

鐵 接觸材를 利用한 間歇曝氣式 活性污泥 工法에 依한 磷의 除去

이영신 · 김동민*

한서대학교 환경공학과, *서울시립대학교 환경공학과

Removal Phosphorus Using Iron Contactor by Intermittent Aeration Activated Sludge Process

Young Shin Lee and Dong Min Kim*

Han Seo University, *Seoul City University

ABSTRACT

The problem for the removal of phosphorus increased due to reasons like eutrophication control. However its removal and operating criteria were not well developed. This study was made for enhanced removal of P by iron contactor by intermittent aeration activated sludge process. Experiment was conducted to find the effects of organic substance load and HRT, nutrient removal efficiency. When applied organic substance load and HRT, II & III reactor were good treatment efficient while come from Fe of iron contactor. Release of phosphorus from II & III reactor sludge under anaerobic condition was low. As the process developed, the content of released ionized Fe from iron contactor increased. In addition, the rate of phosphorus removal became accelerating, and the removed sludge was stabilized in the existence of insoluble status.

Keywords : Eutrophication, iron contactor, intermittent, phosphorus, anaerobic.

I. 서 론

1. 연구목적

하·폐수처리의 초기공정은 주로 유기물과 고형물 및 병원균의 감소가 주 목적으로 하는 2차 처리공정이었으나, 환경오염의 심화로 오염물질의 양적 증가와 다양화로 수질변화가 야기되고 있어 이를 오염물질의 제거를 위한 3차 처리 및 고도처리를 필요로 하고 있다.

특히, 인 등의 영양염류 등이 미처리된 상태에서 호수 및 하천 등의 상류원에 배출됨으로써, 식물성 플랑크톤이 과다 성장되어 부영양화 상태에 이르게 되며 상수원으로 사용하는데 많은 제한을 받게 된다.^{1,2)} 우리나라에는 최근 주요 식수원인 땅, 호 등의 부영양화가 심각히 대두됨에 따라, 유역에 따라 질소, 인 제거를 위한 고도처리가 필요하다고 판단되는데, 현재 이들 유역에 대한 영양염류의 배출기준은 정해져 있지 않고 1980년 질소와 인을 추가적용하고

있는 수질환경기준(호소)와 1990년 5월 개정된 해역별 수질기준에 규제를 받고 있는 실정이다.

상수원의 부영양화가 인의 영양염류에 의한 조류 성장이 원인이라 밝혀진 바, 이를 영양염류의 제거를 목표로 하는 처리기술의 개발 및 시설의 보급과 확충이 시급하다.

이들 인의 제거방법에는 물리적, 화학적, 생물학적 방법 등이 있는데 그 기술형태에 따라 phostrip process, bardenpho process, UCT process, UCT process, A₂O process, SBR 등이 있으나, 일반적으로 생물학적 처리방법이 더 경제적이며 운전이 용이하고, 처리장으로부터 제 2의 오염물질이 발생할 위험성이 적다는 등의 장점 때문에 관심의 대상이 되고 있다.

본 논문의 목적은 인 제거를 위한 처리기술의 개발형태인데 종전의 공법과 새로운 공법을 조합하여 배수처리에 응용함으로써 그 혁신을 도모하고자 하며 이들 과정에서 안정한 슬러지를 배출하는 데

있다.

2. 연구동향

인 같은 영양물질이 수중생태계에서 용존산소를 고갈시키고 부영양화를 유발시키는 등 생태계를 파괴하는 결과를 초래한다는 사실이 밝혀짐에 따라 영양물질 제거에 대한 관심이 고조되어 왔다.

인 제거를 위한 고도처리 발전의 역사는 캐나다와 국경지대인 5대호 유역에서 질소, 인의 유입이 호수 생태계에 문제를 야기하면서 부영양물질의 규제가 행해지면서부터이다.

초기의 처리방법은 물리 화학적, 생물학적 방법에 의한 유기물 제거, 영양물질 제거를 목적으로 한 응집침전법이 주종이었다. 그러나, 1971년 말경 석유 파동으로 물리 화학적 처리법에서 생물학적 방법에 의한 질소, 인 제거법의 실용화로 전환하여 중점적으로 개발되었다.

인 제거방법으로 기존의 공법은 2차 처리된 처리수를 3차 처리 시스템에 옮겨 화학약품으로 침전제거 시키는 것이 주종을 이루고 있어 이 방법은 2차 처리과정과 3차 처리과정을 별개의 시스템으로 구성하므로 상호연관성이 없을 뿐더러, 3차 처리에 별도의 많은 화학약품이 들어감은 물론, 처리 후 많은 양의 슬러지가 발생하기 때문에 경제성 면에서 그 문제점이 제시되고 있다. 따라서 운영경비가 적게 들고 2차 처리공정에서 유기물과 같이 인을 제거할 수 있는 생물학적 처리방법을 많이 연구하고 있다. 생물학적으로 인 제거를 위한 모든 공법은 반응조 내에 주기적인 협기/호기상태를 유지하여야 하는데 이를 공정에서 인제거 뿐만 아니라 질소의 동시제거도 가능하다.^{3,4)}

그러나 이들 process는 공정의 복잡성 및 이에 따른 고도의 처리기술이 요구되고 운영비가 과다로 요되는 것으로 보고되고 있다. Irvine에 의해 비교적 체계화된 연속회분식 활성슬러지 공법(sequencing batch activated sludge process)은 하나의 연속회분식 반응조에 일정시간 간격으로 폐수를 유입, 반응, 침전, 유출시킴으로써 쉽게 협기 및 호기조를 유지하여, 연속처리 공정에 비교하여 운전의 용이성은 물론 건설비 및 운영비에 있어서도 저렴하여 처리효율에 있어서도 높은 제거율을 얻는 것으로 보고되고 있다.^{5~8)}

또한 현재 일본에서 간헐 폭기방식에 철 접촉재를 조합하여, 처리효율을 높이고, 안정된 슬러지를 생산하여, 이것을 비료로 재이용하는 처리가 실용화

되고 있다.^{9~14)}

II. 실험 및 측정방법

철 접촉재를 이용한 간헐폭기 방식에 의한 실험은 호기/협기조건 및 반응과 침전이 하나의 반응조에서 일어나도록 하기 위해 사각조형 아크릴 수지 3조로 실험을 수행하였다. 각조의 크기는 25×20×36 cm의 각형 구조로 유효용량은 약 18 l이다. 1회의 처리용량은 1 cycle 8시간의 처리로 했다. 예비단계, 즉 안정된 처리가 얻어진 후, 본 실험단계로서 1조(I)에는 아크릴 원판 10매(반경 5 cm), 2조(II)에는 철판 5매(반경 5 cm, SS41 강판) 3조(III)에는 철판 10매를 침적하였으며, 장치는 Fig. 1과 같다.

실험에서 사용된 폐수는 일반가정하수의 성분과 비슷하게 하기 위해 탄소원으로는 glucose를 사용하여 Table 1, 2와 같이 사용하였고, 폐수 주입시 폐수의 pH가 저하되는 것을 방지하기 NaHCO를 소량 주입하였다. 중균은 중량하수처리장의 폭기조 혼합액을 사용하였으며, COD 500 ppm으로 적응시켜 I, II, III의 각 반응조에 넣었다.

실험은 3단계로 나누어 수행하였으며, 1단계에서는 유기물 부하에 따른 제거효율을 조사하기 위하여 유기물 농도를 500, 700, 900, 1200 mg/l로 변화하여 유기물 제거효율, P 제거효율 등을 조사하였다.

2단계는 수리학적 체류시간(HRT)에 따른 제거율을 조사하기 위해 체류시간 간격을 24, 12, 8, 4 hr로 조사하였다.

3단계에서는 슬러지 특성 및 침전된 슬러지로부터 T-P 채용률을 조사하기 위해서 3l 협기성조를 설

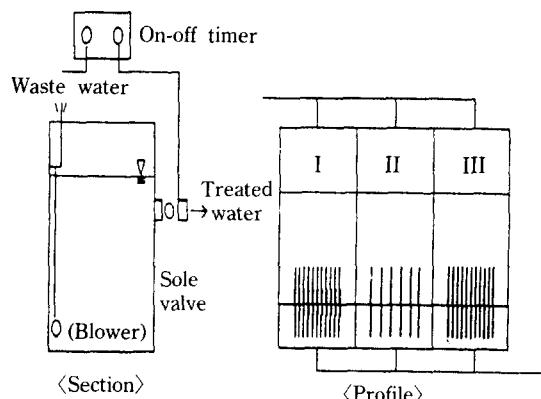


Fig. 1. Conceptual figure of device for model experiment.

Table 1. Composition of synthetic wastewater

Component	Concentration (mg/l)
Glucose	as COD : 500
NH ₄ Cl	50
MgSO ₄ ·7H ₂ O	50
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.25
MgSO ₄	5
CaCl ₂	3.75
KH ₂ PO ₄	70.33
NaHCO ₃	200

치하여 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유기물 부하에 따른 조사연구

본 실험장치에 의한 유기물 제거효율을 조사하기 위하여 유기물 농도를 달리하여 유기물 제거 및 P 제거를 조사한 결과 Table 3과 같았다.

정상상태에서 각 성분들이 평균제거효율을 볼때 COD의 경우, I 반응조의 제거효율은 II 반응조와 III 반응조의 제거효율을 보다 떨어졌으며 유기물 농도를 증가하여도 같은 결과를 얻었다. 이것은 II와 III 반응조의 철판에서 용출되는 Fe이 COD 제거에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

인의 경우, COD 제거율에서 나타난 현상과 마찬가지로 II와 III 반응조의 제거율이 높았다. 이것은 西口猛의 연구결과, 철 접촉제에서 용출한 Fe이, 폐수중의 인과 결합해서 인산 철염 등의 화학적으로

Table 2. Concentration of artificial wastewater

Parameter	Concentration (mg/l)
BOD	170
COD	500
T-N	30
T-P	10
pH	7

안정된 난용성 물질이 되어 슬러지와 같이 침전제거 된다는 조사결과 보고와 일치되는 결과라고 생각된다.

2. HRT에 따른 조사연구

수리학적 체류시간(HRT)에 따른 결과 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. 4, 12, 8, 4 hr에 따른 인 제거효율을 조사한 결과 I 반응조는 체류시간이 24 hr인 경우 4 hr보다 제거효율이 약간 높아서 체류시간에 따른 영향은 미비한 것으로 생각되며 II와 III 반응조의 경우 체류시간이 8 hr 이상일 때 인 제거효율이 90% 이상으로 나타났고 4 hr일 때 80~92%로 나타났다. 이것은 철판을 주입한 경우 반응시간이 짧아도 Fe이 어느 정도 용출됐을 경우 P 제거효율이 높게 나타나는 것으로 생각된다.

3. 슬러지 처리

활성슬러지의 특성을 조사하기 위해서 반응조 내에 슬러지를 인출하지 않은 결과 MLSS가 4030~

Table 3. Summary of steady-state date for experiment

Parameter	Run 1		Run 2		Run 3		Run 4		
	Feed	Effluent	Feed	Effluent	Feed	Effluent	Feed	Effluent	
COD (mg/l)	I	500	25.2	700	23	900	20.5	1200	33
	II	500	11.2	700	10.1	900	12.5	1200	15
	III	500	10	700	8.7	900	8.96	1200	14.9
Phosphorus (mg/l)	I	10	3.2	10	3.74	10	2.11	10	2.64
	II	10	0.17	10	0.168	10	0.137	10	0.104
	III	10	0.18	10	0.10	10	0.129	10	0.103
T-N (mg/l)	I	30	8.92	30	7.68	30	7.02	30	6.94
	II	30	9.27	30	5.88	30	6.38	30	6.32
	III	30	7.32	30	7.28	30	7.0	30	6.81
pH	I	7.2	7	7.0	7.2	7.0	6.9	7.0	7.1
	II	7.0	7.1	7.0	7.25	7.1	6.8	7.1	7.0
	III	7.1	7.1	7.1	7.3	7.0	6.8	7.1	6.9

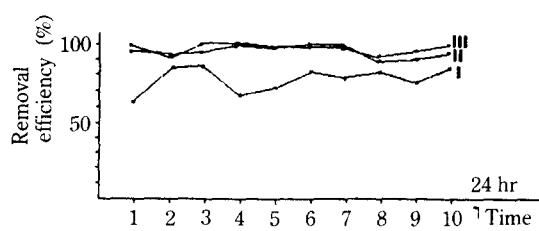


Fig. 2. Effect of HRT (24 hr) on removal efficiency.

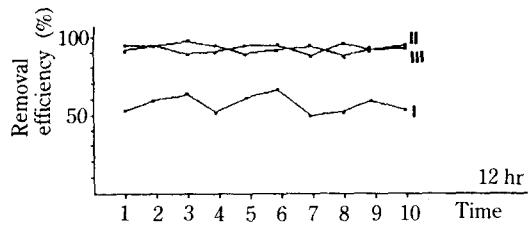


Fig. 3. Effect of HRT (12 hr) on removal efficiency.

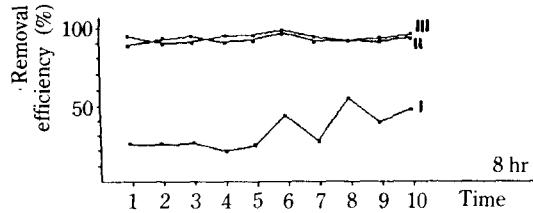


Fig. 4. Effect of HRT (8 hr) on removal efficiency.

6277 mg/l 정도로 증가했다.

각 반응조내의 슬러지상태를 살펴보면 I반응조는 슬러지 침전시간과 비교했을 때 반응조의 상태가 불투명했으나, II와 III반응조는 같은 침전시간에 반응조내의 철판이 선명하게 나타나 I반응조에 비해 안정하게 침전제거된 것으로 보였다. 이것은 I반응조에 비해 II와 III반응조는 철판에서 용출된 철이 슬러지내에 포함되어 슬러지의 가운데 중심핵의 역할로 슬러지의 크기를 크고 무겁게 하는 작용에 기여해 짧은 시간내에 빨리 침전제거 되는 것으로 생각된다. 이것은 슬러지 미생물사진에서 확인된 사실과 일치한다.

반응조별 슬러지의 MLSS를 조사한 결과 Table 4와 같다.

다음으로 협기성 상태에서 슬러지로부터 TP의 채용률 경향을 조사하기 위해 슬러지 1000 mL를 채취하여 3L 협기조에 주입한 후, 60 rpm으로 교반 했으며 온도는 35°C로 고정하였다.

일정기간마다 협기성조의 상등수를 채취하여 T-

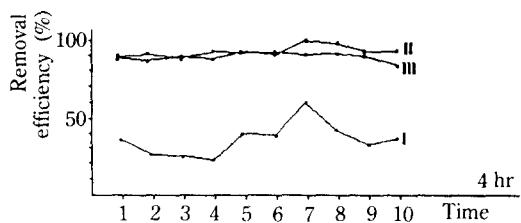


Fig. 5. Effect of HRT (4 hr) on removal efficiency.



Fig. 6. Release of phosphorous from activated sludge under unaerobic condition.

Table 4. Sludge situation

Item	I	II	III
MLSS (mg/l)	4030	6277	6080
MLVSS (mg/l)	3900	6100	5830
T-P (mg/l)	102	292	288
Fe (mg/l)	12	567	602

P를 분석하였다. Fig. 3은 협기성 상태에서 I반응조의 슬러지는 시간이 경과함에 따라 인의 방출이 증가하였고, II와 III반응조의 슬러지는 시간이 경과해도 인의 방출이 일정하게 유지되었다.

IV. 결 론

철 접촉제를 이용한 간헐폭기식 활성슬러지 공법에 의한 인 제거결과 철의 용출, 유, 무에 따라 처리효율이 차이가 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 유기물 부하에 따른 조사연구 결과

II와 III반응조의 유기물 제거 및 인 제거율이 I반응조에 비해서 높았으며, 유기물농도(500, 700, 900, 1200 mg/l)를 증가하여도 II와 III반응조의 제거율이 높았다.

② HRT에 따른 조사연구 결과

HRT(24, 12, 8, 4 hr)가 감소함에 따라 I반응조의 P 제거효율이 감소했으나, II와 III반응조의 경우

HRT를 4 hr로 감소하여도 비슷하게 P의 처리율이 유지되었다.

③ 슬러리 처리조사 결과

I반응조의 경우 슬러지량(MLSS)이 평균 4030 mg/l로, II와 III반응조(각각 6277, 6080 mg/l)보다 떨어졌으며, 슬러지내의 인(P)과 철(Fe)의 농도가 I반응조에 비해서 II, III반응조가 더 높게 나타났다. 슬러지 처리시간(1~30일)이 경과함에 따라 I반응조의 경우 P의 용출이 낮게 나타났다.

참고문헌

- 1) G. Fred Lee, R. Anne Jones and Walter Rast : Alternative Approach to Trophic State "Classification for Water Quality Management," occasional Paper No. 66 July, 1981.
- 2) Arthur M. Hanson and G. Fred Lee : "Forms of Organic Nitrogen in Domestic Waste Water", *WPCF*, **43**, 11, 1971.
- 3) U. S. EPA : "Measures for the Restoration and Enhancement of Quality of Fresh-Water Lakes" EPA 430-9-731, 005, 1973.
- 4) Siebritz, I. P., Ekama, G. A. and Marasis, G. V. : "A Parametric Model for Biological Excess Phosphorus Removal". *Wat. Sci. Tech.*, **15**, 314, 127-152, 1983.
- 5) Clair, N. Sawyer and Perry L. McCarty : "Chemistry for Environmental Engineering", 3rd ED, Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd. pp. 439-453, 1967.
- 6) Robert, I. Irvine and Lloyd H. Ketchum, Jr. : "Sequencing Batch Reactors for Biological Waste Water Treatment", CRC Critical Reviews in Environmental Control, Vol. 18, Issue 4, 1989.
- 7) Madan, L. Arora, Edwin F. Barth and Margaret B. Umphres : "Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors", *Jour. Water Pollution Control Fed.*, **57**(8), 867-875, 1985.
- 8) 三上榮一："回分活性汚泥法の意義と技術動向, 用水と廃水", **29**(4), 331-316, 1987.
- 9) 西口猛, 高橋強, 北林日郎木 : 間欠曝氣方式による小規模排水處理の研究(I). 農業土木學會論文集, **131**, 19-24, 1987.
- 10) 西口猛ほか : 間欠曝氣方式による農村落排水處理の實驗的研究(I). 脫室效果と運轉條件. 農業土木學會論文集 **112**, 93-99, 1984.
- 11) 西口猛ほか : 生物膜法による高率の脱リン技術, 回轉原版法を用いた實驗. 農業土木學會誌, **54**(4), 47-52, 1986.
- 12) **54(4) (II)** : 接觸曝氣法を用いた脱リン實驗. 農業土木學會誌, **54**(8), 31-36, 1986.
- 13) 西口猛ほか : 間欠曝氣方式による小規模排水處理の研究(I). 鐵接觸材沈積による窒素, リン同時際去方法の實驗的研究 論文集, **131**, 19-24, 1987.
- 14) 西口猛ほか : 鐵接觸材による脱リンの實驗的研究, 一嫌氣槽への鐵濾材浸漬實驗, 農業土木學會大會講演旨集, 農業土木學會, 1988.