(GFA), Hennef.
- Hegemann, W. (1997), Abwasserentsorgung im duenn besiedelten Flaechenland Brandenburg, *Arch. fuer Nat. - Lands.*, Vol. 00, 1-12.
- Hegemann, W. (1996), Neue Entwicklung in der Klartechnik - Hightech und/oder Einfachverfahren, *TU International* 34/35, 18-20.
- Poepel, H. J. (1990), Uebersicht ueber Verfahrensvarianten von Pflanzenklaeranlagen, *Schriftenreihe WAR* 48, 17-37
- Markerting Gesellschaft fuer niedersaechsische Agrarprodukte e. V. (1997), Pflanzenklaeranlagen, *Schriftenreihe der kommunalen Umwelt-Aktion U.A.N*, Heft 30, Hannover.
- Energie- und Umweltzentrum am Deister e. V. (1987), *Naturnahe Abwasser- reinigung*, Hans Moeninghoff, Oekobuch Verlag & Versand GmbH, Freiburg.
- Platzer, C. (1998), Entwicklung eines Bemessungsansatzes zur Stickstoffelimination in Pflanzenklaeranlagen, *Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft* Nr. 6, Technische Universitaet Berlin.
- Lee, J. H., H. U. Nam, Y. G. Kim and T. J. Park (1998), Characteristics of phosphorus removal from municipal wastewater treatment using a combined fixed film reactor (CFFR) process, *J. KSWQ*, 14(2), 129-135.
- Donghwa Technology (1999), *Korea Standard Methods of Waste and Wastewater*
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, AWWA, WPCF.
- Institute of Agricultural Science (1988), *Chemical analysis of soil*
- Park, C. S. et al. (1996), *Soil Test Methods*, Saeron.
- Yoo, S. U. (1997), Process development for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus using natural zeolite, *Institute of Samsung Mulsan Construction, Ministry of Enviornment*, Korea.
- ATV-Regelwerk Anwasser - Abfall (1989), *Behandlung von haeuslichen Abwasser in Pflanzenbeeten*, ATV-Hinweisblatt H 262, Gesellschaft zur Foederung der Abwassertechnik e.V..
- Chung, D. Y. et al. (2002), Development of an environmentally friendly sewage treatment model with water plant and sand for small communities, *Ministry of Environment*, Korea.
- Seo, J. Y. (2002), Treatment of artificial sewage using a zeolite column, *Kor. J. Environ. Agri.* 21(3), 178-188.
- Hammer, M. J. (1977), *Water and Wastewater Technology*, SI Version, John Wiley & Sons Co..
- Wissing, F. (1995), *Wasserreinigung mit Pflanzen*, E.U. Verlag Eugen Ulmer.
- Bahlo, K. (1997), *Reinigungsleistung und Bemessung von vertikal durchstroemten Bodenfiltern mit Abwasserrezirkulation*, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universitaet Hannover, doctoral dissertation.
- Fehr, G. and H. Schuette (1990), *Leistungsfahigkeit intermittierend beschickter, bepflanzter Bodenfilter*, 21. Wassertechnische Seminar, Pflanzenklaeranlagen - Besser Als Ihr Ruf?, Institut fuer Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt, 197-225.