

PF8) 폐비닐 재생매디아를 이용한 생물막공정에서의 하수처리 특성

장성호, 서종환, 박진식¹

부산대학교 지역환경시스템전공, ¹경운대학교 보건환경전공

1. 서 론

농업용 폐비닐은 일정기간 사용후 수거하여 교체되어야 하나 농경지에 그대로 방치되는 경우가 대부분이며, 전량 수거가 현실적으로 불가능하여 '05년 사용량의 66%정도가 수거되었을 뿐 나머지 11만 톤 정도가 주변 농토에 매립되거나 불법 소각되고 있는 실정이다. 이와 같이 폐비닐로 발생되는 양은 하우스용 LDPE 32,418톤, 멀칭용 LDPE 124,078톤, HDPE 160,167톤, 기타 6,284톤으로 총 322,947톤 정도이다. 폐비닐은 매립시 매립량을 증가시키고 분해되는데 오랜 시일이 소요될 뿐만 아니라, 소각시에도 다이옥신과 같은 유독성 물질을 발생시키므로 이에 대한 처분이 어려운 실정에 있다.

폐비닐을 일정한 과정을 거쳐 하수처리에 사용되는 여재로 재생시 압출·탄화과정을 거친 여재의 표면은 비표면적을 증가시켜 기존의 여재보다 비표면적이 증가되었고 공극률도 90% 이상으로 나타났다. 이러한 여재를 하수처리공정에 적용시 기존에 알려진 생물막 공법의 특성인 고농도 유기물을 함유한 폐수처리와 질소·인 제거에 적합할 것으로 판단되며, 활성슬러지 등의 방법보다 슬러지 발생량 감소, 충격부하 대처능력 향상, 운전관리의 용이성을 갖추어 소규모 하수처리시설에 적용가능성이 높을 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 농촌에서 다량 발생되어 문제시되고 있는 폐비닐 여재를 재활용하고자 세척과정 없이 그대로 재생한 매디아(Synthetic Waste Polyethylene Media)를 이용하여 그 적용가능성과 하수처리시의 유기물 및 질소·인 제거 특성을 파악하였다.

2. 재료 및 실험 방법

아크릴로 제작한 반응기의 총 유효용적 18ℓ, 혐기조 4.5ℓ, 무산소조 3ℓ, 호기조1 6ℓ, 호기조2 4.5ℓ로 각각 구성하였다. 여재의 충진율은 일반적으로 접촉산화공정에 적용되는 여재의 유효용적에 대한 충진형태의 걸보기 부피비로 산정한 것으로, 혐기조 35%, 무산소조 40%, 호기조1 45%, 호기조2 47%이다. 반응조에 대한 Diagram을 Fig. 1에 나타내었다.

각 반응조의 온도는 미생물 순응단계에서는 20°C±2를 유지하였다. 용존산소 농도는 혐기조 0.07mg/L미만, 무산소조 1mg/L미만, 호기조 4~6mg/L정도를 유지하였으며 pH는 7로 조절하였다. 반응조내 혼합을 위한 교반기 속도는 30~40 rpm을 유지하였고, 혐기조에는 ORP-meter, 호기조에는 pH-meter를 설치하여 자동적인 모니터링을 실시하였다.

반응조의 운전조건은 Table 1.과 같이 3단계로 구분하였고, HRT와 BOD₅ 용적부하는 10hr일 때 0.32~0.40, 12hr일 때 0.26~0.32, 14hr일 때 0.18~0.23으로 각각 운전하였다. 전

단계에서 내부반송율은 100%를 유지하도록 하였다.

여재의 특성은 Table 2에 나타내었다.

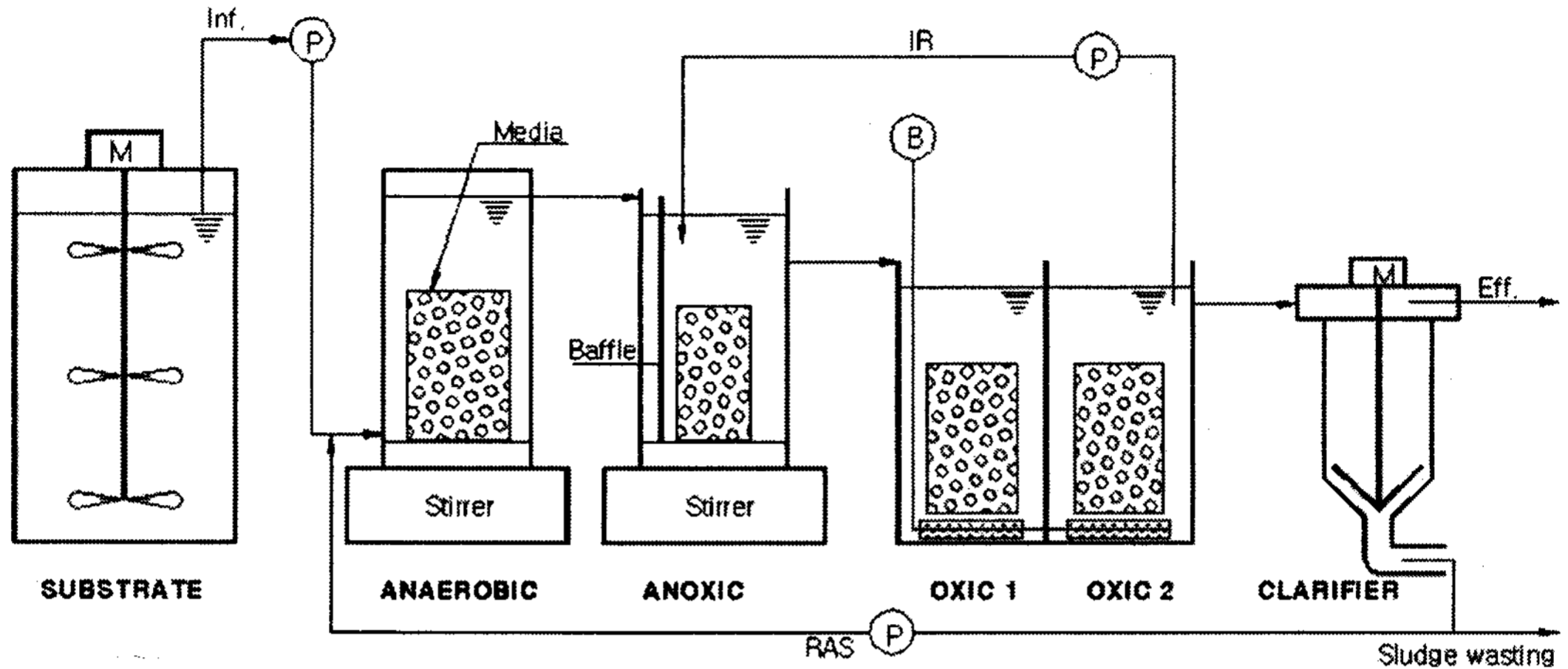


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

Table 1. Operating Conditions

Classification	Run-1	Run-2	Run-3
HRT(hr)	10	12	14
Int. recycle(%)	100	100	100
RAS(%)	0	0	0
BOD ₅ volume load(kgBOD ₅ /m ³ · d)	0.32~0.40	0.26~0.32	0.18~0.23

Table 2. Characteristics of Media

Items	Contents	Items	Contents
Length	1.0m	Surface Area	0.44m ²
Section	6cm	Specific Surface Area	400m ² /m ³
Thickness	7-8mm	Porosity	90% or more

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 제거

초기단계에서 미생물 식종 후 순응기를 거치고 정상적으로 운전되기 시작한 후 BOD₅ 제거효율은 최대 98.2%이며 유출수의 농도는 1.2~13.4mg/L로 나타났다.

체류시간이 10~14hr로 변화함에도 불구하고 BOD₅는 각각 평균 91.6, 94.8, 96.8%로 체류시간에 따른 제거효율 차이는 크게 나타내지 않았으며, 본 운전 체류시간 및 부하에 큰 영향을 받지 않고 안정적인 처리수질을 얻을 수 있다고 판단되었다.

폭기조에서의 DO는 4~5mg/L, pH는 6.8~7.5로 운전되었으며 BOD₅용적부하는 0.18~0.40kg/m³·d로 유지되었다. 그러나 폭기조에서 실제 부하는 유입 BOD₅가 혐기조 및 탈질조에서 소모되기 때문에 이들 값보다 훨씬 낮을 것이다.

COD_{Cr}의 경우 평균 제거효율은 RUN1, 2, 3에서 각각 91.4, 92.4, 93.9%로 BOD₅와 유사한 경향을 나타내었다. 운전기간동안 유입 COD_{Cr}용적부하는 전체 생물반응조에 대하여 0.30~0.53kg/m³·d의 범위로 운전되었으며 이 범위에서 유출수의 농도는 4~28mg/L로 비교적 안정한 수질을 얻을 수 있었다.

처리수의 부유물(SS) 농도는 유입수가 108~163mg/L일 때, 2.4mg/L~8.0mg/L로 매우 안정적이며, 제거효율은 RUN1, 2, 3에서 평균 약 96%로 나타났다.

유기물 제거면에서 HRT 10~14의 변화에 90% 이상의 안정적인 유기물 제거 능력을 나타내는데, 이는 기존 A.S.P와 비교해 Boazchen(1991) 등의 연구결과에서 언급된 바와 같이 생물막 공법은 매디아를 이용하여 반응조내에 보다 많은 미생물 유지와 큰 규모의 먹이 사슬을 가지므로 유입 유기물의 충격 부하에 대처 능력이 강함을 알 수 있었다.

3.2. 질소 제거

운전기간 중 질산화율은 97%이상으로 HRT 10~14시간에서 충분한 질산화가 일어났다. 여기서는 유입수에 T-N의 약 30%를 차지하는 유기질소가 일반적으로 생물학적 가수분해에 의하여 NH₄⁺-N으로 전환되는 것은 고려되지 않고 초기 유입 NH₄⁺-N의 농도기준으로 하였다. 원수의 알칼리도가 낮을 경우 폭기조에서 질산화가 진행되는 동안 생성되는 H⁺이온에 의하여 pH값이 때때로 6이하로 감소되었으며, 적정 pH값을 유지하기 위하여 NaOH가 주입되었다. 질산화율은 생물 반응조내의 슬러지 체류시간에 영향을 받는데 본 실험장치는 부착성장식공정으로서 폭기조내의 질산박테리아 비율이 높아 충분한 질산화가 일어난 것으로 판단된다. 그러나 이러한 충분한 질산화를 위해 폭기조 내 용존산소농도가 충분해야 하는데 반응조의 산기관의 특성을 고려하여 산소 전달효율을 최대로 고려해야 할 것으로 사료된다.

본 실험에서의 총 질소제거를 살펴보면 HRT 10~14hr에서 평균 제거효율은 각각 56.9, 61.4, 65.1%로 14hr에서 가장 높은 제거효율을 나타냈다.

운전기간동안의 질소(T-N)의 제거효율은 56.9~65.1%로 얻어졌으며, 처리수의 T-N농도는 대개 15.7mg/L이하로 안정된 처리결과를 보였다.

질소제거에 영향을 미치는 여러 가지 인자 중 C/N비는 가장 중요한 인자로서 일반적으로 BOD₅/TKN비가 3이하이면 분리단계 질산화 공정 BOD₅/TKN비가 5이상이면 혼합공정으로 분류된다. 즉 적절한 질산화가 수행되기 위한 BOD₅/TKN비는 3~5 사이일 것이다. 본 연구는 전단탈질인 혼합공정으로 BOD₅/TKN비가 4.1로 나타났다.

폭기조에서 유기질소 및 NH₄⁺-N의 질산화로 생성된 NO_x-N은 무산소조에서 N₂가스로 탈기된다. 이때 탈질율은 유기탄소원에 의존한다. 본 공법은 질소제거를 위하여 전단탈질(Pre-Denitrification) 시스템으로 먼저 무산소조로 원수의 유기탄소가 유입되기 때문에 이들 유기탄소를 탄소원으로 탈질화에 직접 이용할 수 있다. 또한 전체 질소제거율은 폭기조에서 질산화로 생성된 질산염들이 무산소조의 순환량에 의해 결정되는데 본 실험에

서는 원수유입량의 약 100%가 내부순환 되었다. 그리고 최종침전지에서 혐기조로 반송되는 슬러지는 없으며, 질산염이 함유된 혼합물의 전체 순환량은 100%에 달한다.

3.3. 인 제거

인 제거 미생물은 혐기 조건에서 세포 외부에 있는 유기물을 흡수하기 위한 기작의 일환으로 체내에 있는 다중 인산염을 소모하는데, 이 때 인의 체외 방출이 발생하게 되면서 체내에 Polyhydroxyalkanoates(PHAs)와 같은 저장물질로 전환된다. 만약 호기 조건으로 바뀌면 산소나 NO_3^- 를 전자 공여체로 이용하면서 축적되었던 PHAs를 산화하여 ATP를 생성하는 경로를 경유하고, 혐기 과정 중 방출된 인을 최대한 과잉 섭취(Luxury Uptake)하게 됨으로써 수중의 인을 제거하는 것으로 알려져 있다.

이러한 생물학적 인 제거 메카니즘에 따라 본 접촉산화 Pilot Plant의 운전에서 얻어진 인의 제거효율은 45%정도로 나타났다. 처리수의 인농도는 1mg/L미만으로 아주 만족할 수 있다. 부착성장식공법에서 발생하는 슬러지량이 부유식공정보다 적으므로 유입인의 농도가 3mg/L이상으로 높을 경우나 처리수 인제거효율을 높일 필요가 있을 경우 화학침전 등의 추가공정을 도입해야 할 것으로 사료된다. 또한 혐기조에서 인 방출을 위하여 산소 외에 NO_3^- 같은 전자수용체로 작용하는 물질들을 반드시 제한시켜야 한다.

4. 요약

폐비닐 여재(Synthetic Waste Polyethylene Media)를 적용한 부착성장식 공정의 유기물 및 질소·인 제거특성에 관한 Pilot Plant 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 제거효율은 RUN1~3에서 COD_{Cr} 91.4, 92.4, 93.9%, T-N 56.9, 61.4, 65.1%, T-P는 모든 단계에서 약 45%이상 제거되어 부하변동시에 강한 대처능력을 나타내었다.

2) BOD용적부하 0.18~0.40kg/m³·d, COD용적부하 0.28~0.53kg/m³·d, NH_4^+ -N용적부하 0.12kg/m³·d을 나타내었다.

3) 도시하수 처리를 위한 생물학적 질소 및 인 제거공법을 본 여재를 이용하여 공정설계시 고려할 사항들과 적절한 대처방법을 다음과 같이 제시할 수 있다.

- 1차 침전지에서 유기질소 및 유기인 농도가 높다면 유기질소 및 인 부하량을 감소시키기 위하여 1차 침전지를 설치하되 질소 및 인제거에 유리한 $\text{BOD}_5/\text{T-N}$, $\text{BOD}_5/\text{T-P}$ 를 유지할 수 있도록 체류시간을 1시간미만으로 설계하는 것이 경제적이고 판단된다. 만일 유기질소와 유기인의 함량이 낮다면 1차 침전지는 제외하는 것이 유리할 것이다.

- 여재의 배치는 폭기조에서 용존산소의 균일분포와 슬러지의 적정탈리를 위해 여재를 상하로 배치하거나 또는 여재끼리 일정 간격을 두어 배치하는 것이 바람직하다.

농촌에서의 처분이 문제시 되고 있는 폐비닐을 적용한 본 연구에서의 수처리특성은 기존 하수처리공정에서의 제거효율에 상응하는 처리특성을 나타내었다. 또한 폐비닐 처분의 문제를 해결할 수 있을뿐만 아니라 하수처리시에도 부하변동 등에 강한 대처능력을 나타내어 기존의 하수처리공정에 대체가능성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- 허장 외 4인, 2002, 농촌폐비닐 적정배출과 종합적인 수거촉진을 위한 대국민 홍보방안, 한국농촌경제연구원
- 한국환경자원공사, 2006, 2005년 발생 영농폐기물 통계
- 농림부, 2000, 2001년 친환경농업 육성정책
- Hao, O.H., and Li, C.T., 1987, Effect of Slowly Biodegradable Organics on Kinetic Coefficients, J. San Eng. Div, Vol. 113, No. 1, pp. 147-154
- Eckenfelder, W.W.Jr., and Ford, D.L., 1970, Water Pollution Control, Experimental Procedor for Process Design, Jenkins Book Publishing Co., Austine and New York, pp.17
- Saito, T., D. Brdjanovic and M.C.M. van Loosfrecht, 2004, Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulation organisms, Wat. Res., vol. 38, pp. 3760-3768