

## 폐플라스틱용기 미디어를 활용한 오수고도처리

김재용<sup>†</sup> · 엄명현\* · 안대현 · 심명진

충북대학교 환경공학과, \*공주대학교 화학공학부  
(2005년 9월 9일 접수, 2005년 12월 30일 채택)

### Advanced Treatment of Sewage Using Waste Plastic Vessel Media

Jae-Yong Kim<sup>†</sup>, Myeong-Heon Um\*, Dae-Hyun An, and Myeong-Jin Shim

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

\*Division of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

(Received September 9, 2005; accepted December 30, 2005)

본 연구는 폐플라스틱용기 미디어 산화공법을 이용하여 유체 및 산소전달 효율 향상을 위한 개조 방법과 미생물 부착특성을 향상시키는 방법을 통하여 오수고도처리 함을 목적으로 하고 있다. 또한 실험실 규모의 실험에서 최적의 담체 충전율과 충전 방법을 도출함으로써, 실 규모 설비를 위한 최적 설계 인자와 운전인자를 확보하고, 오수의 고도처리를 위한 다양한 운전조건을 제공하여 폐플라스틱 용기를 미생물 담체로 사용할 경우 생물학적 반응에 의해서 분해 될 때 소비되는 산소량과 오수중에 현탁되어 있는 유, 무기성 부유물과 질소 제거가 이루어지는 메카니즘을 규명하고 오수 처리 효율 향상을 위한 운전인자 도출을 목표로 한다.

The object of this study was to develop an advanced method for fluid flow and oxygen transmission and increase adhesive property of microorganism to waste plastic vessel that was made of microorganism media. Through lab scale experiments, we found the optimum packed media volume rate and method, and when the optimum condition was applied to pilot plant, we confirmed possibility of advanced treatment. The sewage that was used in the test was the sewage disposal facility established in C and K elementary schools, which utilized waste plastic media oxidation engineering method. Analysis showed that removal efficiency of organic matter, SS, T-N and T-P was very high, that the sewage disposal facility maintained stability of treatment when changeable load of raw sewage flowed in.

**Keywords:** sewage, waste plastic oxidation engineering method, stability of treatment, microorganism

### 1. 서 론

중소형 오수처리시설에서는 가능한 한 사람의 손이 필요 없이 자연의 법칙대로 오수를 정화하는 시스템이 필요하다. 현재 일반적인 방법으로는 스트리핑법의 물리적 방법과 화학적 방법, 생물학적 방법들이 있으나, 물리적 방법이나 화학적 방법은 비용과 유지관리상 문제가 있기 때문에 생활하수를 정화하는 방법, 특히 유기물을 처리하기 위한 합리적 방법은 미생물을 이용하는 것이 대부분이다. 그러나 국내에 적용되고 있는 대다수 오수처리 시설은 오페수가 가진 특징인 부하변동에 대한 대처능력이 미흡하여 안정적인 방류수질 보장이 어려운 실정이며, 또한 생활하수 등에 포함된 질소, 인 등의 영양염류로 인한 부영양화, 적조현상을 방지하기 위해 탈질, 탈인이 필요하다 [1,2]. 이를 위한 오수를 생물에 의해 정화하는 방법에 있어 기본 필요 조건은 첫째, 미생물의 번식, 둘째, 번식된 미생물의 활성화보전이다. 많은 종류의 미생물 접촉체가 생산되어 실용화되고 있으나, 대부분의 여재는 유기 고분자 화합물로 만들어진 것이 대부분이며, 이들 제품

은 여재의 형태만을 변형시켜 단지 미생물 접촉 표면적을 크게 하는 외형적인 부분에만 검토되고 있으나, 고분자 화합물의 성상 면에서 기대치에 미치지 못하고 있다. 물론 미생물학적인 관점에서는 여재의 표면적을 크게 하여 접촉비율을 크게 하는 것도 중요하나, 여재에 생성되는 미생물간의 친화성이 더욱 중요한 문제이다[2-5].

폐플라스틱용기 미디어 산화공법은 미생물 접촉체 또는 합성수지를 압출 성형한 다공질의 미생물 활성체를 여재로 사용하여 다단 격층 또는 다단 격막식으로 설치하여 특수 공법으로써 미생물의 생성 적응을 위한 순양화기간의 단축은 물론 대사활동을 촉진시키고, 자연계의 형태와 같이 각종 미생물의 공생 작용과 먹이 사슬 현상을 최대한 활용하여 생활계 오 하수를 고도 처리하는 고기능성 공법이다. 더구나 폐기되는 플라스틱 용기를 재이용하기 때문에 친환경적인 오수 처리장치라 할 수 있으며, 이는 외국에서 수입되는 고가의 담체와 비교하였을 때 경제적인 부담이 적은 공정이라 할 수 있다. 또한 플라스틱용기는 물리적, 화학적, 생물학적으로 안정한 재질로 제작되었기 때문에 생물막 공정의 담체로 이용하는 경우, 다른 담체와는 달리 반영구적인 사용이 가능한 장점을 가지고 있다[5-6]. 이외에 국내 및 해외

<sup>†</sup> 주 저자(e-mail: jykim4@korea.com)

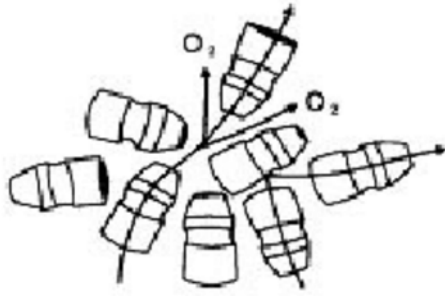


Figure 1. Diagram of Y. M movement in aeration tank.

경쟁력 향상을 기여할 수 있으며 경제적 실익이 기대되며, 오니의 침적이 적어 슬러지 처리비용 감소와 중균제 등의 관리약품투입이 전혀 없으므로 유지관리비가 기존 시스템에 비해 50% 이상 절감된다. 그리고 간헐 폭기 방식(8~12 /h)으로 인한 Air 공급 장치인 브로와의 수명 연장과 전력비 등 운영 관리비의 절감과 기존 시설의 증설 및 개보수가 용이한 장점을 가지고 있다. 따라서 해외 기술전수로 경제적 과급효과가 기대될 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안하는 공정은 기술적으로 비교적 높은 비표면적을 가진 플라스틱용기를 이용, 미생물 담체로서의 충분한 기능을 수행하도록 하며, 통수공간을 충분히 제공하고, 편류나 미생물 폐색(fouling)에 따른 운전실패요인을 해소할 수 있으며, 플라스틱용기(담체) 내에 존재하는 다양한 환경(호기, 무산소, 혐기)에 따라 질소·인 등의 제거가 가능하기 때문에 오수고도처리를 위한 공정으로의 개선이 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 폐플라스틱용기 미디어 산화공법

폐플라스틱 용기를 이용한 하수처리의 기본은 하천본래의 자정작용을 장치 내에서 재현시키는 것으로서 폐유산균(플라스틱)용기를 media로 이용한 고정 생물막 접촉산화 방식이다[7]. 플라스틱용기의 바닥을 잘라내고 폭기조 내에 random하게 충전하여 폭기 작용에 의한 수류는 여재와 예각, 직각, 둔각으로 다양한 충돌을 되풀이하는 수류로 바뀌게 되고 수류작용에 의해 여재 간에는 DO의 변화가 발생되어 DO농도 변화 및 수질변화에 따른 생물상이 이에 대응하여 출현한다. 여재의 충전된 상태에 따라(수평, 수직) 혐기화와 호기화되어 DO구배는 0(zero)에서 포화상태까지 존재하여 다양한 미생물의 증식과 활성화가 이루어진다. 이와 같이 오수의 거동에 대해서는 일부를 제외하고 특히 역상 및 횡상의 위치 내에 있는 오수의 DO는 거의 전무하다. 그러나 이와 같은 상태에 있는 오수도 결국은 여재 밖의 어떤 방향으로부터의 유입오수로 인하여 유출되는 현상이 일어나며 다시 그 오수는 호기성으로 바뀐다. 이 과정을 수차례 되풀이하여 상하층의 생물상의 다양화뿐만 아니라, 수질 변화에 따른 생물상의 출현으로 먹이사슬현상(food chain)을 촉진시켜 유기물질 및 부영양화물질 분해능력을 상승시켜 안정된 처리수질을 확보할 수 있다.

### 2.2. 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 충북 청원군에 소재되어 있는 C산업, K초등학교에서 배출되는 오수를 이용 하였으며 그 성상은 Table 1과 같다. 설치된 실험실 규모의 반응조는 Figure 2와 같이 아크릴을 이용하여 제작되었다. 총 12 L의 용량으로 구성된 전체 반응조는 무산소조 4 L와 폭기조 8 L로 구성되어 있으며, 폭기조는 2개의 조로 구분하여

Table 1. Characteristics of Sewage

Items	Concentration, mg/L
pH	7.0 ~ 7.5
TSS	100 ~ 200
TCODcr	200 ~ 450
SCODcr	50 ~ 200
T-N	30 ~ 60
O-P	1.5 ~ 4
T-P	3 ~ 7
Turbidity	60 ~ 110 NTU
Alkalinity	150 ~ 230

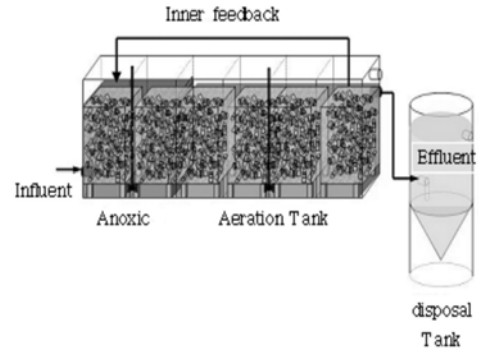


Figure 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

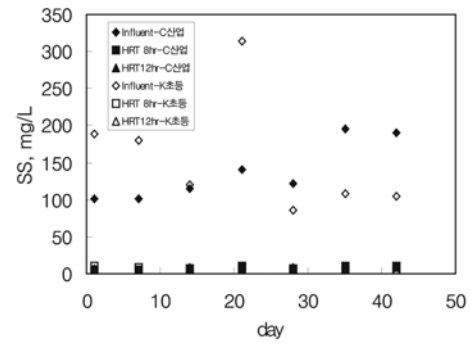


Figure 3. SS concentration of the influent and effluent.

설치하였다. 유입수는 무산소조의 하부로 유입되어 무산소조 내에서 충분한 체류시간을 거치도록 하였으며, 무산소조를 거친 오수는 반응조의 상단을 통하여 폭기조로 유입되며, 2개의 폭기조에서의 오수의 이동은 반응조의 하단부에서 이동하도록 하여 오수와 플라스틱 미디어에 부착된 미생물과의 접촉시간을 최대한으로 늘리고자 하였고, 무산소조 및 폭기조에 교반기를 설치하여 오수의 흐름을 원활하게 유지시키면서 반응을 모두 마친 오수는 침전조로 유입되게 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. C산업과 K초등학교 오수처리

#### 3.1.1. 부유물질의 제거

유입수 및 유출수의 SS 농도와 제거효율은 Figure 3, Figure 4에 나타내었다.

운전기간동안 C산업과 K초등학교의 유입수 평균 SS 농도는 C산업 137.7 mg/L, K초등학교 157.3 mg/L로 측정되었다. 그리고 유출수 SS

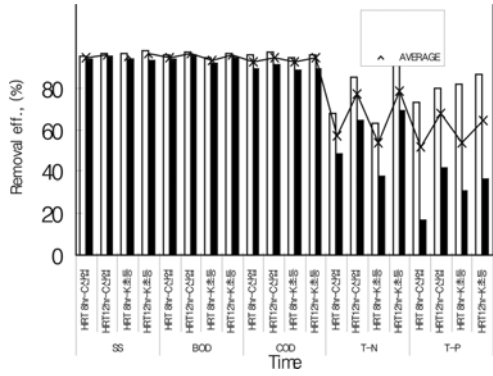


Figure 4. SS, BOD, COD, T-N, T-P removal of the influent and effluent.

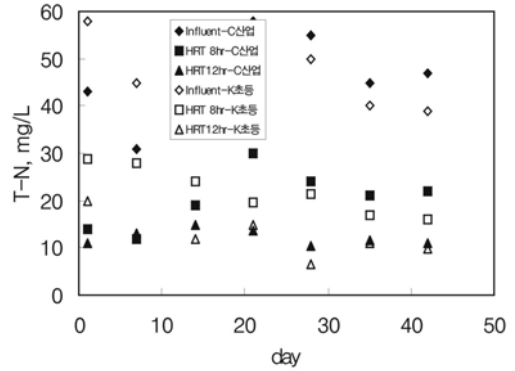


Figure 7. T-N concentration of the influent and effluent.

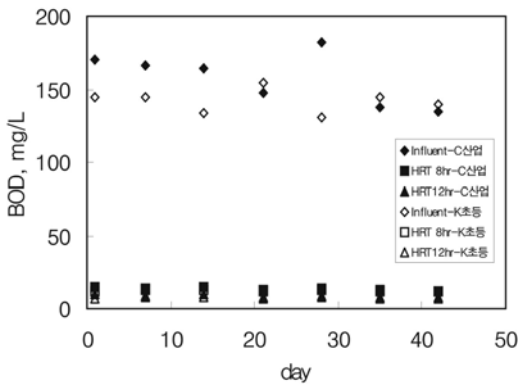


Figure 5. BOD concentration of the influent and effluent.

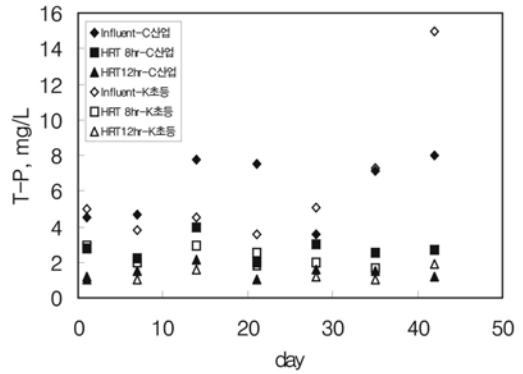


Figure 8. T-P concentration of the influent and effluent.

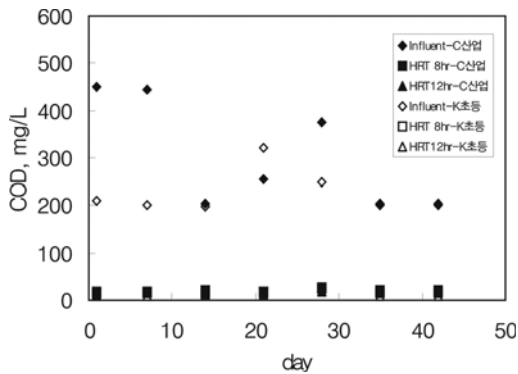


Figure 6. COD concentration of the influent and effluent.

농도는 HRT 8 h, 12 h에 대하여 각각 7.3 mg/L, 5.8 mg/L, 7.4 mg/L, 5 mg/L로 나타났고, 평균 SS 제거효율은 각각 90%, 94%, 90%, 94%로 나타났다. HRT가 짧을 때 유출수의 부유물질 농도가 약간 증가하였는데, 이는 반응조내 흐름이 빨라 쏠려나오는 부유물질들이 약간씩 증가했기 때문으로 판단된다. 전체적으로 보면 플라스틱 여재를 이용한 오수처리 공정의 경우 HRT에 관계없이 SS의 제거에는 탁월한 효과를 나타내는 것으로 보여진다. 이는 플라스틱 여재의 비표면적이 커서 포기조내의 침전, 포착성이 우수하기 때문으로 사료된다.

3.1.2. 총 유기물질의 제거

총 유기물질은 부유물질과 같은 고형물을 포함한 유입수 및 유출수

의 유기물질을 의미한다. 따라서 BOD, COD의 유기물 농도를 측정하여 Figure 5, Figure 6에 나타내었고, 각각의 제거효율은 Figure 4와 같다.

운전기간동안 C산업과 K초등학교의 유입수 BOD 농도는 130 mg/L ~ 180 mg/L로 비교적 균등한 농도로 유입되었고, HRT 8 hr, 12 hr에 대한 유출수 평균 BOD농도는 각각 8.2 mg/L, 5.1 mg/L, 9.4 mg/L, 5.5 mg/L로 나타났다. 그리고, 평균 BOD의 제거효율은 각각 94.7%, 96.7%, 93.2%, 96.1%로 나타났다. COD의 경우 Figure 6에서 보여주는 것과 같이 유입수의 농도변화가 비교적 컸으나, 제거효율 및 유출수 농도는 매우 안정적으로 관찰되었다. HRT 8 hr, 12 hr에 대한 유출수 평균 COD농도는 각각 20.4 mg/L, 15.4 mg/L, 17.1 mg/L, 12.7 mg/L로 나타났고, 평균 제거효율은 92.3%, 94.2%, 92.4%, 94.4%로 나타났다. BOD와 COD 결과 역시 부유물질의 경우와 같이 HRT가 짧아짐에 따라 농도가 약간씩 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 부유물질의 농도 변화와 관련이 있는 것으로 판단된다. 그리고, 유출수의 제거효율 변화를 살펴보면 유입수의 농도 변화에 따라 제거효율은 큰 차이를 나타내지는 않았으며 시간이 흐를수록 제거효율이 약간씩 증가하는 경향을 나타내었다.

3.1.3. 총 질소, 인 제거

오수중의 질소는 질산화와 탈질의 생물학적 과정에 의해서 제거된다. 이 두 가지의 질소성분의 변환과정을 균형 있게 유지시켜야 질소 제거효율을 높일 수 있다[8,9]. 유입수 및 유출수의 총 질소, 인의 농도(TN, TP) 및 제거효율을 Figure 7, Figure 8, Figure 4에 나타내었다.

운전기간동안 C산업과 K초등학교의 유입수 평균 TN 농도는 46.3



Figure 9. Attached biomass on plastic media in aerobic.

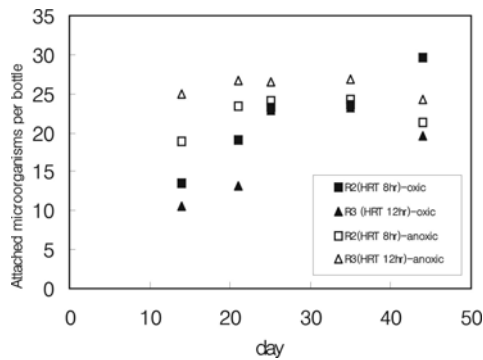


Figure 10. Attached biomass on plastic media in aerobic and anox reactors.

mg/L, 47.9 mg/L로 분석되었고, 최소 31 mg/L부터 최대 58 mg/L까지 다양한 농도의 유입수가 유입되었다. 그리고, 유출수의 TN 농도와 효율은 HRT 8 hr, 12 hr에 대하여 각각 20.3 mg/L, 10.2 mg/L, 22.1 mg/L, 10.5 mg/L, 56.8%, 77%, 53.9%, 78%로 나타났다.

HRT가 증가할수록 TN 제거효율은 증가하는 것으로 나타났으며, HRT 12 h인 경우의 최대 TN제거효율은 87%로 매우 높은 제거효율을 나타내었다. 이전의 부유물질이나 유기물질의 제거경향과는 달리, 총 질소의 경우에는 HRT에 따른 제거효율의 차이가 매우 크게 나타났다. 그리고, HRT가 길어질수록 총 질소의 제거효율은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 총인의 경우는 Figure 8에서 보듯 총질소의 경우와 같이 유입의 농도변화는 크게 나타났지만, 유출수 농도는 비교적 안정한 상태로 유출됨을 볼 수 있었다.

### 3.2. 미생물 부착량 분석

시간의 경과에 따라 플라스틱 여체에 부착된 미생물의 양을 측정하여 얼마나 많은 미생물이 여체에 부착되어 있는지를 조사하였다. 미생물 부착량 조사는 반응조가 정상 상태로 운전된 후부터 시작하여 약 30일 가량 진행되었다. 여체에 부착된 미생물 양은 1주일에 한번씩 반응조에 설치된 플라스틱 여체를 꺼내어 건조시킨 후 무게의 변화를 조사하는 식으로 진행하였다. 다음의 Figure 9는 운전시작 초기의 포기조내 플라스틱 여체의 모습과 미생물의 부착이 어느 정도 진행된 후의 포기조내 플라스틱 여체의 모습을 보여주는 사진이다. Figure 10에 의하면 운전 초기에는 플라스틱 여체에 부착된 미생물의 양이 그리 많지 않으나, 점점 부착된 미생물의 양이 증가하는 것을 볼 수 있었다. Figure 11은 포기조와 무산소조에 부착된 미생물의 양을 운전기간의 경과에 따라 나타낸 그래프이다.

Figure 10에 나타난 포기조내 플라스틱 여체에 부착된 미생물의 양에 의하면 시간에 따라 부착되는 미생물의 양이 증가하는 것으로 나타났으며, 어느 정도 이상 부착이 진행된 후에는 부착량이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. HRT가 8 h인 경우와 12 h인 경우는 미생물의 부착량 차이가 거의 없었다. 그리고, 무산소조내 플라스틱 여체에 부착된 미생물의 양에 의하면 HRT에 변화에 따라 부착된 미생물의 양이 거의 같음을 나타내었다. 플라스틱 여체를 이용한 공정의 경우, 유기물과 질소의 제거에 참여하는 미생물들이 플라스틱 여체에 부착되어 있는 경우도 있고 일본의 문헌에 의하면 플라스틱 여체에 쌓여 있는 미생물들도 반응에 참여하는 것으로 알려져 있다. 그러므로, 여체에 부착된 미생물의 양만으로 반응조내의 미생물 활성도를 판단하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

플라스틱 여체를 이용한 오수고도처리 공정의 개발을 위하여 수행한 실험 결과를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 유출수의 부유성 고형물(SS)의 농도는 수리학적 체류시간(HRT)에 관계없이 평균 7 mg/L 이하를 유지하였고, HRT 12 h에서 BOD, CODcr의 농도는 평균 7 mg/L, 15 mg/L 이하를 유지하는 것으로 나타났다.
- 2) 총질소의 유출수 농도는 유입수의 농도와 무관하게 비교적 안정적인 결과를 보였고, 제거효율은 75%를 나타냈다.
- 3) 총인의 경우 유입수 농도 변화율은 컸으나, 유출수 농도는 비교적 안정적인 결과를 보이면서 평균제거효율 65%를 나타냈다.
- 4) HRT 12 h에서 평균 95%의 질산화가 가능하였으며, HRT가 12 h 이하로 감소하면 질산화율이 급격히 저하되었다. 따라서 효율적인 질소 제거에 필수적인 질산화를 위한 최소 HRT는 12 h 이상이 필요할 것으로 판단된다.
- 5) 안정적 질소제거효율을 위해서는 무산소조의 혐기화를 방지할 수 있는 방법 즉, 무산소조 여체 상에 과도하게 성장한 미생물을 주기적으로 탈리시킬 수 있도록 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. G. H. Jeong and Y. H. Lee, Environmental Management Research Center, 7, 9 (1996).
2. U. Abeling and C. F. Seyfried, *Wat. Sci. Tech.*, 26, 1007 (1992).
3. J. S. Lee, D. H. Park, and S. Y. Lee, Korea Society Environmental Analysis, 4, 251 (2001).
4. J. G. Bae, H. S. Shim, and J. O. Choe, Korea Society of Environmental Engineers, 265 (1994).
5. Y. G. Min, J. C. Kim, Y. Y. Kim, and I. H. Jeong, Korea Society Environmental Analysis, 2, 281 (1999).
6. U. S. Choe and Y. H. Shim, Korea of civil Engineers, 2, 556 (1995).
7. J. H. Jeon, H. S. Kim, S. S. Heo, and B. Y. Min, Kyungnam University Environmental Research Center, 17, 101 (1995).
8. D. L. Ford, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 52, 2726 (1980).
9. Y. S. Hong and J. H. Bae, Korea Society of Environmental Engineers, 19, 1419 (1997).