

ORIGINAL ARTICLE

알루미늄 부식 반응조를 조합한 MLE공정에서 하수의 질소와 인 제거

박상일 · 최형일 · 정경훈* · 박대훈¹⁾

조선대학교 환경공학과, ¹⁾주식회사 21세기환경

Nitrogen and Phosphorus Removal from Domestic Wastewater by MLE Process Combined with Aluminum Corrosion Process

Sang-Il Park, Hyung-Il Choi, Kyung-Hoon Cheong*, De-Hoon Park¹⁾

Division of Environmental Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

¹⁾21 Century Environment, Gwangju 501-759, Korea

Abstract

The pilot plant experiment was performed to investigate phosphorus and nitrogen removal from domestic wastewater by MLE process combined with aluminum corrosion reactor. When operating 0.5Q and 1Q to internal recycle and sludge recycle in the MLE process, the effluent COD_{Mn} concentration of internal recycle 0.5Q were higher than internal recycle 1Q, the removal efficiency rates of NH₃-N in the internal recycle 0.5Q were was higher than internal recycle 1Q. Denitrification rates were about 86.8% in internal recycle and sludge recycle 0.5Q. When operating 0.5Q to internal recycle and sludge recycle in the MLE process, the removal efficiency rates of total nitrogen was the highest. The removal efficiency rates of total phosphorus was about 91.5% in the aluminum corrosion reactor.

Key words : MLE, Sludge recycle, Internal recycle, Aluminum corrosion

1. 서론

우리나라의 하수 방류수 수질기준은 해당지역의 수질목표기준, 수질현황, 용수목적 등 수계특성을 고려치 않은 전국적으로 동일한 기준으로 설정되어 있어 상대적으로 총인 부하량 과다배출, 체류시간 증가 등으로 부영양화를 유발시키며 수질을 오염시키고 있는 실정이다. 이에 정부에서는 2012년 1월부터 BOD, COD 그리고 총인 규제치(T-P 0.2 ~ 0.5 mg/L 이하, 3 그룹 구분)를 강화하였다. 그러나 2010년 까지 개발된

기술 및 공법들은 정부에서 2012년 강화기준을 발표하기 전에 개발된 공법들로써 생물학적 고도처리만을 이용하고 있기 때문에 하수의 총인을 0.3 mg/L이하로 처리하기에는 한계가 있다. 정부에서는 강화된 총인 규제치를 만족시키기 위해 응집제 사용을 권장하고 있으나 총인처리시설의 설치비와 운전관리의 어려움 때문에 대규모하수처리장에만 적용될 우려가 있다. 중소규모 하수처리장에서 총인을 제거하기 위해서는 약품비 및 슬러지처리, 운전비, 유지관리비 등을 만족할 수 있는 공법이 필요한 실정이다. 또한, 각 시

Received 9 January, 2013; Revised 2 May, 2013;

Accepted 27 May, 2013

*Corresponding author : Kyung-Hoon Cheong, Division of Environmental Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Phone: +82-62-230-6628

E-mail: khjung@mail.chosun.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

군 및 지방자치단체 하수처리시설 공법 공모 시 공공 시설의 신기술 적용 촉진을 위한 업무처리규정(환경부훈령 제 682호, 2006. 10. 20)과 환경기술개발 및 지원에 관한 법률(제 7조 2항, 2007. 01. 03)에 의거하여 공공환경기초시설에 환경신기술을 우선활용하기 때문에 질소와 인을 동시에 제거가 가능한 신기술 개발의 필요성이 대두되고 있다.

중·소규모 오수처리시설에 적합한 인 제거 기술로 응집제 성분인 알루미늄제나 철제를 이용한 연구개발이 수행되고 있으며, 이것은 전기화학적으로 금속을 용해시켜 발생하는 금속이온과 수중의 인을 반응시켜 제거하는 시스템이다. Groterud와 Smoczynski(1986)는 전기분해를 이용한 인 제거에서 철 전극보다는 알루미늄 전극을 사용하였을 때 인 제거율이 향상되었음을 보고하였고 Iyo 등(1996)은 알루미늄 접촉제를 이용한 소형 합병처리 정화조의 처리성능에 관한 연구 및 소형 합병처리 정화조의 처리기능의 고도화에 관한 연구에서 알루미늄판을 합병처리 정화조의 접촉 폭기조에 설치하였을 때 합성폐수 및 실제하수 중의 인이 효율적으로 제거됨을 보고하였다.

Cheong 등(1999, 2000)은 알루미늄의 전기분해를 이용한 인 제거에 관한 연구에서 합성오수 중의 인 제거 시 미치는 영향 인자를 조사하여 보고한 바 있다. 그러나 철제나 알루미늄제를 전기분해하기 위해서는 전력비용이 증가하는 문제를 안고 있다.

본 연구에서는 Cheong 등(2005)이 수행한 이중금속부식 원리를 이용하여 염화물이 존재하는 수용액에서 알루미늄판의 부식으로 용출된 알루미늄이온에 의해 하수 중의 인을 제거하는 공정을 업그레이드하여 MLE 공정에 조합하였으며, MLE 공정에서 반송율 변화에 따른 질소와 인 제거율과 알루미늄 부식 반응조에서 인 제거율을 검토하여 하수의 질소와 인의 동

시 제거를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. Pilot plant 설치 및 운전

본 실험에 사용된 하수는 K하수종말처리장에 유입되는 하수이며 Table 1과 같이 COD_{Mn}의 평균 농도는 64.5 mg/L이고 T-N의 평균 농도는 32.9 mg/L, T-P의 평균 농도는 3.0 mg/L이다.

Pilot plant는 무산소조, 포기조, 1차침전조, 인제거조(알루미늄 부식 반응조), 2차침전조로 구성되었으며 공정도는 Fig. 1과 같다. 용량은 50 ton/day이며 MLE 공정에서 MLSS는 무산소조 3500 ~ 4500 mg/L, 포기조 2500 ~ 3500 mg/L, 외부반송 4000 ~ 7000 mg/L이다. 각 반응조의 용량과 체류시간은 무산소조의 경우 4.68 m³과 2.25 hr, 포기조는 14.40 m³과 6.91 hr, 1차침전조는 6.36 m³과 3.05 hr이고 인제거조는 8.33 m³과 4 hr이다.

알루미늄 부식 반응조는 Park 등(2011)이 수행한 회분식 실험의 결과를 기초로 원통형으로 제작하였고 알루미늄제선(2T, 1000계열)과 동선(2T, T/P계열)을 각각 16,666.7 m를 꼬아서 사용하였으며 침전물이 달라붙는 현상을 방지하기 위해 브러쉬를 설치하였다(Fig. 2).

Table 1. Influent characteristics of domestic wastewater at a K sewage treatment plant (mg/L)

	COD _{Mn}	T-N	T-P	SS
Max.	96	42.8	4.7	144
Min.	38	25.0	2.2	37
Average	64.5	32.9	3.0	68.6

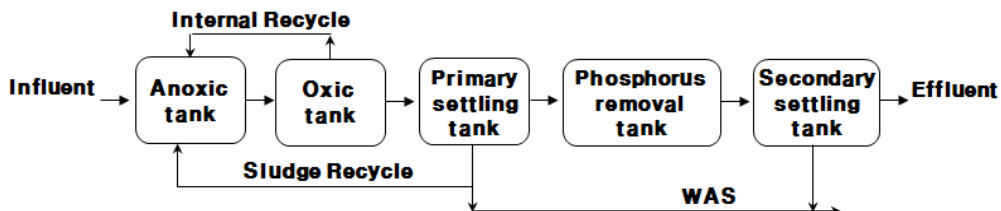


Fig. 1. Schematic diagram of the pilot plant.

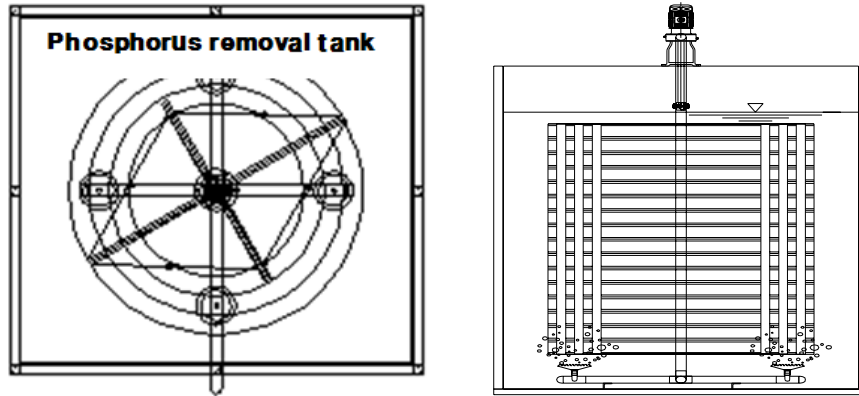


Fig. 2. Diagram of aluminum corrosion reactor.

2.2. 실험방법 및 분석

Pilot plant 운전기간은 2011년 7월, 8월동안 안정화기간을 거쳐 2011년 9월부터 2012년 3월까지 7개월간 실험을 수행하였다. MLE공정에서 내부반송과 슬러지반송율을 각각 0.5 ~ 1Q로 조정하였으며 각 반응조에서의 T-N, T-P, NH₃-N, NO₃-N의 변화를 검토하였고 T-P 제거율은 알루미늄 부식 반응조의 효율을 검토하기 위하여 1차침전조의 방류수와 2차침전조의 방류수 농도를 비교하였다. 각 측정항목은 수질오염공정 시험법에 따라 분석하였다(Kim, 1999).

3. 결과 및 고찰

3.1. 공정별 COD_{Mn}의 변화

유입하수의 COD_{Mn} 농도는 38 ~ 96(평균 64.5) mg/L이며 무산소조, 포기조, 1차침전조 COD_{Mn} 농도는 각각 7.6 ~ 10.8(평균 9.0), 7.4 ~ 9.4(평균 8.4) 그리고 7.0 ~ 10.0(평균 8.3) mg/L이다. 생물학적처리(MLE공정)에서 반응율에 따른 COD_{Mn} 제거율은 외부반송(Sludge recycle) 1Q일 때 내부반송(Internal recycle) 1Q에서 85.5% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 85.9%이고, 외부반송 0.5Q일 때 내부반송 1Q에서는 86.8% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 88.9%이었다.

Han(2009)은 내부반송을 변화가 MLE 하수처리공정의 효율에 미치는 영향에 대한 연구에서 내부반송율이 200%, 150%, 100%로 감소함에 따라 COD_{Cr} 제거율이 82.8%, 82.5%, 64%로 감소함을 보였다. 본

Pilot plant 운전에서도 외부반송 1Q와 0.5Q 조건에서 내부반송 1Q보다 내부반송 0.5Q일 때 1차침전조에서 COD_{Mn} 유출수 농도는 높았고 외부반송과 내부반송 0.5Q일 때 상대적으로 유입수의 농도가 높아서 제거율은 높았으나 COD_{Mn} 유출수 농도는 8 ~ 9.2 mg/L로 다른 조건에서 보다 농도가 높았다.

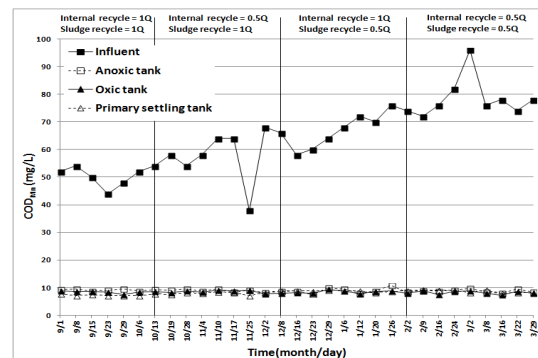


Fig. 3. Variation of COD_{Mn} in reactor of the pilot plant.

3.2. 공정별 질소의 변화

유입하수의 NH₃-N 농도는 20.7 ~ 38.8(평균 27.1) mg/L이며 무산소조, 포기조, 1차침전조 NH₃-N 농도는 각각 3.2 ~ 8.6(평균 5.9), 0.1 ~ 4.4(평균 2.0) 그리고 0.1 ~ 4.3(평균 1.9) mg/L이다. 생물학적처리에서 반응율에 따른 NH₃-N 질산화율은 외부반송 1Q일 때 내부반송 1Q에서는 85.6% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 95.5%이고, 외부반송 0.5Q일 때 내부반송 1Q에서 89.0% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 98.3%

이었다.

Cho 등(2001)은 간헐포기를 결합한 MLE 공정과 A2/O 공정의 영양소제거 특성 비교에서 MLE 공정의 암모니아성질소 제거효율은 내부반송 50%에서 91% 이고 내부반송 100%에서 90%이며 유출수 암모니아성질소 농도는 내부반송 50%에서 2.0 mg/L 이고 내부반송 100%에서 2.5 mg/L로 oxic의 체류시간이 증가할수록 암모니아 제거효율이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 내부반송율이 1Q보다는 0.5Q일 때 질산화율이 증가하였으며 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 포기조에서 NH₃-N 농도는 0.3 ~ 0.5 mg/L를 유지하였다.

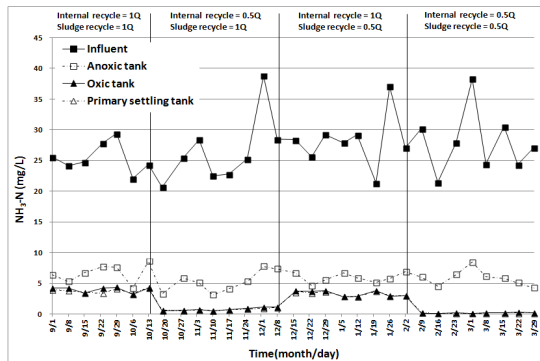


Fig. 4. Variation of NH₃-N in reactor of the pilot plant.

유입하수의 NO₃-N 농도는 0 ~ 0.6(평균 0.4) mg/L이며 무산소조, 포기조, 1차침전조 NO₃-N 농도는 각각 0.2 ~ 0.6(평균 0.4), 2.6 ~ 7.7(평균 4.8) 그리고 2.7 ~ 7.6(평균 4.8) mg/L이다. 생물학적처리에서 반송율에 따른 NO₃-N 탈질율은 외부반송 1Q일 때 내부반송 1Q에서 78.7% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 73.6%이고, 외부반송 0.5Q일 때 내부반송 1Q에서 81.9%이며 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 86.8%로 내부반송과 외부반송 0.5Q일 때 가장 높았다.

MLE 공정의 반송율은 내부반송 1Q ~ 4Q, 외부반송 0.5Q ~ 1Q로 일반적으로 운영되고 있으며(Kwak 등, 2006), 내부반송 1Q ~ 2Q일 때 유출수 NO₃-N 농도는 4 ~ 7 mg/L, T-N 농도는 5 ~ 8 mg/L 달성이 가능하며 내부반송을 증가시키게 되면 탈질율이 높아지는 것으로 알려져 있으나(Metcalf & Eddy, 2004), 본 연구에서 탈질율은 외부반송이 1Q일 때 내부반송

을 증가시키면 높아졌고 외부반송이 0.5Q일 때는 내부반송이 증가하면 탈질율은 감소하였다. 이는 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 질산화율이 가장 높고 1차침전조에서 탈질이 진행되어 질소를 제거할 수 있는 최적의 조건이 이루어진 것으로 사료된다.

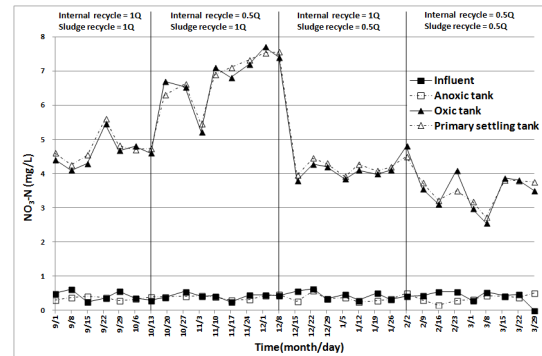


Fig. 5. Variation of NO₃-N in reactor of the pilot plant.

유입하수의 T-N 농도는 25.0 ~ 42.8(평균 32.9) mg/L이며 1차침전조 T-N 농도는 4.8 ~ 10.8(평균 8.2) mg/L이다. 생물학적처리에서 반송율에 따른 T-N 제거율은 외부반송 1Q일 때 내부반송 1Q에서 69.6%이고 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 69.1%이며, 외부반송 0.5Q일 때 내부반송 1Q에서 73.8% 내부반송을 0.5Q로 감소시키면 82.7%로 제거율이 가장 높았다. 외부반송이 0.5Q일 때 외부반송 1Q일 때 보다 T-N 제거율은 높았으며 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 1차침전조 T-N 농도는 4.8 ~ 5.7 mg/L이었다.

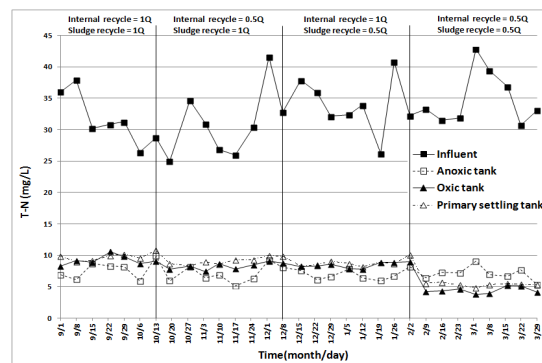


Fig. 6. Variation of T-N in reactor of the pilot plant.

Table 2. Comparison of the performance according to recycle (mg/L)

		Anoxic tank	Oxic tank	Primary settling tank	Secondary settling tank	
Sludge recycle 1Q	Internal recycle	COD _{Mn}	8.8 ~ 9.6	7.6 ~ 8.8	7.0 ~ 7.7	-
		T-N	5.9 ~ 8.6	8.3 ~ 10.6	9.0 ~ 10.2	-
		NH ₃ -N	4.2 ~ 7.7	3.2 ~ 4.4	3.3 ~ 4.1	-
		NO ₃ -N	0.3 ~ 0.4	4.1 ~ 5.5	4.3 ~ 5.6	-
	0.5Q	T-P	8.1 ~ 10.3	1.4 ~ 1.6	1.6 ~ 1.8	0.1 ~ 0.2
		COD _{Mn}	8.2 ~ 9.6	7.8 ~ 9.0	7.0 ~ 8.4	-
		T-N	5.2 ~ 9.9	7.4 ~ 9.1	8.3 ~ 10.8	-
		NH ₃ -N	3.2 ~ 8.6	0.5 ~ 4.3	0.5 ~ 4.3	-
		NO ₃ -N	0.3 ~ 0.4	4.6 ~ 7.7	4.7 ~ 7.5	-
		T-P	7.4 ~ 9.9	1.4 ~ 2.0	1.7 ~ 2.3	0.1 ~ 0.2
Sludge recycle 0.5Q	Internal recycle	COD _{Mn}	7.6 ~ 10.8	7.8 ~ 9.4	8.2 ~ 9.0	-
		T-N	6.0 ~ 8.2	7.8 ~ 9.0	8.2 ~ 10.1	-
		NH ₃ -N	4.6 ~ 7.4	1.2 ~ 3.9	1.0 ~ 3.7	-
		NO ₃ -N	0.3 ~ 0.6	3.8 ~ 7.4	3.9 ~ 7.6	-
	0.5Q	T-P	7.1 ~ 8.9	1.7 ~ 2.1	2.0 ~ 2.3	0.1 ~ 0.3
		COD _{Mn}	8.0 ~ 9.8	7.4 ~ 8.8	8.0 ~ 9.2	-
		T-N	5.3 ~ 9.1	3.8 ~ 5.2	4.8 ~ 5.7	-
		NH ₃ -N	4.3 ~ 8.4	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	-
		NO ₃ -N	0.2 ~ 0.5	2.6 ~ 4.1	2.7 ~ 3.8	-
		T-P	6.0 ~ 7.7	2.2 ~ 2.5	2.5 ~ 2.7	0.2 ~ 0.3

3.3. 공정별 인의 변화

유입하수의 T-P 농도는 2.2 ~ 4.7(평균 3.0) mg/L 이며 1차침전조 T-P 농도는 1.6 ~ 2.7(평균 2.2) mg/L 이다. 생물학적처리에서 반응율에 따른 T-P 제거율은 외부반송과 내부반송 1Q일 때 48.1%로 가장 높았고 외부반송과 내부반송 0.5Q일 때 11.3%로 가장 낮았다. 알루미늄 부식 반응조에서 T-P 제거율은 운전기간동안 91.5%이고 방류수(2차침전조) T-P 농도는 0.13

~ 0.25(평균 0.18)를 유지하였고 ST-P 제거율은 94.2%, 농도는 0.08 ~ 0.18(평균 0.13)이었다. 방류수의 T-P 농도를 0.2 mg/L 이하로 유지하기 위해서는 일반적인 침전조보다 여과기를 설치하는 것이 더 효율적이라고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서 MLE공정(Pilot plant, 50 ton/day)을 이용하여 질소와 인 제거를 위한 최적의 반응율 선정과 MLE공정 후단에 알루미늄 부식 반응조에서 인을 제거한 결과는 다음과 같다.

1. 외부반송 1Q보다 외부반송 0.5Q일 때 1차침전조에서 COD_{Mn} 유출수 농도는 높았으며 외부반송과 내부반송 0.5Q일 때 COD_{Mn} 유출수 농도는 8 ~ 9.2 mg/L로 다른 조건에서 보다 농도가 높았으나 상대적으로 유입수의 농도가 높아서 제거율은 향상되었다.
2. 포기조 NH₃-N 농도는 0.1 ~ 4.4(평균 2.0) mg/L 이고 내부반송 0.5Q일 때 질산화율은 95.5%(외부반

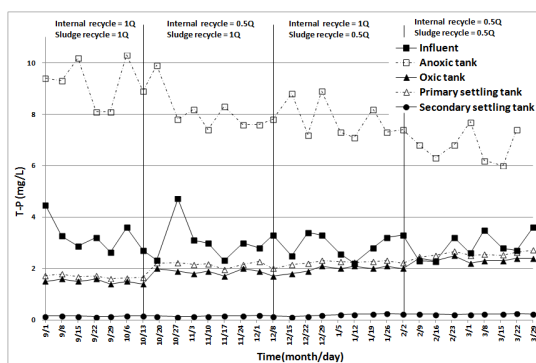


Fig. 7. Variation of T-P in reactor of the pilot plant.

송 1Q)와 98.3%(외부반송 0.5Q)로 증가하였으며 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 포기조에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 0.3 ~ 0.5 mg/L를 유지하였다.

3. 무산소조 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 0.2 ~ 0.6(평균 0.4) mg/L이다. 내부반송과 외부반송 0.5Q일 때 탈질율은 86.8%로 가장 높았고 외부반송이 1Q일 때 내부반송을 증가시키면 높아졌고 외부반송이 0.5Q일 때는 내부반송이 증가하면 탈질율은 감소하였다. 이는 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 질산화율이 가장 높고 1차침전조에서 탈질이 진행되어 질소를 제거 할 수 있는 최적의 조건이 이루어진 것으로 사료된다.

4. 1차침전조 유출수 T-N 농도는 4.8 ~ 10.8(평균 8.2) mg/L이며 외부반송이 0.5Q일 때 외부반송 1Q일 때 보다 T-N 제거율은 높았으며 내부반송과 외부반송이 0.5Q일 때 1차침전조 T-N 유출수 농도는 4.8 ~ 5.7 mg/L이었다.

5. 알루미늄 부식 반응조에서 T-P 제거율은 운전기간동안 91.5%이고 방류수(2차침전조) T-P 농도는 0.13 ~ 0.25(평균 0.18)를 유지하였고 ST-P 제거율은 94.2%, 농도는 0.08 ~ 0.18(평균 0.13)이었다.

참 고 문 헌

- Cheong, K. H., Choi, H. I., Jung, O. J., 1999, Phosphorus removal by electrolysis with aluminium electrodes, Korean J. Environ. Health, 25, 70-76.
- Cheong, K. H., Choi, H. I., Jung, O. J., Jung, J. K., 2000, Phosphorus removal by electrolysis with aluminium electrodes, J. Environ. Sci. Int'l, 9(1), 95-99.
- Cheong, K. H., Choi, H. I., Jung, O. J., Park, S. I., Kim, W. H., 2005, Simultaneous removal of phosphorus and nitrogen by intermittently aerated activate sludge combined with aluminum corrosion, J. Environ. Sci. Int'l, 14(7), 675-681.
- Cho, N. U., Lim, B. S., Oa, S. W., 2001, Comparison on nutrient removal of the MLE and A2/O process combined with intermittent aeration, JKSWW, 15(4), 325-333.
- Groterud, O., Smoczynski, L., 1986, Phosphorus removal from water by means of electrolysis, Water Res., 20(5), 667-669.
- Han, J. S., 2009, A study on the removal effect of ozonation pretreatment of livestock wastewater and internal recycle ratios in the MLE sewage treatment process, M. S. Dissertation, Catholic University, Seoul.
- Iyo, T., Yoshino, T., Seki, Y., Ohno, S., 1996, Basic performance of submerged biofilter using aluminum contact media, J. Water Waste, 38(8), 24-29.
- Iyo, T., Yoshino, T., Seki, Y., Ohno, S., 1996, Performance of a household wastewater treatment tank using aluminum biofilter media, J. Water Waste, 38(9), 24-32.
- Kim, J. T., 1999, Annotation for standard methods of water quality, 4st ed., Sin Gwang Inc.
- Kwak, D. H., Lee, K. H., Lee, K. S., Lee, K. W., Lee, K. S., Lee, S. H., Lee, C. K., Jang, I. S., Jun, T. S., Cheong, K. H., Cho, W. H., 2006, Water quality environmental engineering planning I, Dong Hwa Inc., 200-218.
- Metcalf & Eddy, 2004, Wastewater engineering treatment and reuse II, Jung, W. Y., Dong Hwa Inc., 1238-248.
- Park, S. I., Park, D. H., Cheong, K. H., Choi, H. I., Choi, H. Z., Choi, Y. S., 2011, Phosphorus removal from domestic wastewater by MLE process combined with aluminum corrosion process, Proceedings of the Korean Environmental Science Society Conference, 20, 158-160.