

폐비닐 재활용 여재를 이용한 소규모 오수종말처리장의 효율검증

Efficiency Verification of Small-Scale Sewage Treatment Plant Using Discussed Vinyl as Biofilm Media

임재명* 김병욱** 구본수***
Rim, Jay-Myoung* Kim, Byoung-Ug** Koo, Bon-Soo***

ABSTRACT

This study was conducted to use disused vinyl as biofilm media for biological sewage treatment. Efficiency verification was performed on laboratory and on-site plant. In laboratory study, total biochemical oxygen demand(TBOD) removal rate was ranged 94.8~97 % in each hydraulic retention time(HRT), 12, 16, 20, 24 hr, respectively. At that time, filling rate was 50 %. And effluent TBOD concentration was low ranged 3.64~6.28 mg/L. In on-site plant, TBOD removal rate was ranged 88.2~96.8 % and effluent TBOD concentration was 4.8~17.7mg/L. This concentration was lower than design effluent concentration, 30mg/L.

Total kjeldhal nitrogen(TKN) removal efficiency was ranged 56.8~90.98%. This was resulted higher than Lab. scale treatment efficiency.

키워드 : 생물막, 여재, 생물학적 처리

Keywords : *Biofilm, Media, Biological Treatment*

1. 서 론

농촌의 소득증대에 큰 역할을 하고 있는 농업용 비닐은 일정기간 사용 후 인근 주변에 매립되거나 방치되고 있으며, 이러한 폐비닐류로 인해 자연환경 및 생활환경이 악화되고 있다. 정부에서는 한국 자원재생공사를 통하여 농촌 폐비닐 수거에 막대한 재원을 투입하는 등 다각적인 노력을 하고 있으나, 회수된 폐비닐

의 처리·처분에 있어 많은 어려움을 겪고 있다. 수거된 폐비닐은 소각 및 매립 그리고 재활용 등으로 처리될 수 있으나, 매립의 경우 폐비닐이 분해되기 위해서는 많은 기간이 소요되고, 소각시에는 대기오염 등 2차 오염의 문제가 발생하게 된다. 그러므로 소각이나 매립보다는 가능한 한 재활용하는 것이 바람직하지만, 폐비닐의 재활용 시 세척에 많은 인력과 비용이 소요되는 단점이 있다.

폐비닐의 재활용 시 발생하는 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 (합)동립소재에서는 폐비닐을 세척과정없이 폐비닐 표면의 미세한 흙 성분과 異物質 등이 포함된 상태에서 직접 炭火시켜 오수처리에 적합한 여재(일명:SWPP[®]여재)를 생산하였으며, 1998년 현재 약 250개소에 달하는 전국 각 시·군 오폐수처리장에서 본 여재를 설치·운영하고 있다. 그러나 현

강원대학교 환경·생물공학과 교수, 공학박사
* 강원대학교 대학원 환경·생물공학과 박사과정
** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정
이 연구의 일부는 1998년도 산·학·연 공동기술개발 지역혁신소시
스템 센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

재까지 본 여재를 이용하여 처리중인 현장처리시설에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 실험실연구와 현장처리시설의 연구를 병행하여 수행함으로써 처리효율 및 여재로 적용시의 타당성을 고찰하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험실 연구

(1) 시료의 성상

실험대상 시료는 춘천시 주공 3차 APT에서 발생하는 오수처리시설 유입수로서 생활하수와 분뇨가 혼합된 시료이며, 시간대별 농도차를 최소화하기 위하여 오전 09~10시 사이에 정기적으로 채취하여 이용하였다. 정화조를 거치지않은 시료의 부유물질(SS) 농도는 약 200~300 mg/L로서 일반 도시하수 보다 다소 높은 농도를 나타내었으며, 시료는 약 2시간 침전시킨 후 포기조로 주입되었다. Table 1에 실제 포기조로 유입되는 시료의 성상을 나타내었으며, SS의 경우 약 48~79 mg/L, TBOD 107~135 mg/L, TCOD_{Cr} 276~310 mg/L의 범위로 조사되었다. 유입수의 평균 TBOD/TCOD 비는 약 0.42로서 일반하수처리장 유입수 보다 다소 낮게 나타났는데 이는 분뇨 유입에 의한 것으로 사료된다.

Table 1. Characteristics of influent wastewater

Item	Range(mg/L)	Avg. Conc.(mg/L)
pH	7.1~7.6	7.3
SS	48~79	60
VSS	38~58	47
TBOD	107~135	122
SBOD	64~96	83
TCOD _{Cr}	276~310	290
SCOD _{Cr}	179~210	195
T-P	3.3~4.5	3.8
TKN	48~58	52

(2) 실험장치

실험실 연구를 수행하기 위하여 반응조 4set를 아크릴로 제작하였다. 반응조는 1차 침전조, 접촉산화조, 2차 침전조로 구성되었으며, 1, 2차 침전조의 체류시간은 약 2시간으로 유지하였다. 접촉산화조의 유효용적은 16.5 L이며, 내부에는 폐비닐 재활용 여재(SWPP^(TM))를 일반적인 접촉산화공정 설계시 현장에서 적용되는 방법인 반응조의 유효용량에 대한 충전여재의 결보기부피의 비로 산정하여 50% 충전하였다.

여재의 형태는 말굽형(∩)으로서 크기는 15×5×3cm이며, 횡방향으로 약 5cm간격을 두고 층을 쌓아 설치하였고, 여재의 충전율에 따른 실험부피는 1,430mL이다. 시료는 미량정량펌프(Masterflex Tubing Pump)를 이용하여 접촉산화조로 연속 주입하였으며, 공기주입과 혼합은 Blower Diffuser를 연결하여 이루어지도록 하였다. SWPP^(TM)여재는 긴 막대같은 모양을 하고 있으며, 표면은 미생물부착을 위하여 매우 거친 형태를 지니고 있다. 여재는 비표면적 200 m²/m³, 인장강도 약 170 kgf/cm², 굴곡강도 4.84 kgf/m²이며, 밀도는 1.47 g/cm³로 조사되었다.

(3) 실험방법

본 연구에서는 유입유량을 반응조별(R-1, R-2, R-3, R-4)로 각각 33.0 L/d, 24.8 L/d, 19.8 L/d, 16.5 L/d로 유지하였으며, 이에 따른 수리학적 체류시간은 각각 12 hr, 16 hr, 20 hr 그리고 24 hr이다. 유입시료는 1차 침전지에서 약 2시간 침전시켜 침전성 고형물을 제거시킨 후 미량정량펌프(Masterflex Tubing Pump)를 이용하여 접촉산화조로 주입하였으며, 2차 침전조를 거쳐 최종 유출되도록 하였다. 반응조내의 온도 및 DO에 따른 영향을 최소화하기 위하여 각 반응조내의 온도는 20±2 °C, DO는 5.0 mg/L 이상을 유지하였다. 실험에 사용된 SWPP^(TM)여재는 말굽형(∩)으로 층을 쌓아 단축설치로 하였으며, 폭기조의 폭기형태는 측면폭기법으로 하였다.

2.2 현장 연구

(1) 대상 처리시설

본 연구의 현장처리시설은 1996년에 준공된 “원주시 흥업면 매지리 오수처리장”을 대상으로 하였으며, 설계인자는 다음 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Design parameters of on-site facility

Inflow	1,200 m ³ /d
Influent conc.	BOD 200 mg/L, SS 122 mg/L
Effluent conc.	BOD 30 mg/L, SS 20 mg/L
Removal rate	85 %
Aeration-basin effective volume	800 m ³
BOD volumetric loading rate	0.3 kgBOD/m ³ /day
Media filling	55 %
Media volume	443.3 m ³
Media area	88,660 m ²
HRT	16 hrs

유입된 오수는 1차 침전조→스크린→유량조정조→ 접촉산화조→2차 침전조→활성탄여과조→소독조를 거쳐 최종 방류되도록 하였으나, 현재 처리과정중 활성탄 여과조는 처리효율이 양호하여 가동하지 않고 있으며, 탈수기는 미미한 슬러지 발생량으로 인해 간헐적으로 운전하고 있다.

(2) 실험방법

1) 실험기간

현장처리시설의 처리효율 검증은 1998년 6월 1일~7월 24일 까지 약 2개월간 수행되었다. 시료는 4~5일 간격으로 총 12회 채취하였으며, 시간대별에 따른 오차를 최소화하기 위해 오전 10시경에 채취하였다.

2) 채수위치

처리효율을 검증하기 위한 현장 처리시설의 시료채취 지점은 처리시설로 유입되는 유입맨홀, 폭기조 유입전 그리고 방류조에서 채취하였다.

2.3 분석방법

분석방법은 Standard Methods[1] 및 공정시험법[2]에 의하여 분석하였으며, BOD실험시 질산화에 의한 산소의 소모량을 억제하기 위하여 질산화 억제제(nitrification inhibitor formula 2533 : HACH Company)를 사용하였다.

3.1 유기물 제거

실험실연구와 현장처리시설의 전체적인 운전결과를 Table 3에 제시하였으며, 유기물 제거효율 및 유출수 농도를 Figure 1에 나타내었다. 충진을 50 %를 적용하고 체류시간을 12, 16, 20 그리고 24 hr으로 운전한 실험실 연구 결과 TBOD 제거율은 각 체류시간이 증가함에 따라 94.8~97.0 %를 나타내었다. 그리고 체류시간이 감소함에 따라 유출수의 TBOD농도는 3.64~6.28 mg/L의 범위를 보여 매우 좋은 유출수질을 나타내었다.

현장처리시설의 TBOD 제거율은 88.2~96.8 %로 조사되었으며, 최종유출수의 TBOD 농도는 4.8~17.7 mg/L로서 설계시 유출수 농도인 30 mg/L보다 낮게 나타났다. 현장처리시설의 처리능을 실험실연구와 비교하면 제거효율면에서는 비슷한 양상으로 나타났으나, 유출수 농도는 실험실연구에 비해 다소 높게 나타났다. 그리고 현장처리시설의 경우 6월 1일 체류시간 28.2 hr에서 포기조 Blower의 일시적 고장으로 인하여 유출수 농도는 17.7 mg/L로 높아졌으나, 그외 유출수 농도는 실험실연구에 비해 다소 높지만 대체적으로 안정적인 것으로 조사 되었다. 이는 접촉여재를 이용한 생물막 공정의 경우 부유증식공법에 비해 슬러지의 반송이 없이 다량의 미생물을 확보할 수 있으며, 온도의 변화나 부하의 변동에 대하여 대체능력이 강하기 때문이다.[3]

3. 결과 및 고찰

Table 3. Operation results of in this study.

ITEM	Media volume (m ³)	Media Area (m ²)	Specific surface area (m ² /m ³)	Influent(Avg.)				Effluent(Avg.)				Surface loading rate* (gBOD/m ² · day)	Volumetric loading rate** (kgBOD/m ³ · day)	
				Flowrate (L/d)	Volume (L)	TBOD (mg/L)	TCOD (mg/L)	TBOD (mg/L)	TBOD Rem.(%)	TCOD (mg/L)	TCOD Rem.(%)			
Lab.	R-1 (12hr)	0.00246	0.492	200	33	16.5	121.8	290.4	6.28	94.8	33.0	88.6	8.2	0.2436
	R-2 (16hr)				24.8				5.56	95.4	31.6	89.1	6.14	0.183
	R-3 (20hr)				19.8				4.32	96.4	30.2	89.6	4.9	0.146
	R-4 (24hr)				16.5				3.64	97.0	26.2	91.0	4.1	0.122
On-site	443.3	88,660	200	680~986	800	109~180	125~320	4.8~17.7	88.2~96.8	14~33	82.5~94.7	0.59~1.26	0.07~0.14	

주) *, **: 처리시설로 유입되는 초기농도가 아닌 실제 포기조로 유입되는 농도로서 산출함.

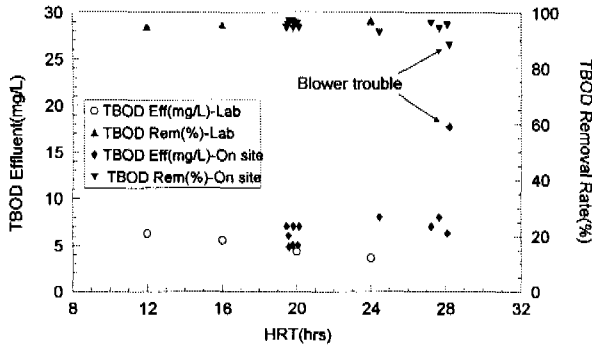


Figure 1. Effluent total BOD conc. and removal rate with hydraulic retention time(hrs).

수리학적 체류시간에 따른 BOD표면적부하율과 제거 효율을 Figure 2에 나타내었다. 실험실 연구의 경우

운전기간 동안 표면적 부하율은 수리학적 체류시간에 따라 4.1~8.2 gBOD/m²·day로 운전되었으며, 현장처리시설의 경우는 0.59~1.26 gBOD/m²·day 로서 매우 낮게 나타났다. 이는 현재 처리대상지역의 인구 약 4,000명 중 1,000여명이 인근 대학교 학생으로 구성되어 있고, 본 연구가 기말고사 및 방학기간 중에 수행된 것에 기인하는 것으로 판단되며, 따라서 개강시에는 실험실 연구에서의 범위를 나타낼 것으로 사료된다.

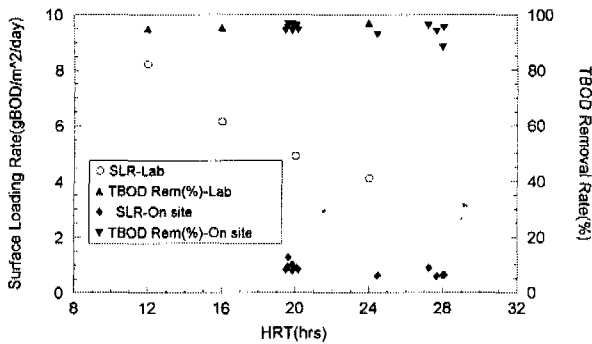


Figure 2. Surface loading rate and total BOD removal rate with hydraulic retention time(hrs).

수리학적 체류시간에 따른 BOD용적부하와 제거 효율을 Figure 3에 제시하였다. 실험실 연구의 경우 BOD용적부하는 수리학적 체류시간에 따라 0.122~0.2436 kgBOD/m³·day의 분포를 보였으며, 현장처리시설의 경우 0.07~0.14 kgBOD/m³·day로서 실험실 연구에서 얻어진 BOD용적부하와 비슷하거나 낮게 나타났으며, 이는 실제 포기조로 유입되는 농도 및 유입유량의 감소에 기인된다.

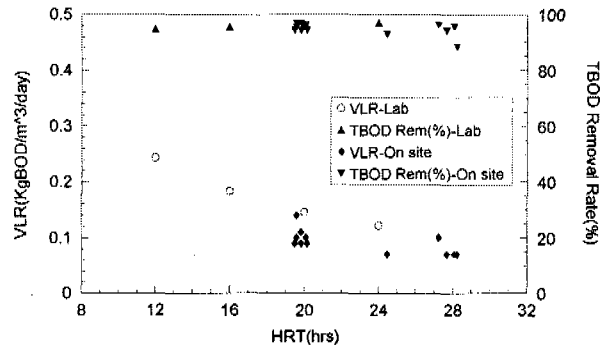


Figure 3. Volumetric loading rate of BOD and total BOD removal rate with hydraulic retention time(hrs).

3.2 영양염류 제거

영양염류에 대한 처리효율 분석결과를 Figure 4에 나타내었으며, 전체적인 운전결과는 Table 4에 제시하였다. 실험실 연구에서의 영양염류 제거효율은 TKN의 경우 수리학적 체류시간에 따라 44.0~61.0 %의 범위를 보였으나, 현장처리시설의 경우 56.8~90.98 %의 범위로 나타나 TKN제거효율은 현장처리시설이 월등히 나은 것으로 조사되었다. 이는 현장처리시설의 경우 공정의 증가 및 전체적인 수리학적 체류시간 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

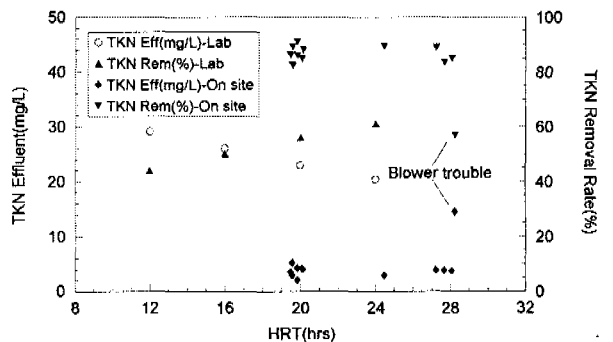


Figure 4. Effluent TKN conc. and removal rate with hydraulic retention time(hrs).

반면 T-P 제거효율은 실험실연구의 경우 수리학적 체류시간에 따라 26.0~42.0%의 범위를 보였으나, 현장처리시설의 경우 23.3~38.62%로서 실험실 연구와 비슷하거나 다소 낮은 제거효율을 보였다. 그러나 추가적인 T-P제거를 위해 현재 가동하지 않고 있는 활성탄 여과조를 가동할 경우 최종 유출되는 T-P농도는 매우 미미할 것으로 판단된다.

Table 4. Nutrients removal of in this study.

Reactor		ITEM	Influent(Avg.)		Effluent(Avg.)			
			TKN (mg/L)	T-P (mg/L)	TKN (mg/L)	TKN Rem(%)	T-P (mg/L)	T-P Rem(%)
Lab	R-1 (12hr)		52.0	3.8	29.1	44.0	2.81	26.0
	R-2 (16hr)				26.0	50.0	2.58	32.0
	R-3 (20hr)				22.9	56.0	2.39	37.0
	R-3 (20hr)				20.3	61.0	2.20	42.0
On-site			225~336	2.34~4.84	2.03~14.5	56.8~90.98	1.56~3.45	23.3~38.62

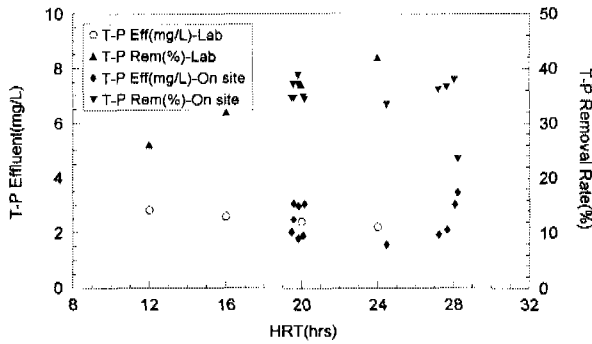


Figure 5. Effluent T-P conc. and removal rate with hydraulic retention time(hrs).

그리고 현장처리시설의 최종유출 NO₃⁻ 농도는 2.0~19.7 mg/L의 범위로서 부분적으로 질산화가 진행 되는 것으로 나타났다. 그러므로 현장처리시설의 전체적인 T-N 제거효율을 높이고자 할 경우 Anoxic 공정을 추가적으로 설치하여 탈질을 유도하거나, 기존의 활성탄여과조를 활용하면 매우 높은 T-N 제거 효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 호기성 침적형 생물막 공법은 탈리된 미생물과 유입수의 부유물에 의해 여재의 공극이 폐쇄될 우려가 있으나, [4][5] 본 연구기간 중에는 이러한 문제점은 발생 되지 않았으며 슬러지 발생량도 매우 미미한 것으로 나타났다.

4. 결 론

폐비닐 재활용여재(SWPP)의 처리효율을 검증하기

위하여 실험실 연구와 현장처리시설의 연구를 병행하여 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 총진을 50% 에서 체류시간을 12, 16, 20 그리고 24 hr으로 운전한 실험실 연구 결과 TBOD 제거율은 각 체류시간이 증가함에 따라 94.8~97.0 %를 나타내었다. 그리고 유출수의 TBOD농도는 3.64~6.28 mg/L의 범위로서 매우 낮음을 알 수 있었다.
2. 현장처리시설의 TBOD 제거효율은 88.2~96.8 %로 조사되었으며, 최종유출수의 TBOD 농도는 4.8~17.7 mg/L로서 설계시 유출수 농도인 30 mg/L보다 낮게 나타났다.
3. 현장처리시설의 TKN 제거효율은 56.8~90.98 %의 범위를 보여 실험실 연구에서의 제거효율 보다 월등히 높았으며, 이는 처리공정의 증가 및 전체적인 수리학적 체류시간 증가에 기인된다.
4. 폐비닐 재활용여재를 이용한 실험 및 분석결과 전체적으로 양호한 처리효율을 보였으며, 현장처리시설의 경우 현재 활용되고 있지 않는 활성탄여과조 공정을 가동할 경우 미처리된 유기물 및 영양염류 제거로 인해 최종 유출수의 수질은 매우 낮을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition, 1995.
- [2] 환경부. *공정시험방법*, 동화기술, 1998.
- [3] Kato, K. and Sekikawa, Y.. "Fixed Activated Sludge Process for Industrial Waste Treatment", *Proceeding 22nd Industrial Waste Conference, Purdue University*, 129, pp. 914-926, 1967.

- [4] Lida, Y. and Teranish, A.. "Nitrogen Removal from Municipal Wastewater by a Single Submerged Filter", *Journal of WPCF*, Vol. 56, No. 31, pp. 251-258, 1984.
- [5] Hemming, M. L. and Wheatly, D.. "Low-rate Biofiltration Systems Using Random Plastic Media", *Journal of WPCF*, Vol. 51, No. 1, pp. 54-68, 1979