한국환경보건학회지, 제34권 제3호(2008)
J. Env. Hlth. Sci., Vol. 34, No. 3, pp 233~239(2008)

Bioaugmentation이 간헐폭기 오수처리장치의 운전효율에 미치는 영향

정병곤†
군산대학교 토목환경공학부
(2008. 5. 10. 접수/2008. 6. 5. 수정/2008. 6. 17. 채택)

Effect of Bioaugmentation on Performance of Intermittently Aerated Sewage Treatment Plant

Byung Gon Jeong†
School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
(Received May 10, 2008/Revised June 5, 2008/Accepted June 17, 2008)

ABSTRACT

In order to improve reactor performance of existing sewage treatment plants, the feasibility of enhancing reactor performance by bioaugmentation using EM as bioaugmentation agent and the effects of anoxic: oxic time ratio on reactor performance were investigated. Continuous and intermittent aeration modes were compared under the 6 hr of HRT. Three different types of intermittent aeration modes, that is, 15 min, of anoxic:45 min of oxic, 30 min of anoxic: 30 min of oxic, and 45 min of anoxic:15 min oxic respectively were chosen as test modes to study the effects of anoxic : oxic time ratios on reactor performance. The optimum anoxic: oxic time ratio was 30 min:30 min when considering simultaneous removal of organic, nitrogen and phosphorus. When applying EM into a continuously aerated reactor under the varying dosing rates of 50-200 ppm, reactor performance in terms of organic and nitrogen removal efficiencies was not improved at all. Nitrogen removal efficiency was increase when the EM dosing rate was increased. However the degree of improvement was slight when the EM was injected above 100 ppm. However optimum phosphorus removal was found at the EM dosing of 200 ppm. Thus it was found that optimum injection concentration of EM is 200 ppm. It is apparent that putting EM into a sewage treatment plant significantly affects the T-N removal efficiency of the reactor by enhancing denitrification efficiency especially in operational conditions of relatively long anoxic periods. To achieve reciprocal condition in a reactor with intermittent aeration it is necessary to enhance the reactor performance by EM injection. In the case of modifying existing continuously aerated reactors into intermittent aerated reactors, it is obvious that operating costs of aeration would be reduced by reducing aeration time when compared with existing conventional sewage treatment plants.

Keywords: bioaugmentation, EM, anoxic : oxic time ratio, nitrogen, sewage treatment

I. 서 론

2006년 말 기준 전국의 하수도 보급률은 85.6%이나 지역별 편차가 뚜렷하여 서울, 부산, 대구와 같은 대도시의 경우 97% 이상이나 충남 및 전남과 같은 농어촌의 경우 약 60% 전후의 낮은 보급률을 나타내고 있다.[1] 2005년 말 기준 하수관거설치연장은 하수도정비기본계획법상의 계획연장 대비 68.2%에 불과하며 그 중 합류식이 56.3%, 분류식이 43.7%를 차지하고 있다.[2] 이러한 자료를 기초할 때 특히 농어촌지역의 경우 마을하수도 규모 이하의 소규모 오폐수처리장치의 설치 및 운용이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 실제 2006년 말 기준 전국 마을하수도 설치현황을 보면 50 m^3/d 미만의 용량을 가진 처리시설이 61.4%로 소규모 처리시설이 상당히 높은 비율을 차지하는 것을 알 수 있다.[2]

특히 이러한 농어촌 지역에서 오염물질의 배출원은 대부분 산재되어 있고 방류수역이 호소나 저수지와 같은 정체수역인 경우가 많아 이들 지역에서 발생되는 생활오수를 적정 처리하지 않고는 공공수역의 수질보전이 어렵게 되어 있다. 이러한 산재된 배출원에서 배출되는 오수에는 유기물뿐만 아니라 질소와 인과 같은 영

†Corresponding author : Faculty of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University
Tel: 82-63-469-1873, Fax: 82-63-469-4964
E-mail : bjeong@kunsan.ac.kr

양염류의 농도도 높다. 정부의 4대강 물 관리 종합대책 및 하수도법 시행규칙상의 방류수 수질기준 강화 등을 감안하여 BOD 10 mg/*l* 이하, COD 40 mg/*l* 이하, SS 10 mg/*l* 이하, T-N 20 mg/*l* 이하, T-P 2 mg/*l* 이하, 대장균군 1,000~3,000개/m*l* 이하의 기준을 만족해야 하는데 기존의 유기물과 부유물질 제거를 위주로 설치·운영되고 있는 기존 시설의 경우에는 질소와 인에 대한 처리는 고사하고, 기존에 요구되는 기준도 제대로 만족하지 못하는 경우가 많아 이러한 오염물질의 제거가 가능한 고효율 소규모 오수처리시설에 대한 기술개발 및 보급이 시급한 실정이다.

이러한 강화된 수질기준에 대응할 수 있는 하나의 방법은 기존 오수처리시설을 철거하고 새로운 시설을 설치하는 것이겠으나, 이는 환경보전 측면이나 경제적인 측면에서 모두 바람직하지 못하다. 환경적인 측면과 경제적인 측면을 모두 만족하면서 오수처리시설의 운전효율을 향상시키는 방법으로는 처리시설의 구조개선 등을 통한 공정개선이 주로 이용되나 오수처리시설의 구조를 그대로 둔 채 반응을 유리하게 이끌 수 있는 상태로 유도하기 위하여 적합한 미생물을 투입하여 미생물환경을 반응에 유리하게 이끄는 방법이 이용되기도 한다. Bioaugmentation이라 불리는 이러한 방법은 반응조의 구조개선 없이 운전효율을 개선할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Bioaugmentation은 미생물의 응집현상과 재폭기 개념을 조합한 시설을 이용하여 기존 하수처리장의 효율개선에 사용되거나[3] 질산화 반응에 있어서 SRT_{min}(minimum Sludge Retention Time)보다 낮은 SRT에서 질산화를 일어나게 하거나[4] 낮은 온도에서 질산화 효율저하를 방지하거나[5] 난분해성 물질의 생분해도를 높이는 등[6] 여러 가지 형태에 적용되어져 왔다. Bioaugmentation에 사용되는 미생물 제재나 미생물 활성제는 여러 가지가 있고 유효미생물(EM : Effective Microorganism) 또한 그 중 하나이다.

EM은 유효미생물군으로 불리며 인간·토양·환경 등에 유익한 기능을 수행하는 다수의 미생물이 공존·공생하면서 상승효과를 발휘하며 광합성세균을 중심으로 유산균, 효모균, 방선균 등 통성혐기성 및 미호기성인 5과 10속 80종 이상의 미생물로 구성되어 있다.[7] 이 미생물 군들은 토양의 항산화 능력을 증대시켜 유기영농이 가능한 것으로 알려져 있고 부패성 쓰레기의 재활용 및 수질개선, 농업(벼, 과일, 채소 등), 화훼, 축산, 수산업 등 각 분야에 걸쳐 사용되어 성과를 보이고 있는 것으로 보고되고 있다.[8,9] 현재 EM은 여러 제품형태(EM Bokashi, EM 세라믹, EM-X 등)로 개발되어 우리나라를 비롯하여 미국, 일본, 동남아 각국 등 여러 나라에서 주로 농업(작물생산, 축산업)분야를 중심으로 보급되고 있다.[10-12] 최근 태국에서는 EM 배양액을 생활폐수처리에 적용시킨 결과 자연의 활성 슬러지에 비하여 처리효과가 별 차이가 나타나지 않았으나 peptone iron agar에 *Proteus vulgaris*를 배양한 경우 악취인 황화수소의 발생을 억제하였다고 보고하고 있다.[13,14]

현재 EM은 국내에서도 농업은 물론 환경문제에도 적용가능성을 평가받고 있는데 주로 음식물류 폐기물과[15-17] 하수슬러지 처리[18] 등의 적용성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. EM을 적용하여 오수정화 효율 향상 등이 보고[19,20]되고는 있으나 실제 적용방법 등에 대하여는 정보가 전혀 없고 국내에서도 적용시킨 사례가 미미한 실정이다. 그러나 소규모 오폐수 처리 시설의 효율 향상을 위하여 EM 적용 가능성을 평가하고 이를 위한 최적 운전방안 등에 대한 연구도 필요하다고 사료된다. 특히 EM의 경우 주로 통성, 혐기성 영역에 속하는 미생물로 구성되어 있는 것으로[7-11] 알려져 있어 호기성과 anoxic 영역이 번갈아 나타나는 간헐폭기식 반응조의 경우 bioaugmentation된 미생물들이 어떤 기작으로 작용하는지에 대한 연구도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 국내에 사용되고 있는 소규모 오수정화시설에 대하여 bioaugmentation 적용 가능성을 평가하기 위하여 EM을 이용한 오수처리시설 성능 개선을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

일반적인 활성슬러지법은 SRT를 5~15일로 MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)는 1,500~3,000 mg/*l*로 하고 수리학적 체류시간은 일반적으로 유출수 기준에 따라 좌우되지만 유입 유량 기준으로 4~8시간의 범위에서 운전되고 있다. 이 경우 F/M비는 0.2~0.4 kg BOD_5/kg MLVSS·day이며 용적부하는 0.3~0.6 kg BOD_5/m^3·day로 설계 운전되고 있다.[21] 본 실험에서는 Fig. 1에 도시된 형태의 반응기를 사용하여 전체 반응조의 수리학적 체류시간을 6시간으로 고정하였으며, 비폭기 또는 폭기 시간을 조절하여 운전하였다. 전체 반응조는 48 *l* 용량으로 제작하였으며 전단에 8 *l*의 혐기성조를 설치하고 폭기조는 각 조가 10 *l* 용량이 되게 4개로 구획하여 간헐 폭기조로 운전하였

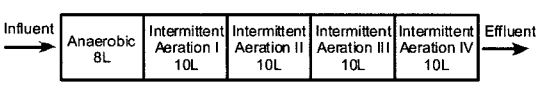

Fig. 1. Schematic diagram of experimental unit.

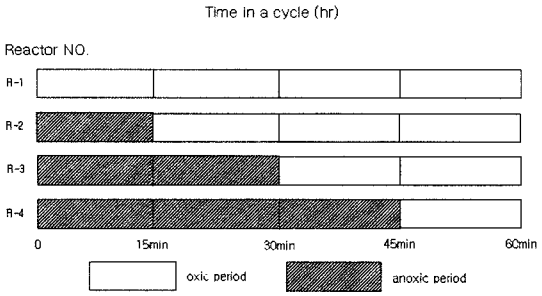

Fig. 2. Operational schedule for the intermittent aeration in reactor.

다. 각 반응조별 간헐폭기 운전조건은 Fig. 2에 나타내어 놓았다.

실험에 사용된 인공합성폐수의 성상을 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용한 EM(Effective Micro-organism) 원액은 전북 정읍시에 소재한 대지산업에서 구하였으며, EM 활성액을 제조한 후 시험에 사용하였다. EM 활성액은 쌀뜨물 1 *l*에 시중에서 시판되는 흑설탕 15 g과 EM 원액 15 m*l*를 밀폐용기내에 넣고 25℃로 유지되는 항온기에 일주일간 숙성시킨 후 사용하였다.[8]

Table 1. Composition of the synthetic wastewater

Constituents	Concentrations	Sources
Glucose, $C_6H_{12}O_6$	200 mg	Carbohydrates
Sodium acetate (CH_3COONa)	260 mg	"
$(NH_4)_2SO_4$	118 mg	Nitrogen
KH_2PO_4	57 mg	Phosphorus
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	50 mg	Trace metal
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	100 mg	"
NaCl	100 mg	"
Tap water	to 1 liter	

Table 2. Analytical methods and instruments

Item	Unit	Method and Instrument
pH		pH meter (HORIBA H-7 LD)
DO	mg/*l*	Oxygen meter (YSI model 57, Yellow) Springs Instrument Co., Inc.
TSS, VSS	mg/*l*	Gravimetric method (Glass Fiber Filters, TOYO ROSHI Co., Ltd.)
COD	mg/*l*	Potassium dichromate reflux method
NH_3-N	mg/*l*	Phenate method (Double Beam Spectro-Photometer, UV 140-02, SHIMADZU)
NO_2-N	mg/*l*	Cadmium reduction method
PO_4^{3-}-P	mg/*l*	Ascorbic acid method
Total P	mg/*l*	Digestion/Ascorbic acid method

본 연구의 모든 분석방법은 Standard Method[22]를 기준으로 하였으며 사용한 분석 방법 및 실험기기는 Table 2에 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 간헐폭기 시간비에 따른 처리효율변화

연속적으로 폭기를 시킨 R-1 반응조에서부터 R-2, R-3, R-4로 가면서 폭기 기간을 줄여가며 운전한 결과 Fig. 3에서 보는바와 같이 연속폭기를 시킨 R-1의 96.4%에 비해 비폭기 기간비를 늘린 R-3, R-4에서 둘 다 97.7%를 나타내어 다소 증가하였으나 그 차이는 미미하여 비폭기 : 폭기 시간비의 변화에 따른 COD 제거효율 변화는 정상상태 평균 제거효율을 기준으로 할 때 거의 차이가 없는 것으로 판단되었다.

이는 폭기 : 비폭기 시간비를 30분 : 60분, 2시간 : 4시간, 4시간 : 8시간으로 조절하여 간헐폭기 cycle에 따른 제거효율 변화를 살펴본 실험에서 COD의 경우 간헐폭기 시간비에 따른 영향이 거의 없었다는 Kim and Lee의 연구[23]와 일치한다.

NH_3-N의 경우에는 폭기만을 시킨 R-1에 비하여 비폭기 비를 늘린 R-2, R-3에서 효율이 증대하였으나 비폭기 : 폭기 비를 45 min : 15 min으로 유지시킨 R-4에서는 처리효율이 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이는 폭기만을 시킬 때보다 간헐폭기 방식이 암모니아성 질소의 제거에 더 효율적이나 본 연구에서 적용한 1시간을 기준한 분배비율은 비폭기 시간이 절반 즉, 30분 이상을 초과하면 오히려 효율이 감소한다는 의미이다. 폭기에 따른 운전경비 측면에서 볼 때 비폭기기간의 증가가 경제성 측면에서는 유리하므로 경제성 측면까지 고려할시 비폭기 : 폭기 비는 30 min : 30 min이 적절한

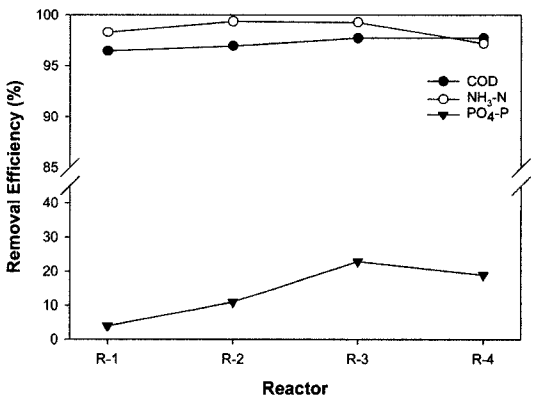

Fig. 3. Comparison of COD, NH_3-N, PO_4-P removal efficiencies.

것으로 나타났다.

한편 PO_4-P의 제거효율은 전체적으로 미미하였으나 R-3 반응조에서 상대적으로 높게 나타나 유기물 및 영양염류의 제거효율 등을 모두 고려할 경우 비폭기 : 폭기 비를 30 min : 30 min으로 유지한 R-3 반응조가 가장 유리한 운전조건인 것으로 나타났다.

폭기/비폭기 시간비를 30분/60분, 2시간/4시간, 4시간/8시간으로 변화시켜 실험한 Kim and Lee[23]의 연구에 의하면 COD 제거율은 간헐폭기 시간비 변화에 크게 영향을 받지 않았으나 T-P는 30분/60분에서 가장 좋은 효율을 나타내었다고 보고하고 있다. 또한, 부직포 여과막 생물반응조에서 폭기/비폭기 시간비가 하수의 유기물 및 질소제거에 미치는 영향을 연구한 Hwang *et al.*[24]의 연구에 의하면 2시간의 주기시간에서 폭기/비폭기 시간비를 50분/70분, 40분/80분 그리고 30분/90분으로 변화시키면서 실험한 결과 BOD 제거율은 폭기/비폭기 시간비 변화에 관계없이 거의 일정한 효율을 나타내었으나 질소제거율은 40분/80분에서 가장 높게 나타났다. 한편, Jeong *et al.*[25]은 간헐 폭기조의 폭기/비폭기 시간을 30분/30분, 60분/60분, 90분/90분 3가지 형태로 운전해본 결과 COD 제거효율은 폭기/비폭기 시간비에 따라 두드러진 차이를 나타내지 않았으나 인제거 효율 측면에서는 60분/60분에서 상대적으로 높은 제거효율을 나타내었다. T-N 제거효율은 유의한 차이를 나타내지 않았으나 질산화는 90분/90분에서 탈질은 60분/60분에서 상대적으로 높은 효율을 보였다고 보고하고 있다. 하수처리장 유입수를 간헐폭기공정으로 처리할 때 폭기/비폭기 시간의 배분이 질산화와 탈질화에 미치는 영향을 평가한 Lee *et al.*[26]의 연구에 의하면 폭기/비폭기 주기가 2시간/1시간, 1시간/1시간, 2시간/2시간으로 운전하였을 때 총질소 제거효율은 1시간/1시간이 가장 좋았으며 그 다음이 2시간/2시간, 2시간/1시간 순인 것으로 보고되고 있다. 또한, SBR에서 폭기/비폭기 시간비를 6시간/0, 4시간/2시간, 3시간/3시간, 4시간/2시간으로 변화시키면서 실험한 Ryou *et al.*[27]의 연구에서도 유기물 제거효율은 혼합 및 폭기시간 배분에 관계없이 일정한 제거효율을 나타내지만 총 반응시간 6시간 중 폭기시간이 증가할수록 COD, 인 및 암모니아 제거효율이 점차 증가하였다고 보고하고 있다. 이상과 같은 고찰에서 볼 때 유기물 제거효율은 폭기/비폭기 시간비에 거의 영향을 받지 않으며 질소와 인과 같은 영양염류의 제거효율은 폭기/비폭기 시간비에 따라 상당히 영향을 받으나 영향인자들이 복잡하여 최적 폭기/비폭기를 일률적으로 단정하기는 불가능하다는 것을 알 수 있다.

2. Bioaugmentation에 따른 처리효율 변화

Bioaugmentation의 영향을 파악하기 위하여 각 반응조에 EM을 V/V base로 50~200 ppm(EM 주입량/폐수 유입량)으로 주입량을 변화시켜 가며 실험을 실시하였다. 그 결과 COD의 경우에는 Fig. 4에 나타내어 놓은 바와 같이 연속폭기 반응조인 R-1의 경우에는 EM 주입량에 따라 제거율이 96.1%, 96.7%, 97.5%, 97.7%로 미미하나마 비례적으로 증가하는 양상을 나타내었다. 그러나 간헐폭기 반응조인 R-2, R-3, R-4에서는 EM 주입량을 50 ppm에서 100 ppm, 150 ppm으로 증가시 처리효율의 증가가 비교적 뚜렷하였으나 그 이상에서는 EM 주입량 증가에 따른 처리효율 변화가 거의 없는 것으로 나타나 간헐폭기 반응조의 경우 본 연구에서 적용한 비폭기/폭기 시간비 범위 내에서는 시간비에 관계없이 150 ppm이 최적인 것으로 나타났다.

한편, NH_3-N의 경우는 Fig. 5에 나타내어 놓은 바와

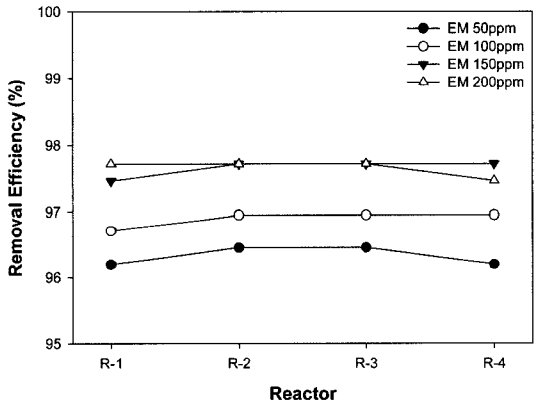

Fig. 4. Comparison of COD removal efficiencies depending on EM dosage in each reactor.

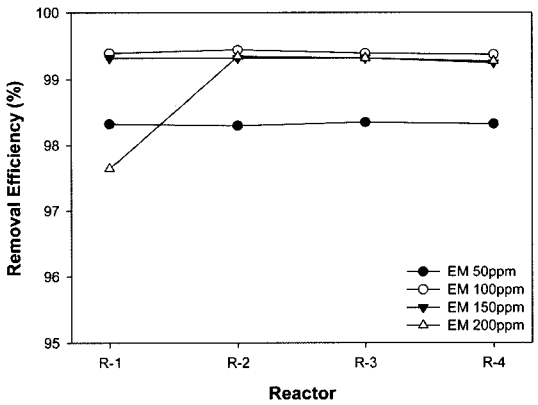

Fig. 5. Comparison of NH_3-N removal efficiencies depending on EM dosage in each reactor.

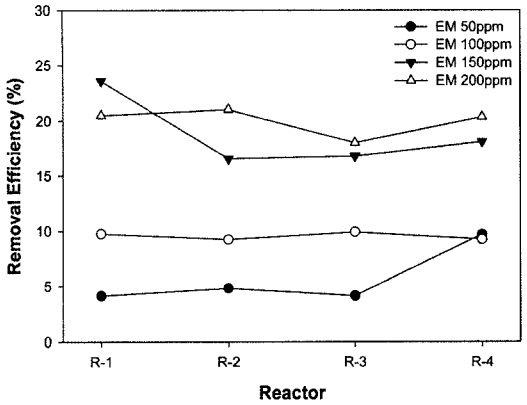

Fig. 6. Comparison of PO_4-P removal efficiencies depending on EM dosage in each reactor.

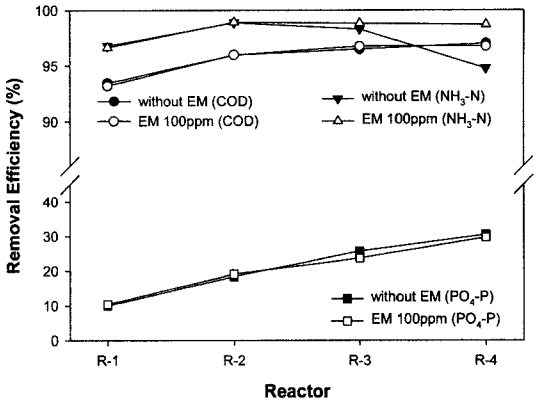

Fig. 7. Comparison of COD, NH_3-N, PO_4-P removal efficiencies in each reactors with and without EM addition.

같이 EM 주입농도를 50 ppm에서 100 ppm으로 증가시 폭기/비폭기비에 관계없이 전체 반응조에서 효율 증가가 뚜렷하였으나 100 ppm 이상에서는 EM 주입량 증가와 반응조 NH_3-N 제거효율 증가가 일치하지 않는 것으로 나타나 100 ppm이 최적치인 것으로 나타났다. NH_3-N의 경우 R-1, R-2, R-3 반응조에 있어서는 COD의 경우와 유사하게 별다른 차이를 나타내지 않았으나 비폭기 : 폭기 기간비를 15 min : 45 min으로 운전한 R-4 반응조의 경우 EM 주입에 의하여 반응조 운전효율이 뚜렷하게 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 EM 주입은 anoxic 기간이 비교적 긴 R-4 반응조의 NH_3-N 제거효율 향상에 크게 이바지 하는 것으로 나타났다.

EM 주입량 증가에 따른 각 반응조간 PO_4-P 제거효율 변화를 나타낸 Fig. 6에 의하면 연속포기 반응조인 R-1의 경우 EM 주입농도 150 ppm과 200 ppm간에는 제거효율 차이가 없는 것으로 나타났으나 간헐폭기 반응조인 R-2, R-3, R-4에서는 EM 주입농도 증가에 따라 PO_4-P 제거효율 또한 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 150 ppm과 200 ppm 사이에는 그 차이가 얼마되지 않아 200 ppm 이상에서는 제거효율 증가가 거의 없을 것이라는 것을 예측할 수 있게 하였다. 즉, 간헐폭기 반응조인 R-2, R-3, R-4 반응조에서 EM 주입농도 200 ppm에서는 R-2 반응조에서 가장 높은 제거효율을 나타내었으며 EM 주입량을 50, 100, 150, 200 ppm으로 증가시킴에 따라 반응조 PO_4-P 제거효율이 4.5%, 9.6%, 17.1%, 19.8% 로 증가하였다 증가율에서 보다시피 150 ppm까지는 주입량 증가에 따라 제거효율 향상이 거의 직선적이었으나 150 ppm에서 200 ppm으로 증가시 제거효율 증가는 대단히 완만하여 200 ppm 이상에서 제거효율 증가는 미미할 것으로 판단되었다.

따라서 본 실험결과를 종합하여 판단할 때 Fig. 7에 나타내어 놓은바와 같이 연속폭기 반응조인 R-1에 비하여 R-2~R-4 반응조의 운전효율이 향상되는 것으로 보아 연속폭기방식보다는 anoxic : oxic 환경을 번갈아 가며 반응조를 운전하는 간헐폭기방식으로 운전 mode를 바꾸어서 운전하는 것이 반응조 운전효율 향상을 도모하면서 폭기에 따른 동력비 감소를 통해 시스템 운전경비를 감소시킬 수 있다고 판단된다. 또한 EM주입은 유기물 제거효율에는 별 영향을 주지 않지만 질소와 인제거 효율에는 개선효과가 있는 것으로 나타났으며 본 연구에서는 150 ppm이 최적인 것으로 나타났다.

IV. 결 론

기존 오수정화시설의 성능개선을 위해 bioaugmentation에 의한 효율향상과 비폭기 : 폭기 기간비 변화에 따른 처리효율 변화를 조사하였다. 유기물의 경우 간헐폭기 시간비 변화에 관계없이 거의 일정한 제거효율을 나타내었다. Bioaugmentation agent로서 EM을 사용하여 EM 주입농도에 따른 유기물제거효율 변화를 조사하였다. EM 주입량을 50 ppm에서 200 ppm까지 증가시키면서 실험을 수행한 결과 COD의 경우 150 ppm 이상에서는 제거효율의 변화가 없어 유기물 제거를 기준으로 할 경우 150 ppm이 최적치로 나타났다. NH_3-N 제거효율을 기준으로할 때 EM 주입농도를 50 ppm에서 100 ppm으로 증가시 폭기/비폭기비에 관계없이 전체 반응조에서 효율 증가가 뚜렷하였으나 100 ppm 이상에서는 EM 주입량 증가와 반응조 NH_3-N 제거효율 증가가 일치하지 않는 것으로 나타나 100 ppm이 최적치인 것

으로 나타났다. 비폭기 : 폭기시간비는 COD의 경우와 마찬가지로 30 min : 30 min가 최적으로 나타났다. PO_4-P의 경우도 비폭기 : 폭기시간비는 30 min : 30 min가 최적이나 EM 주입농도는 최적치가 200 ppm으로 나타나 유기물, 질소, 인제거 모두를 목적으로 하는 경우에는 EM 주입농도는 200 ppm이 최적치인 것으로 나타났다.

유기물과 영양염류의 제거효율, 시스템 소요 에너지 등을 모두 고려할 경우 반응조의 최적 비폭기 : 폭기 기간비는 비폭기 : 폭기 기간비가 30분 : 30분인 R-3 반응조가 가장 유리한 것으로 나타났다.

EM 주입은 총질소 제거효율 변화에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 비폭기 : 폭기 기간비를 15분 : 45분으로 운전한 반응조의 경우 EM 주입에 의하여 반응조 운전효율이 뚜렷하게 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 EM 주입은 anoxic 기간이 비교적 긴 운전형태에서 탈질효율 상승에 기여함으로 해서 전체 반응조의 총질소 제거효율을 높이는데 크게 이바지 할 것으로 판단된다.

반응조에 anoxic : oxic 환경을 번갈아 가면서 조성하는 것이 EM 주입을 통한 반응조 효율향상에 필수적이며, 이를 위해서는 연속폭기방식 보다는 간헐폭기방식으로 운전 mode를 바꾸어서 운전하는 것이 타당하다. 또한 간헐폭기방식으로 운전할 경우 기존 정화시스템보다 폭기 시간을 줄일 수 있어 폭기에 따른 동력비 절감효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년 군산대학교 수산과학연구소학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Ministry of Environment : 2007 Environmental Statistics Yearbook, 491-492, 2008.
2. Ministry of Environment : 2007 Environmental White Paper, 2008.
3. Sung, I. W. : A study on improvement of sewage treatment system. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **19**(3), 36-40, 1993.
4. Abeysinghe, D. H., De Silva, D. G., Stahl, D. A. and Rittmann, B. E. : The effectiveness of bioaugmentation in nitrifying systems stressed by a washout condition and cold temperature. *Water Environmental Research*, **74**(2), 187-199, 1999.
5. Head, M. A. and Oleszkiewicz, J. A. : Bioaugmentation for nitrification at cold temperatures. *Water Research*, **38**, 523-530, 2004.
6. Wang, J., Quan, X., Wu, L., Qian, Y. and Werner, H. : Bioaugmentation as a tool to enhance the removal of refractory compound in coke plant wastewater. *Process Biochemistry*, **38**, 777-781, 2002.
7. Higa, T. : Agricultural Use of Microorganism and Environmental Conservation, Hyung Sul Publishing, 1991.
8. EM Research Organization : EM Application Manual for APNAN Countries, 1st ed., 1-7, 1995.
9. Higa, T. : An Earth Saving Revolution, Sunmark Publishing Tokyo, Japan, 1993.
10. Higa, T. : What is EM Technology? College of Agriculture, University of Ryukyus, Okinawa, Japan, 1995.
11. Sangkkara, U. R. : The technology of Effective Microorganism - Case Studies of Application, Royal Agricultural College, Cirencester, UK Research Activities, 2002.
12. Freitag, D. G. : The Use of Effective Microorganisms in Organic Waste Management. http://emtrading.com/em/htmlpapers/emwasterepfreitag.html. 2000.
13. Wangkorbkiat, A, Chauyaphinan, A. and Sunthomphithak, S. : Reduction of Nitritious Substance in Wastewater by EM, In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bankok, Thailand, 157-162, 1995.
14. Wangkorbkiat, A., Kanthiya, A. and Chathanao, A. : Effect of EM on Resisting Production of Hydrogen Sulfide, In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bankok, Thailand, 170-174, 1995.
15. Lee, J. H., Jeong, J. O. and Park, S. H. : A study on the composting process of food waste by seeding the isolated Effective Microorganism. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **26**(3), 1-10, 2000.
16. Ko, S. C. and Hyun, H. N. : Effect of EM(Effective Microorganism) Treated Food Wastes on Soil, Proceedings of KORRA 98 Spring Seminar, 57-65, 1998.
17. Ko, S. C., Song, Y. C. and Kim, I. S. : Efficient treatment of food wastes by EM(Effective Microorganism) and their recycling. *Journal of Korea Solid Waste Engineering Society*, **14**(7), 729-740, 1997.
18. Choi, C. S., Joo, G. J., Lee, D. H., Choi, C. L., Lee, I. G. and Choi, J. : Efficient treatment of sewage sludge by Effective Microorganism. *Agricultural Research Bulletin of Kyungpook National University*, **17**, 45-52, 1999.
19. Roh, S. H., Yun, Y. J. and Kim, S. I. : Removal of nitrogen and phosphorus in the wastewater by Effective Microorganism. *Applied Chemistry*, **5**(2), 180-183, 2001.
20. Roh, S. H. and Kim, S. I. : A study on the removal of nitrogen and phosphorus in the SBR process by Effective Microorganism. *Applied Chemistry*, **6**(1), 260-263, 2002.
21. Metcalf & Eddy : Wastewater Engineering: treatment disposal reuse, Mc Graw-Hill, 1979.

22. APHA, AWWA, WEF : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed., American Public Health Association. Washington DC., 2005.
23. Kim, D. M. and Lee, Y. S. : Removal of N and P by intermittented aerated activated sludge process. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **18**(2), 57-61, 1992.
24. Hwang, D. Y., Kang, B. C. and Cho, K. M. : Effect of aeration/non-aeration time ratio on the removal of organic matter and nitrogen in sewage with intermittently aerated nonwoven fabric filter bioreactor. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **25**(2), 258-265, 2003.
25. Jeong, M. S., Lee, J. H., Seo, K. B. and Kim, Y. K. : Influence of aeration cycle on nitrogen and phosphorus removal in two-stage intermittent aeration system. *Journal of Industrial Technology, Kangwon National University, Korea*, **23**(A), 15-19, 2003.
26. Lee, H. G., Bae, J. S., Choi, K. S., Han, K. B. and Kim, C. W. : Evaluation of ORP applicability and on-off aeration cycle for nitrogen removal in intermittent-aeration activated sludge process. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **20**(1), 9-18, 1998.
27. Ryou, D. C., Jeong, B. G. and Yang, B. S. : The biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor activated sludge process. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **11**(2), 17-26, 1989.