

침적 생물막법에 의한 제지폐수처리에 관한 연구

이태호 · 은종극*

대구보건대학 보건환경과, * 대구보건대학 건강다이어트과

A Study on the Treatment of Paper Making Wastewater Using Submerged biological Film Process

Tae-Ho Lee · Jong-Geuk Eun*

Department of Health Environment, Daegu Health College

**Department of Health Diet, Daegu Health College*

Abstract

This study was carried out to get efficient of nutrient removal effects on the treatment of paper making wastewater using submerged biological film process. The concentration of average BOD at raw wastewater was 324 mg/l and COD was 435 mg/l. The average BOD of effluent was maintained 24.2 mg/l and average COD was 37 mg/l. The concentration of average T-N at raw wastewater was 16.5 mg/l and T-P was 1.2 mg/l. The average T-P of effluent was maintained 2.3 mg/l and average T-P was 0.08 mg/l. The concentration of average SS at influent wastewater was 263 mg/l. The average SS of effluent was maintained 28.2 mg/l. The result of this experiment was wastage sludge did generated and the removal efficiency of nutrients were kept equilibrium.

Key words : submerged biological film, paper making wastewater, nutrient removal

* Corresponding author E-mail : leeth@mail.dhc.ac.kr

I 서론

도시하수는 대부분 활성슬러지법으로 처리하여 왔으나 폐기물 매립장 침출수, 음식물류 폐기물 침출수, 축산폐수, 산업장 방류수 등이 병합처리 되거나 유기물 농도가 매우 낮은 우수나 하천수가 유입될 경우, 또는 겨울철 수온이 낮을 때 처리효율이 저하하여 하천의 목표수질을 유지하는 데 어려움이 많았다.

정부에서 수질오염총량제를 시행하여 단위유역의 목표수질을 달성하도록 개발을 제한하고, 배출농도와 배출부하량을 동시에 준수하도록 하며, 특히 런던협약에 의해 세계적으로 2012년 이후 해양투기가 금지됨으로써, 잉여슬러지 발생량이 적고, 유기물뿐만 아니라 질소, 인과 같은 영양염류를 제거하기 위한 3차 처리시설이 도입되면서 호기성 생물막 접촉법이 다양하게 연구되고 많은 처리장에 적용되고 있다.¹⁾

호기성 생물막 접촉법은 활성슬러지법에 비하여 운전이 용이하고, 화학적 처리나 분리막 처리와 조합할 경우 처리효율이 매우 높고, 운전모드를 조절함으로써 N, P제거가 가능하다. 또 충격부하에 대한 적응력이 강하며, DO농도를 높게 유지하여 폭기조에 적정량의 미생물을 확보할 수 있고, 동시에 폐슬러지 발생량이 거의 없으며, 제거율을 안정적으로 유지할 수 있다는 장점이 있다.^{2,3)}

그러나 호기성 생물막 접촉법은 폭기조 내의 모든 미생물을 부착시켜야 하고, 무기성 고형물질농도가 높은 하수를 처리할 수 없으며, 유기물농도가 높을 경우 미생물이 과다 증식되어 여재의 공극이 폐색되고 생물막이 탈리되어 처리수의 수질이 악화되는 문제점이 있다.

고체상 여재에 미생물을 부착시켜 폐수를

처리하는 생물막법은 1865년 Alexander Muller가 여과칼럼을 통한 폐수처리실험에서 유기물이 살아있는 미생물에 부착됨으로써 제거된다고 발표함으로써 시작되었다.

그 뒤 1900년 Weigand, 1916년 Poujoulat, 1929년 Doman 등이 회전원판을 개발하고, 1904년 Travis가 공기를 불어넣고 쇠석대신 섬유상 판을 촘촘하게 설치하는 방법을 고안하였다.⁴⁾ 또 Maltby가 1930년에 biological wheel을 제작하고 1957년에는 회전원판법을 정립하였다.⁵⁾

호기성 생물막 접촉법은 활성슬러지법에 비해 서식하는 미생물이 다양하고 슬러지를 반송할 필요가 없고, SRT가 길어서 슬러지가 거의 발생하지 않으나 여재표면의 부착미생물 관리와 산소공급의 한계 등의 이유로 현장 적용에 문제가 되고 있다.²⁾

그러나 여재표면에 미생물을 부착시키는 기술은 최근 우수한 인공여재들이 개발되어 크게 개선되었으며, 최근 고농도 무기성 폐수와 고농도 유기성폐수처리에 관심이 대두되고 있다.

본 연구에서는 Bio-Yarn 여재를 이용하여 pilot규모의 호기성 침적 생물막법을 개발하였으며, BOD와 SS농도가 높은 제지폐수에 적용하여 적정 운전조건을 모색하였다.

II 실험

1 폐수의 성상

본 실험장치에 유입되는 원 폐수의 성상은 pH 6.9~8.1, BOD는 285~357 mg/l로서 평균 324 mg/l, COD는 374~482 mg/l로서 평균 435 mg/l이었으며, SS는 232~287 mg/l로서 평균 263 mg/l이었다.

또한 T-N농도는 11~24 mg/l로서 평균 16.5 mg/l이고, T-P농도는 2.4~5.9 mg/l로서 평균 3.2 mg/l이었다.

Table 1. Characteristics of wastewater

Items	BOD	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P
Average (mg/l)	324	435	263	16.5	3.2
Range (mg/l)	286~358	374~487	232~287	11~24	2.4~5.9

2 실험장치

실험장치는 pilot규모로서 아크릴로서 5 단으로 제작하였으며 S제지공장에 설치하여 운전하였다. 반응기 한 개의 용적은 4.0m³ 이고 유효수심은 1m이며, 반응기에 미디어인 Bio-Yarn여재를 충전하였다.

Bio-Yarn 여재는 망상(Lock)형이고, 비표면적과 공극율이 크고, 화학적으로 안정하며 가볍고, 두께는 5 cm, 비표면적은 400 m²/m³이다.

또 폐수의 수질을 균질화 하기 위하여 시료 주입 전에 유량조정조를 설치하고, 반응기 뒷부분에 반응기와 같은 용량의 침전탱크를 설치하였다.

Table 2. Characteristics of Bio-Yarn media

Lock	Specific Surface Area (m ² /m ³)	Density (g/m ³)	Porosity (%)
BOM-150	400	1.875	95.6

반응기 내의 물의 흐름을 확보하기 위하여 저부로부터 0.1m정도 격리시켰으며, 각 반응기 저부에 pump관을 통하여 순환수류에 의하여 공기를 공급하였다. 반응기에 수류를 유도하여 저부의 슬러지 침전을 방지하고, 수질이 균일하게 유지되도록 공기교반 하였으며, 정량펌프를 설치하여 유량을 일정하게 유입시켰다.

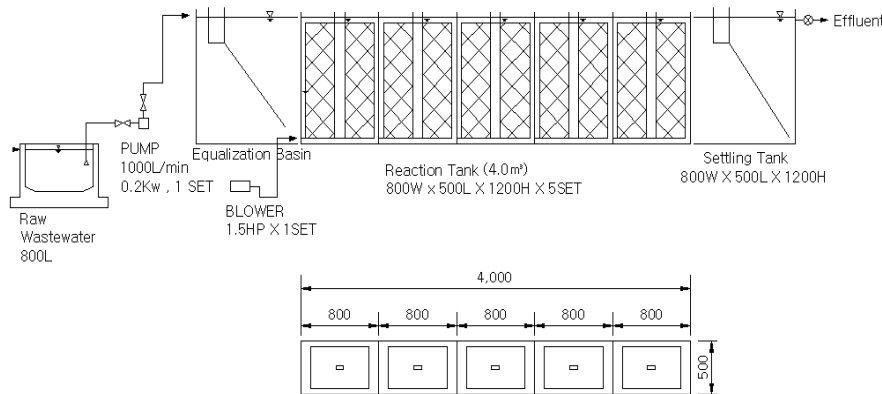


Fig. 1. Schematic flow diagram of biological film process reactor.

3 실험 및 분석방법

유출수의 수질이 안정된 후부터 처리수의 수질을 분석하였다.

수질항목의 분석은 수질오염공정시험법에 따라 실험하고, 유입 및 유출수의 수질은 Standard Methods⁶⁾에 따라 분석하고, 운전초기에는 1일 3회씩 분석하였으나 정상상태 이후부터는 3일에 1회씩 유입수, 각 반응조 유출수에 대한 분석을 수행하였다.

BOD실험은 질산화를 억제하기 위하여 질산화 방지제(nitrification inhibitor formula 2533 : HACH Co.)를 사용하며 수행하였다.

미생물의 부착 및 탈리를 관찰하기 위하여, 여재의 초기 부착 미생물을 제거하고 난 다음, 미생물이 여재에 다시 부착된 후

분석하였다. 여재에 부착된 생물막의 두께는 생물막의 비중, 여재의 표면적과 미생물막의 습윤 중량을 이용하여 측정하는 방법을 이용하여 분석하였다.

Bio-Yarn여재에 미생물막이 충분히 생성되었을 때 미생물막의 두께를 측정하였으며, 생물막의 비중은 KSF 2308에 의거하여 분석하였다. 생물막의 건조밀도는 생물막의 두께, 여재의 표면적, 생물막의 건조중량 등을 측정하여 산출하였다.

생물막의 건조중량과 습윤중량을 측정하기 위하여 반응기에 시료채취용 여재 5개를 부착하여 분석한 후 VSS함량을 측정하였다. 유입수와 유출수의 수질과 VSS함량은 Standard Methods⁶⁾에 의하여 분석하였다.

Table 2. Method and apparatus of wastewater analysis

Item	Method and apparatus
pH	pH-meter
DO	Winkler method azide modification
BOD	Winkler method azide modification
COD	KMnO ₄ reflux method
T-N	Spectrophotometric method
T-P	Spectrophotometric method
MLSS	Gravimetric method
MLVSS	Gravimetric method

III 결과 및 고찰

1 유기물농도 변화

반응기 1~5의 수질이 안정적으로 유지된 후부터 3일 간격으로 유출수의 수질을 측정하여 평균농도로 나타내었다.

유입수의 평균 BOD농도는 324 mg/ℓ

(286~358 mg/ℓ)이며, 유입수의 농도는 상당한 차이를 보이는데 비해 제거율은 92.3% 정도로서 거의 일정하게 유지되었으며, 유출수의 농도는 24.2 mg/ℓ이었다. 공정별로는 1~3단에서 88%정도 처리되고, 4~5단에서 92.5%까지 제거되었다.

여재에 부착된 미생물의 양도 1~3단에 많고, 부유 상태의 미생물은 거의 없었고, 처리수는 맑고 투명하였다.

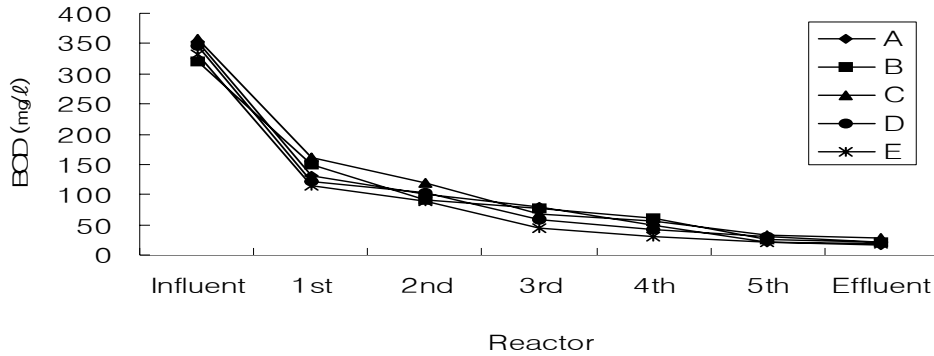


Fig. 2. BOD concentration of each reactor zone with operating time.

유입수의 평균 COD농도는 435 mg/l이고, 처리효율이 90.2%이었으며, 처리수의 COD농도는 37.0 mg/l이었다.

단계별 COD처리효율은 BOD와 마찬가지로 1~3단에서 75%정도 처리되고, 4~5단에서 91.5%까지 제거되었다.

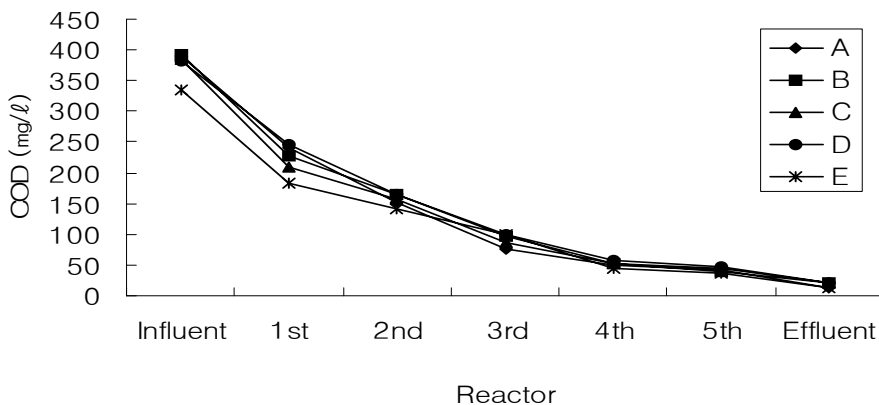


Fig. 3. COD concentration of each reactor zone with operating time.

2 영양염류농도 변화

유입수의 평균 T-N농도는 16.5 mg/l이고, 제거율은 86.1%이었으며, 처리수의 평균 T-N농도는 2.3 mg/l이었다.

침적 생물막법에서 탈질소반응은 미생물 합성이나 두터운 생물막 내부의 혐기성 탈질산화반응에 의해 진행된다,⁷⁾ 단계별 T-N처리효율은 1~3단에서 59%정도 처리되고, 4~5단에서 89.5%까지 제거되었다. 질산화 반응에서 질산화 미생물은 에너지를 얻는 동안 암모늄이온의 일부를 세포질로

동화하며, 이때 폐수속의 알칼리도를 소모한다.⁴⁾ NH₃-N 1 mg/l를 제거하는데 소요되는 이론적 알칼리도의 양은 약 6 mg/l라고 보고⁸⁾되어있다.

생물학적 탈질공정은 DO가 없고 결합산소만 존재하는 혐기성 상태나 매우 낮은 DO농도와 결합산소가 존재하는 준호기성(anoxic) 상태에서 진행되며, 이러한 환경에서 탈질미생물들은 NO₃⁻과 NO₂⁻을 전자수용체로 이용한다.^{5),9)}

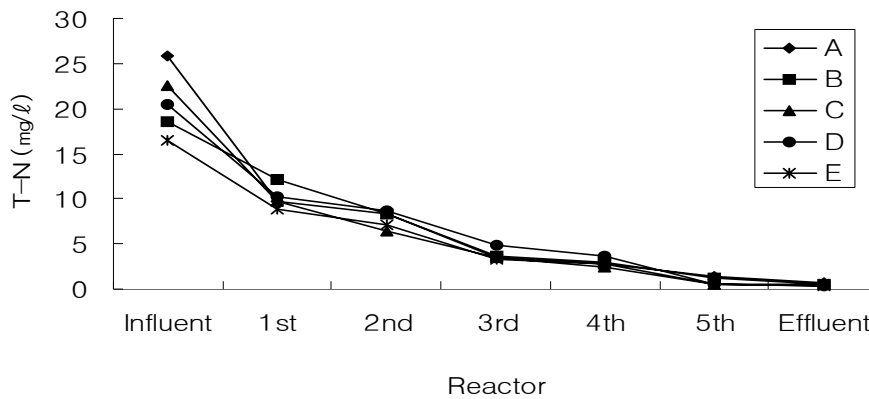


Fig. 4. T-N concentration of each reactor zone at operating time.

Rusten과 Odegaard는 침적형 RBC를 동반한 4단 RBC실험에서 탈질과정에서 소모되는 유기물의 양은 NO_x-N 1mg당 SBOD 2.4 mg이 제거되고, pH 5이하 또는 pH 10이상에서 탈질반응은 거의 일어나지 않았다고 보고하였다.^{10,11)}

유입수의 평균 T-P농도는 1.2 mg/l이고, 제거율은 98.3%이었으며, 처리수의 평균 T-P농도는 0.08 mg/l이었다. 단계별 T-P처리효율은 1~3단에서 83%정도 처리되고, 4~5단에서 99%까지 제거되었다.

본 연구의 T-P제거율이 높은 이유는 일반적으로 폐수처리장에서 유지하는 유기

물과 영양염류의 농도비 BOD:N:P는 100:5:1이 적절한데 사용한 유입수의 경우 BOD 324 mg/l, T-N 16.5 mg/l 및 T-P 1.2 mg/l로서 BOD와 T-N농도에 비해 상대적으로 T-P농도가 낮기 때문이라고 생각된다.

침적 생물막법에서 탈인반응은 미생물 합성과 두터운 생물막 내부에서 혐기성 반응이 일어나는 동안 미생물이 인을 토출하고, 다시 호기성 반응과정에서 미생물이 과량의 인을 재 흡수하는 메커니즘이라고 알려져 있다.¹²⁾

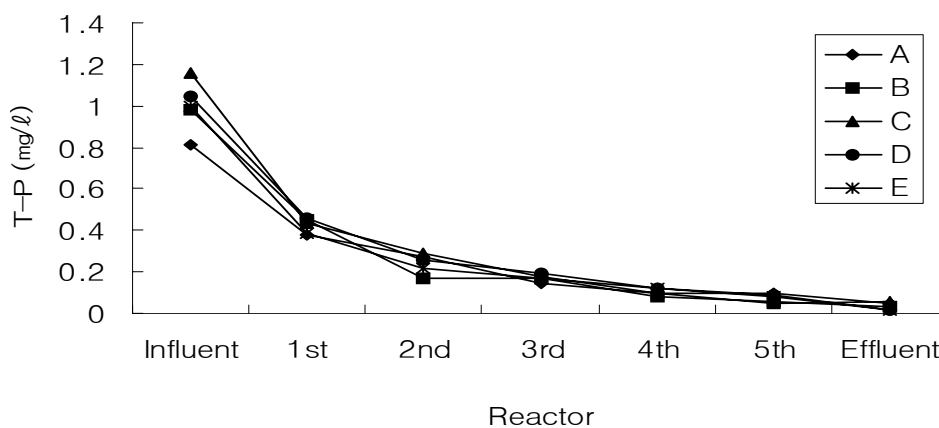


Fig. 5. T-P concentration of each reactor zone at operating time.

3 SS농도 변화

유입수의 평균 SS농도는 263 mg/l이고,

제거율은 89.3%이었으며, 처리수의 평균 SS농도는 28.2 mg/l이었다. 단계별 SS제거

는 1~3단에서 80%정도 처리되고, 4~5단에서 90%까지 제거되었다.

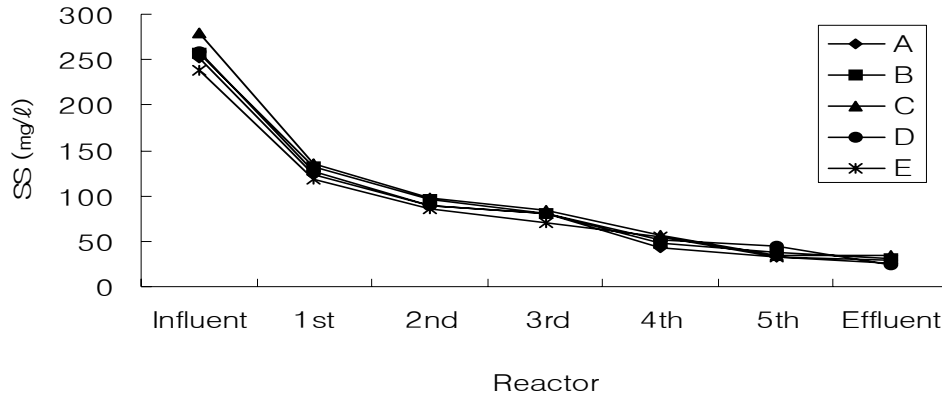


Fig. 6. SS concentration of each reactor zone at operating time.

IV 결 론

Bio-Yarn 여재를 이용하여 pilot규모의 호기성 침적 생물막법을 개발하고, BOD와 SS농도가 높은 제지폐수에 적용하여 적정 운전조건을 모색한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 유입수의 BOD농도는 324 mg/l이고, 제거율은 약 92.3%이며, 유출수 농도는 24.2 mg/l이었다. 공정별로는 1~3단에서 88%정도 처리되고, 4~5단에서 92.5%까지 제거되었다.
2. 유입수의 COD농도는 435 mg/l이고, 제거율은 약 90.2%이며, 처리수의 농도는 37.0 mg/l이었다. 공정별로는 1~3단에서는 75%정도 처리되고, 4~5단에서 약 91.5%까지 제거되었다.
3. 유입수의 T-N농도는 16.5 mg/l이고, 제거율은 86.1%이었으며, 처리수의 농도는 2.3 mg/l이었다. 단계별 T-N제거율은 1~3단에서 59%정도 처리되고, 4~5단에서 약 89.5%까지 제거되었다.
4. 유입수의 T-P농도는 1.2 mg/l이고, 제거율은 98.3%이었으며, 처리수의 T-P농

도는 0.08 mg/l이었다. 단계별 T-P처리 효율은 1~3단에서 83%정도 처리되고, 4~5단에서 99%까지 제거되었다.

5. 유입수의 SS농도는 263 mg/l이고, 제거율은 89.3%이었으며, 처리수의 평균 SS농도는 28.2 mg/l이었다. 단계별 SS제거는 1~3단에서 80%정도 처리되고, 4~5단에서 90%까지 제거되었다.

참 고 문 헌

- 1) 金亨泰 : "懸垂微生物 接觸法(HBC)에 의한 生活污水의 處理效果". 韓國技術士會誌 第21卷 第2號 1988
- 2) Hamming, M. L, and Wheatly, D., "Low-rate Biofiltration Systems Using Random Plastic Media", JWPCF, Vol. 51 No.1, pp 54~68, 1987.
- 3) Almendariz, F., Meraz, M., Olmos, A. and Monroy, O. : Phenolic refinery wastewater biodegradation by an expanded granular sludge bed reactor. Water science and Technology, 52, 391~396, 2005.
- 4) Park, Y.S., Jeong, N.S. and Kim, D.S. : A comparison of nutrients removal characteristics

- by the variation of organics in A₂O SBR and A₂O SBBR for the small sewerage system. Korean Journal of Environmental Health, 32(5), 451-461, 2006.
- 5) H. E. Wild, C. N. Sawyer, and T. C. McMahon, "Factors affecting nitrification kinetics", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 43, No. 9,
 - 6) APHA, AWWA, WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed, 1992.
 - 7) M. G. Truler. and W. G. Characklis, "Dynamics of Biofilm Processes," Presented at the 53rd Annual Conf. of the WPCF, Las Vegas, Nev. Oct.1980.
 - 8) P. L. McCarty, et al., "Biological Denitrification of Wastewater by Addition of Organic Materials", Proc. 24th Purdue Industrial Waste Conf. Purdue Univ.1969.
 - 9) R. T. Hang, and P. L. McCarty, "Nitrification with the submerged filter", J. Water Pollut. Control Fed, Vol. 44, No. 11,
 - 10) Rusten. Bjorn, and Odegaard. Hallvard, "Denitrification in a Submerged Bio-Disc System with Raw sewage as carbon Source," Proc. 2nd Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process, Vol. 1, 823-845. 1984.
 - 11) B. E. Rittmann and P. L. McCarty, "Model of Steady-State Biofilm Kinetics", Biotechnol. & Bioeng., Vol. 22, 2343-2357. 1980.
 - 12) Kerm-Jespersen J. P. and Henze M. "Biological Phosphorus Uptake under Anoxic and Aerobic Conditions", Water Research, Vol.27, No.4, 1993.