

토양정화법을 이용한 하·오수 및 폐수 처리의 현장적용성에 관한 연구

The Application of the Sewage, Sanitary Sewage and Wastewater Processing by Soil Purification Theory

천 병 식¹⁾ · 유 준 희²⁾ · 김 정 용³⁾ · Kumar, S⁴⁾ · 신 상 옥⁵⁾ · 신 방 응[†]

Chun, Byungsik · Yoo, Junhee · Kim, Jungyong · Kumar, S · Shin, Sanguok · Shin, Bangwoong

ABSTRACT : Soil purification theory is the method using the soil micro-organism like aerobic and anaerobic for treatment of wastewater. The soil has many kinds of micro-organism and it multiply as change of the environment. Unlike other methods, the soil purification theory is adaptable to inflow water change; moreover, it can process the T-N, T-P without any special method and management. The top is covered with the improved soil which can remove the bad smell and is used for resting place according to planting the lawn. This study is focused on analysis of the treatment processing of wastewater comparing inflow with outflow water. As a results, removal rate of the processing the BOD, COD and SS is almost 90~100% and it is 60~80% in T-N, T-P.

Keywords : Soil purification theory, Aerobic, Anaerobic, Removal rate

요 지 : 토양정화법은 하·오수 및 폐수정화를 위하여 호기성 미생물이나 혐기성 미생물 같은 토양미생물을 활용하여 하·오수 및 폐수를 정화하는 공법으로, 흙 속에 있는 토양 미생물은 종류가 다양하여 주변 환경 변화에 따른 미생물의 증식이 가능하다. 따라서 토양정화법은 타 공법과는 달리 유입수의 부하변동에도 적절하게 대응할 수 있으며, 특별한 유지관리기술이 불필요한 공법으로 T-N, T-P등을 함께 처리할 수 있다. 또한, 상부에 개량된 토양을 피복하고 그 위에 잔디 등 식물을 식재함으로써 악취를 제거하고, 휴식공간으로도 이용이 가능하다. 본 연구에서는 토양정화법이 적용된 현장의 유입수와 유출수의 수질을 비교하여 토양정화법의 오염물질의 처리 과정과 능력을 분석하였다. 그 결과 BOD, COD, SS, 대장균 수의 처리효율은 약 90~100%로 나타났으며, T-N, T-P의 처리효율은 60~80%로 나타났으며, 유출수의 수질은 하수종말 처리시설 방류수 수질기준을 만족하였다.

주요어 : 토양정화법, 호기성 미생물, 혐기성 미생물, 처리효율

1. 서 론

과거 하·오수 및 폐수처리는 단순히 유기물이나 부유물 제거가 목적이었지만 최근 부영양화의 주원인인 질소와 인 화합물 처리에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 수질기준도 점점 강화되고 있다. 따라서 하수처리장 공법의 경쟁력을 확보하기 위해서 질소, 인 화합물을 경제적이고 효율적인 방법으로 제거하기 위한 처리공법이 필요하다.

현재 개발되어 사용되고 있는 공법들은 인위적으로 구성된 처리공정에 의존하여 오염물질을 처리하기 위한 반응조의 용적이 크고, 많은 기계설비가 필요할 뿐만 아니라 설치비용과 유지관리비용이 높다. 특히, 유입수 유량 및 수질의 변화 또는 공기공급장치 고장 등으로 반응조 내 미생물 사멸 시에 대처능력 부족으로 방류수질의 불안정이 빈번히 발생하고 있으며, 폐오니의 발생량이 많아 오니 처

리비용이 높다(이용운 등, 2002). 이러한 처리공법의 단점들을 극복하기 위한 방법으로 자연정화 능력을 이용하는 토양정화법의 적용사례는 점점 늘어나는 추세에 있다. 토양정화법은 자연의 토양을 이용하여 하·오수 및 폐수를 정화하는 공법으로 토양입자로 구성된 공극은 매우 작고, 이 작은 공극에 부유물질이 포집되어 정화되고 토양속의 여러 가지 광물질 등은 음이온 물질을 흡착하여 정화한다. 또한 토질에 따라 다르지만 토양속에는 토양 미생물이 서식하고 있어 이 미생물에 의해 여러 가지 유기물질이 산화·분해된다. 토양정화법에는 소량의 공기를 공급하여 하·오수 및 폐수를 처리하는 토양피복형 접촉산화 공법과 자연유하식으로 처리하여 에너지를 절약 할 수 있는 모관침윤 트랜치공법이 있다(김병욱, 1997).

본 연구에서는 토양정화법의 오염물질 처리 과정과 능력을 분석하고 현장 적용성을 판단하기 위해 토양정화법

1) 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

2) 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

3) 정회원, 토우건설주식회사 대표이사

4) 정회원, Professor, Department of Civil Engineering, Southern Illinois University at Carbondale

5) 정회원, RA, Department Civil Engineering, Southern Illinois University at Carbondale

† 고문, 충북대학교 명예교수(E-mail : bwshin@chungbuk.ac.kr)

이 적용된 현장의 유입수와 유출수의 수질을 비교하였다.

2. 이론적 배경

2.1 토양정화

토양정화법은 일반적으로 오염물질 처리반응조를 하부에 위치시키고, 반응조 상부를 토양으로 덮은 후에 토양층 위에 잔디를 식재한다. 토양지표면 아래 약 1m까지는 식물, 동물, 미생물등과 같은 생물체들이 상호의존관계를 유지하면서 살아가고 있다. 이러한 토양층에 오염물이 유입될 경우에는 오염물이 토양생물체의 영양소가 되어 분해·제거된다. 아래의 표 1과 같이 토양의 1ml 속에는 천만 단위부터 수억 단위의 미생물이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다.

토양층내에는 미생물뿐만 아니라 원생동물, 식물의 뿌리 등이 상호 의존관계를 유지하며 특히 원생동물중에 지렁이는 오니를 좋아하여 매일 자신 체중의 0.8배, 최대 1.2배 만큼의 오니를 자기 몸속으로 통과시켜 분해하는 능력을 갖고 있어 반응조내에 오니 발생량을 저감시키는 역할을 할 수 있다. 한편, 대장균과 같은 하수내에 유해세균은 토양미생물과 상호 적대관계가 존재하여 토양미생물의 먹

이가 되어 제거가 가능하고, 토양미생물은 원생동물의 먹이가 되며 이 원생동물은 지렁이의 영양원이 된다.

또한, 토양층의 온도, 습도, PH등의 조건이 맞춰지면 토양층 내의 토양미생물은 자라고 번식하여 유입 수질의 이상 현상 또는 공기공급 장치의 고장으로 토양층 하부에 위치한 반응조내의 미생물이 사멸했을 때 토양미생물의 서식처인 토양층으로부터 미생물이 반응조내로 공급되어 토양층이 자연적인 미생물 배양조 역할을 담당하는 우수한 효과가 있다. 한편, 반응조에서 발생하는 악취는 상부의 토양층을 통과할 때 토양의 입자표면에 흡착되고 토양미생물에 의한 산화분해와 토양성분과의 화학반응 등에 의해 다른 형태의 무취의 물질로 전환되어 처리장 주변의 악취를 방지할 수 있으며, 토양층 상부에 잔디를 식재하여 토양 미생물과 함께 오염물질의 정화에 보조기능을 발휘하여 타 공법에 비해 오염물질 처리효율을 향상시킬 수 있다.

2.1.1 토양피복형 접촉산화공법

그림 1과 같이 토양피복형 접촉산화공법의 주요 공정은 침전분리조, 접촉폭기조, 침전조, 제2접촉폭기조, 접촉여과조, 방류조로 구성되어 있으며, 각 조의 상부는 토양으로 덮고 그 위에 잔디를 식재한다. 탈취능력이 뛰어난 토양이 시설 전체에 피복되어 있기 때문에 위생적이고, 악취는 토양내에서 흡착제거되고 인위적인 미생물 공급없이도 기존 시설에 비해 처리효율이 우수하게 나타난다(김정용 등, 2001). 토양피복형 접촉산화공법은 시설물의 상부를 토양과 식물로 덮는 것은 모관침윤 트렌치공법과 같으나, 처리기간과 부지면적을 줄이기 위하여 트렌치 대신에 호기성 반응조를 설치하여 공기를 인위적으로 공급하고 있다(이용운 등, 2002).

2.1.2 모관침윤 트렌치공법

모관침윤 트렌치 공법은 피복토양의 호기성 조건을 유지하여 토양내 미생물에 의한 폐수내 유기물 등의 오염물

표 1. 대상 준설토의 물리적 특성

미생물	균수/g 토양	생체량/ha
세균	6×10^8	10,000kg
곰팡이	6×10^5	10,000kg
소동물	수량/ 1 토양	생체량/ha
원생동물	15×10^8	370kg
중동물	수량/ 1 토양	생체량/ha
선충	5×10^4	50kg
땅벼룩	2×10^2	6kg
응애	150	4kg
애지렁이	20	15kg
지렁이	2	4,000kg

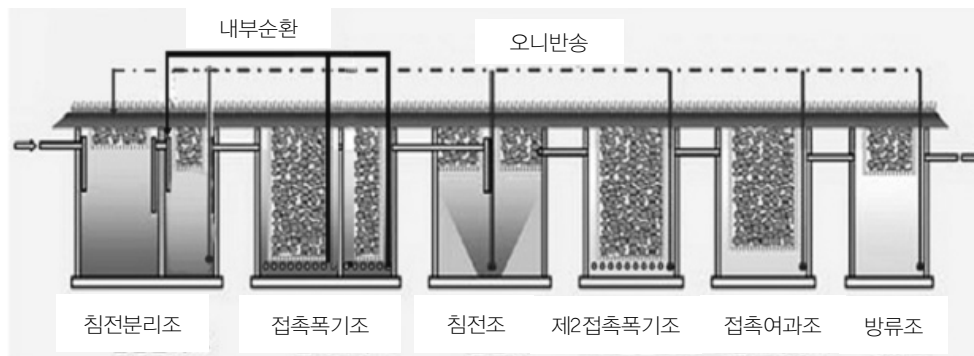


그림 1. 토양피복형 접촉산화공법 처리 조감도

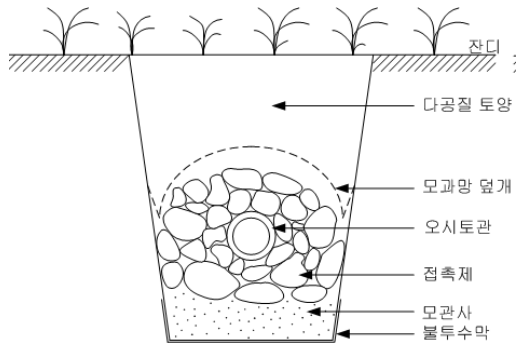


그림 2. 모관침윤 트랜치로부터 침윤(신방웅 등, 2002)

질 분해속도 증가를 목적으로 지표면 아래 얇은 부분(약 30cm)에 아래의 그림 2와 같이 가늘고 긴 도관(직경 약 10cm)을 수평으로 매설하여 오·하수 및 폐수를 투입하고 도관의 이음부를 통과한 오·폐수가 토양의 공극사이를 침투하는 과정에서 처리되는 공법이다.

모관침윤트렌치 공법은 유입수가 자연 유하식으로 흐르기 때문에 에너지가 절약되고, 유지관리가 용이하며(김병욱, 1997), 시설물내의 미생물과 시설물 상부층을 덮고 있는 토양과 식물에 의해 유기물, 질소 및 인이 제거되는 자연 친화형 공법으로 유지관리가 용이하기 때문에 농촌지역의 분산된 마을이나 도시 하수종말처리장의 유입이 불가능한 지역 등에 적용 가능한 공법이다.

2.2 침투이론과 모세관현상

흙은 간극이 서로 연결되어 있어 간극을 통해 물이 흐를 수 있으며 대부분의 흙에서는 물이 흐르는 속도가 대단히 느리므로 층류로 간주 된다. 따라서 층류에서 물의 침투속도는 동수경사에 비례하여 Darcy의 법칙이 적용된다.

흙속의 침투류는 식 (1) 및 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 v_x 는 물의 수평방향 속도, v_y 는 물의 수직방향 속도를 나타낸다.

$$v_z dx + v_x dz = v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz + v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{\partial v_x}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

물의 침투속도는 Darcy의 공식에 의해 식 (3)과 같이 속도 v 는 투수계수 k 와 동수경사 i 의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$v = k \cdot i \quad (3)$$

z , x 방향의 동수경사 i_z , i_x 는 식 (4)와 같다.

$$i_z = -\frac{\partial h}{\partial z}, \quad i_x = -\frac{\partial h}{\partial x} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)로부터 식 (5)와 같이 정리할 수 있으며, 이를 식 (2)에 대입하여 정리하면 식 (6)과 같다.

$$\therefore v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \quad v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0 \quad (6)$$

x , y , z 방향의 투수계수가 다를 경우 k_x , k_y , k_z 는 식(7)과 같다.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (7)$$

여기서 흙 속의 동수두 h 를 알면 침투유량을 구할 수 있으며, 흙 속의 물은 작용하는 압력에 의해서 흐름이 생기고, 실용적으로 여과하여 정수를 만들 수 있다(신방웅, 2001).

자유 수면에 작은 내경의 유리관을 세웠다고 하면, 자유수면으로부터 유리관 속으로 h_c 만큼 물이 상승하는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 이와 같은 물의 상승 현상은 유리관과 물 사이의 부착력과 물의 표면장력 때문인 것으로 알려져 있다. 자유수면 아래에 있는 물은 압축을 받고 있는 반면, 모세관 속에 보관되어 있는 물은 인력을 받는다. 이러한 흙 속의 물은 작용하는 압력에 의해서 흐름이 생기고 실용적으로 여과하여 정수를 만들 수 있다. 모세관현상은 실제로 자연 상태에서 발생되고 있다. 그러나 자연 상태에 있는 흙은 간극으로 이루어진 관망을 가지고 있으나 유리관의 경우와는 많이 다르다. 즉 관의 모양이나 크기가 불규칙할 뿐만 아니라 관이 구불구불하고, 또 관경이 좁아졌다 넓어졌다 하기 때문에 지반 내에서의 모관현상은 대단히 복잡하다. 그러나 이러한 간극으로의 모관상승도 앞에서 설명한 유리관의 모관상승과 원리는 동일하므로 흙에 있어서는 유효경의 1/5를 모관의 직경으로 가정하여 개략적인 모세관 상승고를 구할 수 있으며, 이러한 모세관현상으로 표면장력에 의해 흡착된 물은 모관상승고까지 연속적으로 연결 되어 하·오수 및 폐수를 정화시킬 수 있다.

3. 수질시험

토양정화법이 적용된 서중 하수종말처리장을 비롯한 방죽처리장, 충남 계룡산 국립공원 동학사 구주차장 화장실 오수처리시설의 유입수와 유출수 수질을 비교·분석하였다. BOD, COD, SS, T-N, T-P의 항목에 대하여 수질오염 공정시험법으로 수질을 측정하였다.

BOD의 경우 시료를 20°C에서 5일간 저장하여 두었음 때 시료중의 호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의하여

소비되는 용존산소의 양으로부터 측정하였으며, COD는 시료를 황산산성으로 하여 과망간산칼륨일정과량을 넣고 30분간 수용액에서 가열반응 시킨 다음 소비된 과망간산칼륨량으로 부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하였다. SS는 미리 무게를 단 유리섬유 여지(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과전·후의 유리섬유 여지의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하는 원리로 측정하였고, T-N은 시료 중 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재하에 120℃에서 유기물과 함께 분해하여 질산이온으로 산화시킨 다음 산성에서 자외부 흡광도를 측정하여 질소를 정량하는 방법인 자외선흡광광도법으로 측정하였다. T-P는 시료중의 유기물을 산화 분해하여 모든 인 화합물을 인산염(PO4) 형태로 변화시킨 다음 인산염을 아스코르빈산환원 흡광광도법으로 정량하여 농도를 구하는 방법인 아스코르빈산환원법으로 측정하였다(환경부, 1995).

3.1 서중 하수종말처리장

서중 하수종말 처리장은 경기도 양평군 서중면 문호리 84번지에 위치하며 부지면적은 11,170m²이며 시설용량은 900m³/day로 건설되었다. 처리방법은 토양피복형 접촉산화 공법으로 스크린조, 침전분리조 1, 2실, 접촉폭기조 1, 2실, 침전조, 제 2접촉폭기조, 자연여과형 접촉여과조, 방류조로 구성되어 있다. 각 공정별 역할을 살펴보면 스크린조는 오수량의 협잡물과 고형물을 제거하며, 침전분리조는 오수로

부터 협잡물, 고형물을 침전시켜 일정기간 저류해 두는 역할을 하고 여기서 SS의 40~60%와 BOD의 20~40%를 제거할 수 있다. 접촉폭기조는 침전분리조에서 침전되지 않은 유기물을 산소공급을 통해 호기성 미생물로 하여금 분해시키고, 폭기 장치를 설치하여 오수를 균등하게 교반하여 용존산소가 항상 1mg/l 정도로 유지할 수 있도록 충분한 산소를 공급하여 박리오니를 최종 침전분리조로 이송하는 기능을 한다. 침전조로 유입된 처리수의 탈리 오니 및 슬러지 등이 침전되면 침전 오니는 슬러지 반송용 공기 이송장치에 의해 침전분리조로 반송되어 탈질화를 유도한다. 제 2접촉폭기조는 침전조에서 분리된 상등수가 2차 폭기 과정을 거치면서 혐기, 호기를 반복하여 유기물 제거 및 질소, 인 제거효율을 높인다. 자연여과형 접촉여과조에서는 유입된 처리수 중 남아있는 미분해 잔류 유기물의 최종 생물학적 분해가 이루어지며 본 조에서 무산소과정을 거쳐 유동상의 생물막에 의해 여과 처리되어 방류조로 이송된다. 방류조는 수처리공정이 끝난 후 처리수를 배출하기 위한 저류조이다.

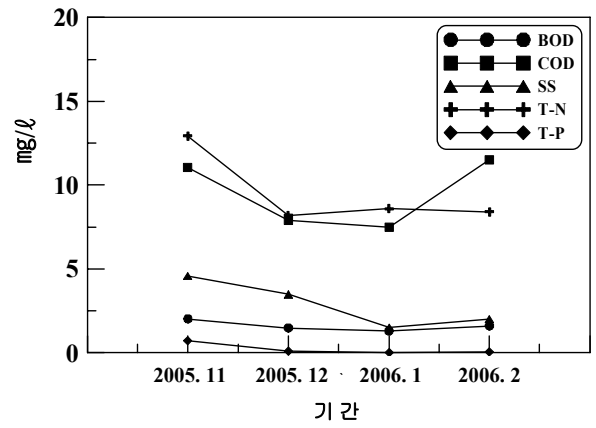
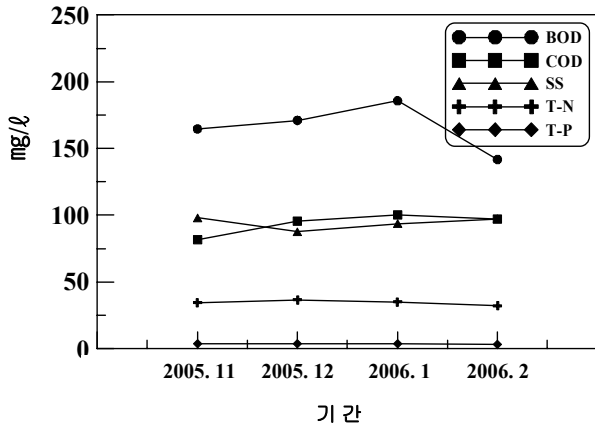
아래의 표 2의 수질검사 항목은 모두 수질오염공정 시험 방법으로 측정하였으며, 토양피복형 접촉산화 공법으로 설치된 서중 하수종말처리장의 유입수와 유출수를 4개월 동안 측정하여 분석하였다. 또한 분석자료 중 T-N, T-P 유출수 수질은 표 3와 같이 하수종말처리시설 방류수 수질기준에 맞게 내부순환으로 조정하였다. 그림 3과 같이 토양피복형 접촉산화 공법은 일정한 처리 효율을 나타내고 있으며, 이는 하수종말처리시설 방류수 수질기준을 만족하고 있다.

표 2. 서중 하수종말처리장 수질분석(토양피복형 접촉산화 공법)

기간	구분	유입수(mg/l)					유출수(mg/l)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
2005. 11. 22 ~ 11. 30	max	217.7	113.6	162.0	49.9	5.80	3.0	14.9	14.0	18.5	2.90
	min	81.5	48.1	34.0	20.1	2.40	0.7	6.6	1.0	9.5	0.00
	average	164.63	81.81	98.00	34.43	3.98	2.02	11.06	4.58	12.93	0.70
2005. 12. 01 ~ 12. 31	max	250.8	163.8	178.0	52.9	4.90	4.2	11.6	7.8	11.3	0.20
	min	76.2	49.3	26.0	20.5	2.60	0.4	5.6	0.7	5.1	0.00
	average	171.05	95.45	87.55	36.49	3.78	1.48	7.88	3.48	8.20	0.08
2006. 01. 01 ~ 01. 31	max	283.3	153.6	177.0	44.9	5.60	2.4	10.3	2.6	11.9	0.06
	min	109.5	57.6	35.0	23.2	2.40	0.2	4.7	0.6	6.4	0.00
	average	185.7	100.2	93.7	35.1	3.9	1.3	7.5	1.5	8.6	0.02
2006. 02. 01 ~ 02. 22	max	220.5	159.2	420.0	40.0	5.50	2.5	11.1	4.4	11.6	0.10
	min	62.3	61.8	24.0	22.2	2.20	0.8	6.6	0.6	6.0	0.00
	average	141.7	97.2	97.4	32.1	3.3	1.6	11.5	2.0	8.4	0.04

표 3. 공공하수처리시설의 방류수수질기준(환경부, 2008)

구분	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	SS(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	대장균수(개/ml)
특정지역기준	10 이하	40 이하	10 이하	20 이하	2 이하	3,000이하 (1,000이하)
기타지역기준	20 이하	40 이하	20 이하	60 이하	8 이하	



(a) 유입수

(b) 유출수

그림 3. 서중 하수종말처리장의 유입수와 유출수 비교

표 4. 2003년 방죽처리장(토양피복형 접촉산화 공법)

구 분	유 입 수							유 출 수						
	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	T-N (ppm)	T-P (ppm)	대장균 (균수)	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	T-N (ppm)	T-P (ppm)	대장균 (균수)
3월	7.2	49	43.8	61	19.206	1.531	19500	7.2	2.1	4.7	4.9	17.342	0.876	92
4월	7.1	94.8	51.4	90	30.144	2.936	18100	7.1	2	6.6	3.9	15.649	1.458	1100
5월	7.2	69	40.8	104.3	15.683	11.526	63250	7.2	2.1	4.4	2.2	11.696	0.829	769
6월	7	51.8	43.5	61.5	16.441	2.013	17000	7	2.6	3.5	2.2	12.675	1.746	850
반기평균	7.1	66.2	44.9	79.2	20.369	2.002	29463	7.1	2.2	4.8	3.3	14.341	1.227	700
7월	7	44.4	41.1	48.5	13.454	1.49	9300	7.1	2	3.1	2.3	9.734	1.108	340
8월	7.1	48.7	57.7	53	23.493	2.546	18500	7.1	2.6	3.9	2.3	14.443	1.507	350
9월	7.2	63.1	71.8	68.5	26.738	2.602	25500	7.2	1.8	3.3	2	16.783	1.332	410
10월	7.1	61.3	39.8	107	19.375	1.483	199500	7.2	1.4	2.8	1.1	12.796	0.905	155
11월	7.1	59	44.7	69.5	26.156	2.205	98000	7.1	1.9	2.8	1.7	16.32	1.196	290
12월	7.2	75.1	59.3	75	28.151	2.497	42500	7.1	2.4	3.2	2.1	14.623	1.49	370
연평균	7.1	61.6	49.4	73.8	21.384	2.089	51115	7.1	2.1	3.3	2.5	14.206	1.245	472

표 5. 2004년 방죽처리장(토양피복형 접촉산화 공법)

구분	유 입 수							유 출 수						
	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	T-N (ppm)	T-P (ppm)	대장균 (균수)	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	T-N (ppm)	T-P (ppm)	대장균 (균수)
1월	6.9	60.5	45.5	81	31.903	2.933	50500	7	2.5	3.3	3	15.671	1.118	315
2월	7	46.2	34.5	40.5	33.439	2.556	33000	7.1	2.1	3.6	1.3	13.544	1.069	210
3월	7	16.9	14.9	21	18.226	1.577	3350	7.1	1.6	3.6	1.7	16.522	0.946	41
4월	7	44.1	36.4	41.3	30.507	2.861	19000	7.2	2.8	3.1	2.8	14.729	1.708	155
5월	6.9	29.3	26.1	27.4	23.8	2.514	10250	6.8	1.3	2.9	4.3	16.937	1.704	100
6월	6.9	26.8	24.1	27.8	15.504	1.889	6300	7	1.9	3.6	2.1	12.346	1.169	48
반기평균	7	37.3	30.3	39.8	25.563	2.368	20400	7	2	3.4	2.5	14.958	1.286	145
7월	7	31.8	32.4	36.8	15.892	2.456	5635	6.9	2.2	3.6	1.5	10.983	1.999	141
8월	7	35.2	32.8	44.3	16.245	1.901	2585	6.9	2.3	3.4	2.5	8.474	1.438	175
9월	7	36.9	37.6	36	13.231	2.146	3820	6.9	2.9	4.3	1.8	10.58	1.277	37
10월	7	31.5	30.7	28.8	11.829	1.941	7300	7	1.7	4.4	1.3	10.08	1.221	27
11월	7.1	24.2	28	26.5	11.622	1.458	14975	7	1.7	4	1.5	8.222	0.88	181
12월	7.1	32.3	32.5	37	10.79	2.594	16375	7	1.2	3.5	3.1	8.666	1.31	260
연평균	7	34.6	31.3	37.4	19.416	2.236	14424	7	2	3.6	2.2	12.23	1.32	141

3.2 방죽처리장

서중하수종말 처리장과 같이 토양정화법 중 토양피복형 접촉산화 공법이 적용된 유입수와 유출수를 2년간 분석하여 시간의 경과에 따른 처리효율의 변화를 파악하였으며, 분석자료 중 T-N, T-P 유출수 수질은 기준치에 맞게 내부순환으로 조정하였다.

표 4, 5와 같이 시간이 경과하여도 토양피복형 접촉산화

공법의 하수처리 효율은 커다란 변화 없이 일정하였고, 그림 4와 같이 하수종말처리시설 방류수 수질기준을 만족하였다. 또한 BOD, COD, SS에 대하여 2003년에 비해 2004년에 유입수의 수질이 나뉘었으나, 유입수의 수질에 관계없이 수질기준에 맞는 일정한 처리효율을 보이고 있다.

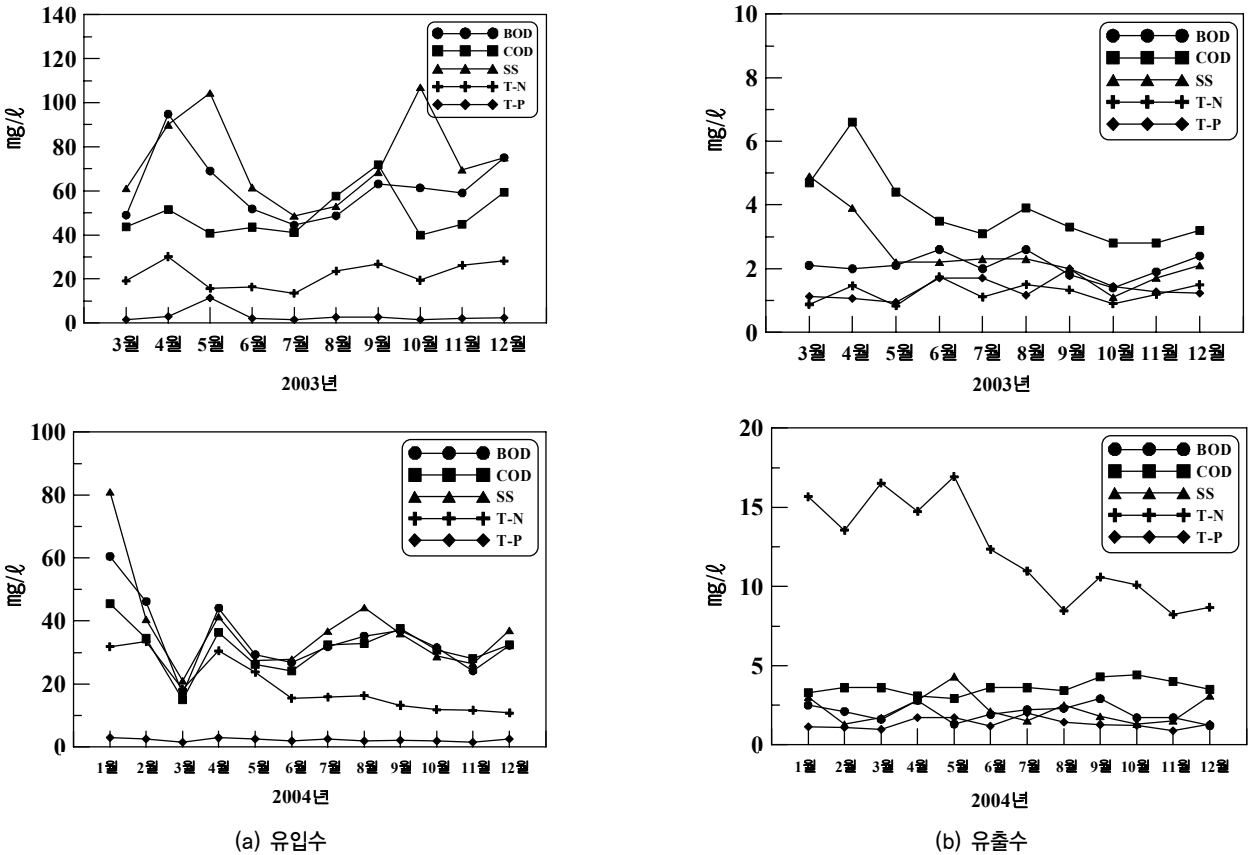


그림 4. 2003, 2004년 방죽처리장의 유입수와 유출수 비교

표 6. 충남 계룡산 국립공원 동학사 구주차장 화장실 오수처리시설 수질 분석표

구분	유입수			1차 처리수			2차 처리수			
	BOD (ppm)	SS (ppm)	대장균 (군수)	BOD (ppm)	SS (ppm)	대장균 (군수)	BOD (ppm)	SS (ppm)	대장균 (군수)	
평균	279	70	13,085	173	44	665	3.2	17	3.1	
1998. 6	6/2	390	156	4,000	253	93	200	5	19	ND
	6/17	495	67	17,000	260	23	1100	*	*	*
	6/21	425	60	3,500	290	48	700	3.2	26	2
1998. 7	7/7	180	26	28,000	110	23	2,700	4.5	20	2
	7/21	120	23	170	50	16	80	3	24	9
1998. 8	8/4	168	41	24,000	120	41	1,100	4.6	29	11
	8/18	440	80	35,000	280	51	280	4.2	27	2
	8/31	185	46	24,000	105	45	1,100	3.4	17	9
1998. 10	10/19	212	62	17,000	130	41	400	4.2	3.4	ND
	11/9	225	76	1,600	153	61	280	3.3	4.2	ND
1998. 11	11/30	280	124	2,400	180	44	28	6.2	7.2	ND
	12/15	230	85	350	145	45	20	6.4	10.4	ND

3.3 모관침윤트렌치공법

모관침윤트렌치 공법이 적용된 시설의 수질을 충남대학교 공과대학 부설 산업기술 연구소에서 분석한 표이다. 표 6에 나타난 바와 같이 모관침윤트렌치 공법은 BOD, SS 뿐만아니라 대장균을 처리하는데 효과적으로 나타났으며 오수처리 기준을 만족하였다. 표 6의 1차 처리수는 모관트렌치 공법의 부패조 유출수를 나타낸 것이고 2차 처리수는 트렌치의 검수조 유출수를 나타낸 것이다.

4. 수질시험 분석 및 고찰

4.1 BOD와 COD 분석

그림 5는 년도별 유입수와 유출수의 BOD, COD를 측정하여 비교하였다. 모관침윤 트렌치 공법이 적용된 1998년의 유입수 BOD는 평균 279mg/l, 유출수의 BOD는 평균 3.2mg/l로 측정되어 제거율은 98.9%로 높은 제거율을 나타내고 있다. 토양피복형 접촉산화 공법이 적용된 2003년~2006년의 유입수와 유출수의 BOD, COD를 살펴보면 2005, 2006년의 유입수 BOD, COD의 측정값은 2003, 2004보다 높게 측정되었으나 제거율은 89%~99%로 하수종말처리장의 방류수 수질기준을 만족하는 일정한 제거율을 나타내고 있다.

토양피복형 접촉산화 공법의 처리과정 중 침전분리조는 혐기성 반응조로 유기물(BOD)을 주로 분해하는 역할을 하여, BOD를 기준에 맞게 크게 감소시키고, 유입하수에 포함된 침전성 고형물뿐만 아니라 침전분리조 다음의 각 조에서 반송되는 오니(sludge)를 고액분리시키고, 침전분리조 내에 침전된 고형물은 조내에서 서서히 분해되어 용존 상태로 전환된다. 또한 토양피복형 접촉산화 공법에서는 침전분리조(혐기, 무산소조)를 전반부에 설치하고 접촉산화조를 후반부에 설치하여 유입부하를 안정화 시킨다.

4.2 SS분석

그림 6과 같이 년도별 유입수와 유출수의 SS 측정값을

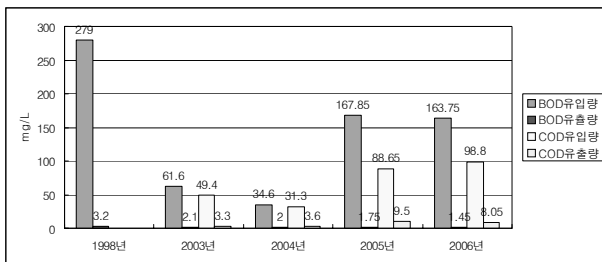


그림 5. 년도별 유입수와 유출수의 BOD, COD 비교

보면, 1998년의 SS제거율은 75%로 2003년~2006년의 SS 제거율인 94% ~ 98%보다 낮게 나타났다. 이는 토양피복형 접촉산화 공법의 SS제거효과가 모관침윤 트렌치 공법보다 우수하기 때문인 것으로 판단되며, 토양피복형 접촉산화 공법의 자연여과조는 제 2접촉포기조의 처리수내에 포함된 부유물질(SS)을 여과 제거하는 효과가 뛰어나고, 중력식 침전조를 제일 후단에 두는 다른 공법들에 비해 토양피복형 접촉산화공법은 세계최초로 개발된 Bio Rock을 충진여재(Media)로 사용하여 BOD, SS 및 T-N, T-P의 처리효율이 타 공법에 비해 상대적으로 우수하게 나타나고 있다. 또한 여과된 SS에 의한 자연여과조의 막힘현상은 아직 발생한 적이 없는데, 그 이유는 상부에 위치한 토양층에서 서식하는 토양생물이 부유물질을 먹이로 이용하기 때문이다.

4.3 T-N과 T-P의 분석

1998년에는 T-N, T-P의 수질기준이 없었기 때문에 T-N, T-P의 측정값은 얻을 수 없었으며, 그림 7과 같이 2005, 2006년 유입수의 T-N량은 2003, 2004년에 비해 약 14mg/l 증가했지만, 제거된 양은 더 증가한 것을 알 수 있었다. T-P의 제거율은 비슷한 것으로 보여 지고 있다.

토양피복형 접촉산화 공법에서 규제강화에 따른 처리효율은 내부 반송량을 조절함에 따라 별도의 시설 없이 해결할 수 있는 장점이 있다. 즉, 질소의 방류수 수질기준이 강화되면 오니반송에 의한 질소의 최종 제거만으로는 부족하기 때문에 토양피복형 접촉산화공정의 제 2포기조 배출수의 일부를 침전분리조로 반송시켜(내부순환방법) 처리한

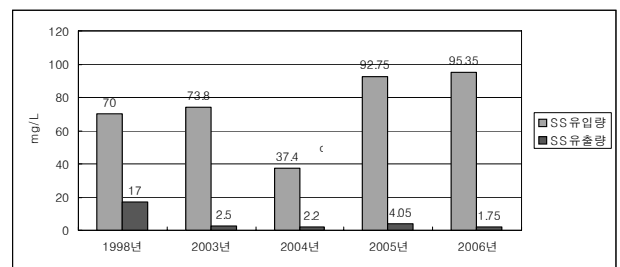


그림 6. 년도별 유입수와 유출수의 SS 비교

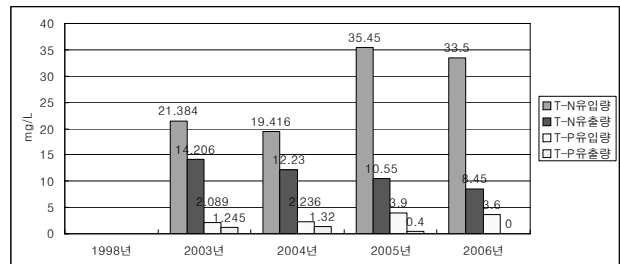


그림 7. 년도별 유입수와 유출수의 T-N, T-P 비교

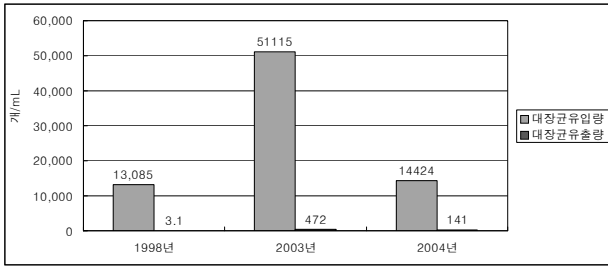


그림 8. 연도별 유입수와 유출수의 대장균 수 비교

다. 한편, 토양피복형 접촉산화공법으로 기존에 설치한 하수처리장의 인(P) 처리 효율을 높이기 위한 방안으로서 제 1, 2 접촉산화조의 공기공급을 연속이 아닌 간헐적으로 주입하는 방법이 연구 중에 있다. 즉, 제 1, 2 접촉산화조 내의 환경이 혐기와 호기 상태로 반복되면 미생물에 의한 인 섭취량은 증가되기 때문에 인의 처리효율이 높아질 수 있기 때문이다.

4.4 대장균분석

대장균군은 인간 및 동물에서 배출된 분뇨 등에 의해 발생되고 환경·보건측면에서 병원성균의 지표로서 이용되고 있으며, 하수종말처리시설 방류수 수질기준은 수질환경보전법에 의한 청정지역, 상수원 보호구역, 취수시설 상류 15km 이내 지역을 제외하고는 대장균군수 3000개/ml 이하의 기준을 적용한다. 그림 8은 1998년과 2003, 2004년의 유입수와 유출수의 대장균 수를 나타내고 있으며, 각 연도별 대장균 제거율은 99%로 모관침윤 트랜치 공법과 토양피복 접촉산화 공법 모두 대장균 제거 효과가 우수한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 토양정화법의 오염물질 처리 과정과 능력을 분석하고 현장 적용성을 판단하기 위해 토양정화법이 적용된 서중하수종말처리장과 방죽처리장 그리고 충남 계룡산 국립공원 동화사 구주차장 화장실 오수처리시설의 유입수와 유출수의 수질을 각각 2005. 11~2006. 2 개월간, 2003년 과 2004년 2년간, 1998. 6~1998. 12 6개월간 공학적으로 비교·분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 토양정화법은 1월부터 12월 까지 매월 계절과 관계없는 일정한 처리 효율을 나타내고 있으며, 내부 반송량을 조절함에 따라 별도의 시설 없이 처리 효율을 조절할 수 있었다.

- (2) 지역에 관계없이 BOD, COD, SS, 대장균 수의 처리효율은 약 90~100%, T-N, T-P의 처리효율은 60~80%로 방류수 수질 기준에 맞는 일정한 처리 효율을 나타내고 있다.
- (3) 유입수와 유출수의 수질 검사를 분석한 결과 시간이 경과하여도 오염물질 처리 능력은 크게 변화하지 않았다.
- (4) BOD, COD, SS, T-N, T-P, 대장균군수의 6가지 항목에 대하여 토양정화법이 적용된 방류수는 공공하수처리시설의 방류수 수질기준을 만족하고 있다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 충북대학교 학술 연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 김병욱(1997), 소규모 오수처리를 위한 트랜치 공정의 개선, 박사학위논문, 강원대학교, pp. 9~10.
2. 김정용, 신방용(2001), 토양미생물 서식처로서의 토양과 정화기능, 한국지반환경공학회지, 제2권 제3호, 한국지반환경공학회, pp. 63~67.
3. 김정용, 차규석(2000), 토양정화법, 한국지반환경공학회 2000년도 창립기념 학술발표논문집, 지반환경공학회, pp. 91~98.
4. 신방용, 김정용, 이봉직, 강중범(2002), 토양에 의한 오수정화법, 제 1회 한·일 토양정화법 세미나, 한국지반환경공학회, pp. 48~55.
5. 신방용(2001), 토질역학, 구미서관, pp. 111~140.
6. 이용운, 김정용(2002), 국내 토양정화법의 연구와 응용, 제 1회 한·일 토양정화법 세미나, 한국지반환경공학회, pp. 25~32.
7. 환경부(1995), 수질오염공정시험법 pp. 102~185.
8. 환경부(2008), 하수도법 시행규칙 제3조 제1항 제1호.
9. Anderson, G. K., Kasapgil, B. and Ince, O.(1994), Comparison of porous and non-porous media in upflow anaerobic filters when treating dairy wastewater, Water. Res., Vol. 28, No. 7, pp. 1619~1624.
10. Hong, Jun-seok(2004), etc., Change of Microbial Community on Ozonation of Sewage Sludge to Reduce Excess Sludge Production, Journal of the Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 18, No. 1, pp. 59~65.
11. Kern-Jespersen, J.P. and Henze, M.(1993), Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions, Water Res., 27(4), pp. 617~624.
12. Kuba, T.M., Loosdrecht, C.M., and Heijnen, J.J.(1996), phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in two sludge system, Water Res., 30(7), pp. 1702~1710.
13. Oskar Wanner etc(2005), "Effect of Heat Recovery from Raw Wastewater on Nitrification and Nitrogen Removal in Activated Sludge Plants", Water Research 39, pp. 4725~4734.

(접수일: 2008. 3. 22 심사일: 2008. 4. 18 심사완료일: 2008. 5. 15)