

혐기 및 2단 교호(交互) 간헐포기조를 이용한 하수고도처리에 관한 연구: 파일럿 규모의 실험결과를 중심으로

최용수¹ · 홍석원^{1,2} · 권기한¹

¹한국과학기술연구원, 수질환경 및 복원연구센터

²서울대학교, 지구환경시스템공학부

A Study on Biological Wastewater Treatment using the Combination of Anaerobic and Two Intermittent Aeration Tanks Operated Alternately: A Pilot-scale Study

Yong-Su Choi¹ · Seok-Won Hong^{1,2} · Gihan Kwon¹

¹Water Environment & Remediation Center, Korea Institute of Science & Technology

²School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

(Received 9 March 2004, Accepted 30 March 2004)

Abstract : The performance of a newly designed wastewater treatment process equipped with an anaerobic and two intermittent aeration tanks operated alternately was investigated. During the experimental period, several types of cyclic operating schedules with different aeration and non aeration time were examined for the optimization. At all modes, the removals of organic matter and SS were highly achieved. With respect to T-N removal, however, the cycle length for aeration on/off affected the efficiencies. At the optimal operating mode, the ORP bending point indicating the disappearance of nitrate was observed. Considering the influent wastewater characteristics and cyclic operating schedules, it can be suggested that T-P removal is much more BOD/T-P ratio and/or its load dependant rather than the aeration on/off time. The results obtained from pilot-scale test showed the competitive advantage of this alternating process through an omission of nitrate recycle and operational flexibility against influent load variations when comparing with other continuous flow processes.

keywords : Alternately intermittent aeration, Bending point, Nitrogen and Phosphorus removal, Oxidation-reduction potential

1. 서 론

하·폐수에 존재하는 질소와 인을 생물학적으로 처리하기 위하여 지난 수십 년간 다수의 연구가 수행되었으며, 그 결과 A²/O, VIP, UCT 및 5 stage-Bardenpho 등과 같은 대표적인 공법들이 개발되었다. 일반적으로 이러한 공정에서는 동일한 질소 및 인의 제거원리가 적용되는데, 질소의 경우 포기조에서 질산화 미생물에 의해 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화가 이루어지며 이것은 무산소조에서 종속영양 미생물들에 의해 탈질과정을 거치면서 질소 가스의 형태로 휘발되어 제거된다. 인은 혐기조에서 방출되어 포기조에서 인 축적 미생물에 의해 과잉 섭취가 이루어진 후 최종적으로 슬러지를 폐기함으로써 제거가 이루어진다. 그러나 위의 공정들은 연속적인 유입 및 유출이 일어나 유입부하 변동에 따라 유출 수질의 변화가 나타나게 된다. 따라서 이러한 단점을 보완하고자 위의 과정들을 하나의 단일 반응조 내에서 시간에 따라 내부 환경을 달리함으로써 충분한 반응의 유도를 통하여 유출 수질을 안정적으로 유

지할 수 있는 SBR 공정의 고안이 이루어졌다.

한편 간헐포기 공정은 A²/O 등과 같이 연속적인 유입 및 유출이 일어남과 동시에 일정한 시간에 따라 포기 및 비포기를 반복적으로 수행하여 반응조내의 환경을 변화시킴으로써 SBR과 같이 안정적인 유출 수질을 얻을 수 있는 특징을 갖고 있다. 이러한 공정에서는 반응조내의 용존산소(Dissolved Oxygen, DO) 및 산화환원전위(Oxidation Reduction Potential, ORP) 값의 관찰을 바탕으로 포기 및 비포기 주기의 최적화가 가능하다. 간헐포기 공정의 장점으로는 포기 및 비포기 주기를 탄력적으로 적용할 수 있어 동력비가 절감되고 유입부하 변동에 대응이 용이할 뿐 아니라 슬러지 발생량도 적은 것으로 보고되고 있다(Osada et. al., 1991).

포기 및 비포기 주기에서 ORP 변동 추이를 관찰해 보면 반응조 내부의 화학적과 생물학적 변화와 직접적으로 관련된 몇 가지 변곡점을 나타내는데(Chen et. al., 2002), 이는 ORP가 반응조의 환경변화를 보여주는 정량적 척도중의 하나로 산화와 환원반응에 참여하는 인자들의 농도에 따라 그 값이 결정되기 때문이다. 이러한 특성을 이용하여 Pliission- Saune 등(1996)은 단일 반응조를 이용하여 포기 또는 비포기시 잔류하는 영양염류와 DO의 농도 변화에 따라 ORP 변화 추이에서 나타나는 3 개의 변곡점을 이용하

* To whom correspondence should be addressed.
swhong@kist.re.kr

Table 1. Specification of the pilot plant

Item	Size(L×W×H, cm)	Volume(m ³)	HRT(hr)	Material
Screen	75×41.5×32.5	-	-	Stainless Steel
Grit chamber	180×50×25	0.23	0.1	Steel
Flow equalization	2080φ×340	21.0	7.0	Steel + FRP
Main reactor	664×150×170	16.7	8.0	Steel
Clarifier	220φ×185	4.2	3.0	Steel
Treated water tank	244×80×122	2.3	-	Steel
Excess sludge tank	280φ×265	6.2	-	Steel + FRP

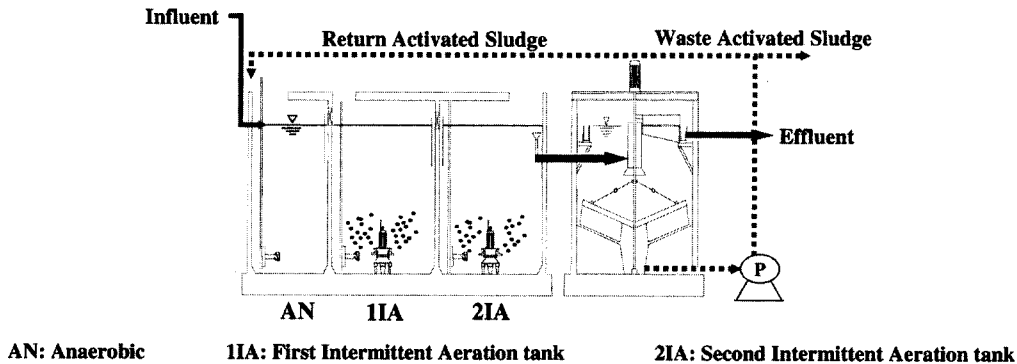


Figure 1. Schematic diagram of the process.

여 질소 및 인을 안정적으로 제거하고자 하였다. 이 때 변곡점은 질산화 종료 시점($\text{NH}_4\text{-N} \approx 0$)에서 나타나는 α 와 호기성에서 무산소 조건($\text{DO} \approx 0$)으로의 변화를 나타내는 β , 그리고 탈질 종료($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} \approx 0$) 후 혐기성 조건으로의 전환을 의미하는 변곡점 γ 등으로 구분될 수 있다.

본 연구에서는 혐기조 및 2단의 교호 간헐포기조가 조합된 하수고도처리 공정에 대한 파일럿 실험을 수행하였다. 상기 공정에서의 인 제거는 전단에 위치한 혐기조에서 일어나는 방출과 함께 간헐포기조의 포기시 과잉섭취를 통하여 이루어진다. 즉, 본 공정의 제 1 간헐포기조에서는 포기시 혐기조에서 방출된 인의 섭취와 질산화가 일어나며 비폭기시에는 탈질이 일어난다. 마찬가지로 제 2 간헐포기조의 포기시에도 전단에서 유입된 암모니아성 질소의 산화가 이루어지며 비폭기시 탈질이 일어나도록 하는데, 이 때의 주된 탈질 작용은 혐기조 및 전단의 간헐포기조에서 대부분의 분해 가능한 유기물이 소비되기 때문에 내생탈질로 간주할 수 있다. 또한 포기 및 비포기에 따른 ORP의 변화 추이를 관찰함과 동시에 변곡점의 출현여부 및 시점을 근거로 하여 공정의 진행 상황을 예측할 수 있다.

따라서 상기 공정의 최적운전 조건을 도출하고자 포기/비포기 시간을 달리한 각각의 모드에서의 영양염류 제거효율을 비교하였다. 또한 비포기시 각각의 모드에서 변곡점의 출현여부를 관찰하고 이와 제거효율과의 연관성을 알아보 고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구는 서울시 J 하수종말처리장에 설치한 파일럿 규

모의 반응기를 이용하여 수행되었으며 반응기의 모식도 및 제원을 각각 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 본 반응기의 일 처리용량은 50 m^3 이며, 주 반응조 외에 스크린, 침사지, 유량 조정조 및 2차 침전지를 설치하였다. 그리고 유입 원수로는 하수종말처리장의 1차 침전지 유출수를 이용하였다.

생물반응조와 2차 침전지의 수리학적 체류시간(HRT)은 각각 총 8 시간(혐기조 : 2 시간, 1 간헐포기조 : 3 시간, 2 간헐포기조 : 3 시간)과 약 3시간이었으며 침전 슬러지 반송유량은 유입유량 대비 50% 내외로 유지하였으며 이는 기초실험(Lab-scale 반응기)에서 얻어진 결과를 토대로 한 것이다. 일반적으로 SBR를 제외한 거의 모든 생물학적 처리공정에서는 질소를 제거하기 위하여 100~300% 정도로 내부반송을 실시하는 반면 간헐 포기식으로 운전되는 공정에서는 이러한 반송 없이도 질소 제거가 가능하다. 따라서 본 실험에서도 내부반송을 생략하였다. 실험 수행기간 동안 고형물 체류시간(SRT)은 약 10~25일, MLSS는 3,000~5,000 mg/L 그리고 수온은 15~27°C의 범위내에서 유지되었다. Table 2에서 보는 바와 같이 포기 및 비포기 시간을 달리 하여 환경변화(유입농도 등)에 따라 다양한 운전 모드에서 처리 효율을 검토하였다.

모든 원수, 반응기내 슬러지 혼합액 및 유출수 등의 수질(COD_{Cr} , BOD_5 , ML(V)SS , T-P 및 Alkalinity)은 Standard Methods에 준하여 실시하였으며, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 분석을 위해서는 Kjeltac Auto 1035/38 Sampler System(Tecator)과 Ion Chromatography(DX-120)가 이용되었다. 또한 DO, ORP, pH 및 온도는 반응기내에 설치된 센서를 이용하여 현장에서 연속적으로 측정하였다.

Table 2. Cyclic operation schedules for each mode

		Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV	Mode V	Mode VI
Aeration on/off (min)	1 IA	40/20	30/30	60/60	90/90	90/90	90/60
	2 IA	40/20	30/30	60/60	90/90	60/120	60/90

Table 3. Summary of the process performances at different operating modes

Unit : mg/L	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV	Mode V	Mode VI
BOD5 In/Out	149/7	77/7	104/5	95/7	104/11	86/7
(Removal %)	(95.3)	(90.9)	(95.2)	(92.6)	(89.4)	(91.9)
CODcr In/Out	270/24	118/26	129/20	139/16	159/30	158/26
(Removal %)	(91.1)	(78.0)	(84.5)	(88.5)	(81.1)	(83.5)
SS In/Out	199/10	74/10	64/6	80/8	67/8	66/6
(Removal %)	(95.0)	(86.5)	(90.6)	(90.0)	(88.1)	(90.9)
T-N In/Out	39.9/14.8	19.6/9.5	21.9/9.6	29.9/7.4	29.0/9.9	29.6/10.9
(Removal %)	(62.9)	(51.5)	(41.6)	(76.5)	(63.9)	(63.2)
T-P In/Out	6.9/2.1	3.3/1.2	3.1/1.2	3.3/0.4	3.3/0.4	3.2/0.4
(Removal %)	(69.6)	(63.6)	(61.3)	(87.9)	(87.9)	(87.5)

*All of In/Out concentrations and removal % are mean values.

3. 결과 및 요약

3.1. 포기/비포기 시간에 따른 운전결과

각 모드별 평균 처리효율은 Table 3에 나타내었다. Mode I에서는 다른 기간에 비해 비교적 높은 농도의 하수가 유입되었기 때문에 교호 간헐포기조의 포기 대 비포기 시간의 비율을 2:1로 동일하게 적용하여 2개의 간헐포기조에서 일정시간(20분) 동안 동시에 포기가 이루어지도록 하였다. 즉, 전체 공정의 호기성 체류시간을 상대적으로 길게 해줌으로써 산화에 필요한 시간을 최대한 확보하고자 하였다. 그 결과 BOD와 COD의 경우 90% 이상이 제거되었고 질산화물(TKN 제거율) 역시 78.7% 이상으로 나타났다. 한편 인은 평균 6.9 mg/L로 유입되었으며 약 70% 정도가 제거되어 유출수중의 농도는 2.1 mg/L로 분석되었다.

반면 Mode II는 장마철에 해당하는 기간으로 포기/비포기 시간을 각각 30분으로 하여 운전하였다. 상기 기간동안의 BOD, T-N 및 T-P의 유입농도는 전 기간에 비해 약 50% 정도 감소됨에 따라 한 주기(Cycle)당 포기 시간을 최대한 단축시키고 전체 공정의 호기성과 무산소 조건의 시간비율도 1:1로 유지한 결과, 평균 제거율은 91(BOD), 51(T-N) 그리고 64(T-P)%로 나타났다. 한편 Fig. 2에 나타난 바와 같이 유출수중의 암모니아성 질소와 NOx-N (NO2-N + NO3-N)의 농도를 비교해 볼 때 Mode II에서 각각의 평균농도는 1.5와 6.5 mg/L로 분석되었다. 이를 근거로 판단해 보면 우기와 같이 유입부하가 비교적 낮은 경우에는 2개의 간헐포기조에 대한 포기/비포기의 비를 동일하게 1:1.5 이상으로 하여 전체 공정에서 무산소 조건이 차지하는 시간을 길게 유지한다면 T-N 제거율의 향상을 도모할 수 있을 것으로 예측된다.

다음 운전기간(Mode III~VI)동안에는 유입수질이 비교적 안정적으로 유지되었으므로 포기/비포기 시간을 변화시키면서 처리효율을 관찰하였다. 우선 질소의 경우 Fig. 2에 나타난 바와 같이 Mode III에서 암모니아성 질소의 평균 유

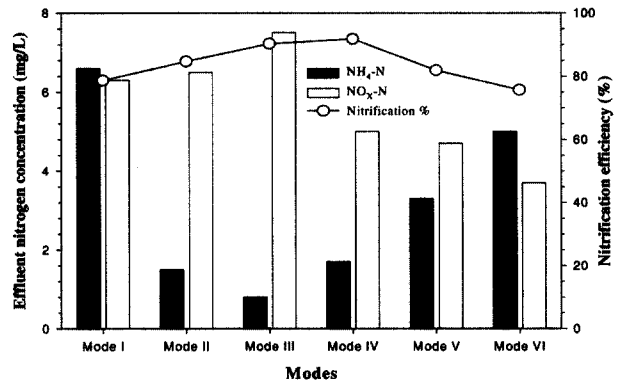


Figure 2. NH₄-N and NO₃-N concentrations in effluents and the corresponding nitrification efficiencies at different modes.

출농도가 0.8 mg/L로 최저치를 나타낸 반면 NOx-N 농도는 가장 높게 관찰됨으로써 비교 대상 4개의 운전 Mode 중에서 유입 질소농도가 약 30% 정도 낮고 BOD/T-N 비율도 가장 높았음에도 불구하고 가장 저조한 T-N 제거율을 보여주었다. 한편 Mode VI에서 NOx-N 농도는 평균 3.7 mg/L로 가장 낮게 나타났으나 이 때의 질산화율은 평균 75.7%로 타 Mode에 비해 매우 낮게 나타났다. 이는 실험기간 후반에 수온이 낮아짐에 따라 질산화가 원활히 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

Mode IV에서의 질산화율은 평균 91.8%로 가장 높았을 뿐만 아니라 유출수중의 NOx-N 농도 또한 평균 5 mg/L로 비교적 낮게 분석되어 상기 Mode에서 가장 효율적인 질소 제거가 이루어졌다. 한편 제 2 간헐포기조의 포기/비포기 비율을 1:2(60/120분)로 하여 내생탈질에 필요한 비포기 시간을 연장시킨 Mode V에서는 NOx-N의 평균 농도가 4.7 mg/L로 Mode IV에 비해 다소 낮게 나타났다. 하지만 포기 시간의 감소에 따라 암모니아성 질소의 유출농도도 증가하여 Mode IV에 비해 T-N 제거율이 감소하였다. 결과적으로 내생탈질에 의한 T-N 제거율의 향상 효과는 미미한 것으

로 나타났다. 따라서 2단 교호 간헐포기조의 포기/비포기 비율을 1:1로 하고 그 시간을 각각 90/90분으로 하는 것이 질소제거에 있어 시간적, 주기적으로 가장 적합한 것으로 나타났다.

위의 4가지 Mode에서 인 제거율을 살펴보면, Mode III를 제외하고 유출수중의 T-P 농도는 0.4 mg/L로 분석되어 약 88% 정도의 제거율을 보여주었다. 상기 기간동안의 유입 TBOD/T-P는 27~32 범위내에서 유지되어 A²/O, UCT 계열의 공정에서 인의 생물학적 처리를 위한 적정 범위인 20~25(Metcalf & Eddy, 2003)를 상회하였고 혐기조 체류시간 또한 2시간으로 설계되어 PAOs(Phosphorus Accumulating Organisms)에 의한 인 방출이 원활히 진행될 수 있어 효율적인 인 제거가 이루어졌다. 반면 Mode I과 II에서의 TBOD/T-P는 약 22 정도로 낮았으며 T-P 농도 역시 설계치에 비해 2배 정도 높게(Mode I) 유입되어 안정적인 인 제거가 이루어지지 못한 것으로 판단된다. 이러한 부하량의 변동과 낮은 TBOD/T-P 비로 인하여 PAOs의 정상적인 성장이 이루어지지 않아 Mode III에서도 인 제거율이 저하된 것으로 추측된다. 결과적으로 본 공정의 인 제거율은 질소와 비교해 볼 때 간헐포기조의 포기/비포기 주기 보다는 유입성상에 의해 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다.

3.2. 포기/비포기 시간에 따른 ORP 및 영양염류의 거동

ORP는 생물학적 반응조 내에서 반응이 진행됨에 따라 화학적 및 생물학적 상태가 변함에 따라 변곡점을 나타내면서 변동을 나타내게 된다. ORP 관찰을 통한 간헐포기조의 운전방법에는 ORP의 절대 값을 이용하여 포기 및 비포기를 제어하는 방법(Charpentier et. al., 1989)과 ORP의 변곡점을 이용하여 제어하는 방법(Sasaki et. al., 1993; S. Plisson-Saune et. al., 1996)이 있으나 활성슬러지 공법에서 ORP 절대 값의 의미는 여전히 불분명하며, 이론상으로 완벽히 정의되어 있지 않다. 또한 공정 운전을 이에 의존하여 수행할 경우 ORP 전극의 유지 관리에 어려움이 있어 실제적인 적용이 힘든 상황이다. 따라서 본 Pilot-scale 실험에서는 포기 및 비포기 시간에 따른 ORP 변화의 경로를 통하여 현장에서 활용 가능한 최적 운전 모드를 찾아보고자 하였다.

Fig. 3은 Mode IV에서의 포기 및 비포기에 따른 1, 2 간헐포기조내의 DO 농도 및 ORP의 변화와 그에 따른 반응조내 질소 농도 변화를 나타낸 것이다. 1 간헐포기조의 경우 폭기시작 약 2분경과 후 DO 농도는 1.7 mg/L로 나타났으며 시간이 지남에 따라 점차 증가하여 그 농도가 2.5~3.0 mg/L 내외로 유지됨에 따라 호기성 조건의 조성이 원활히 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 동시에 ORP는 최대 201 mV까지 증가하였다. 포기시 암모니아성 질소 농도는 질산화가 이루어지면서 점감하였고(10에서 5 mg/L 이하) 반대로 NO₃-N 농도(0에서 5 mg/L)의 점차적인 증가가 관찰되었다. Plisson-Saune (1996) 등에 의해 제시되었던 질산화의

종료를 나타내는 변곡점 α는 1 간헐포기조에서 나타나지 않았는데 이는 본 공정과 같이 2개의 간헐포기조를 직렬로 연결하는 경우 전단의 간헐포기조에서 암모니아성 질소의 완벽한 산화를 유도할 필요가 없기 때문이다. 하지만 미산화된 암모니아성 질소는 후단의 간헐포기조에서 재차 산화 과정을 거치므로 Fig. 2에 나타난 바와 같이 낮은 농도(평균 약 1.5 mg/L)로 유출되게 된다. 이와 같이 미처리된 오염 물질 유출의 최소화 및 처리시간의 단축이 가능하다는 것이 두 개의 간헐포기조를 이용하는 공정의 장점이 될 수 있다.

한편 포기 종료 후 DO 및 ORP의 변화를 관찰한 결과, DO는 약 2분 후에 0.0 mg/L로 측정되어 급속한 감소가 관찰되었으며 ORP도 점차 감소하면서 약 30분경과 후 변곡점 β(ORP 변화 곡선에서 무산소 조건의 시작을 의미하는 변곡점)가 나타났다. 그러나 Fig. 3 A에 나타난 바와 같이 질산성 질소의 농도는 변곡점 β 출현 시점과는 상관없이 감소하는 경향이 관찰되었다. 따라서 본 공정에서는 DO 농도가 0.0 mg/L이 되는 시점부터 무산소 조건이 조성되는 것으로 볼 수 있다. 하나의 간헐포기조만을 이용한 Plisson-Saune(1996) 등의 실험결과에 의하면 무산소 조건의 시작을 의미하는 β의 출현과 DO 농도가 0.0 mg/L가 되는 시점이 폭기 종료 약 5분 후 동시에 나타났다. 반면 두 개의 간헐포기조를 이용하여 인의 방출까지 유도했던 Sasaki (1996) 등의 실험결과에 의하면 변곡점 β의 출현과 DO가 0.0 mg/L가 되는 시점 간에는 약 10분 이상의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 DO와 ORP 변곡점을 이용한 무산소 조건의 시작 시점에 대한 해석은 간헐 포기공정 구성과 연구자에 따라 차이가 있으나 이에 대한 규명이 이루어지지 않고 있다.

본 공정의 ORP 변화 곡선에서 가장 중요한 것은 탈질의 종료와 혐기성 조건으로의 전환을 의미하는 변곡점 γ이다. Mode IV에서 포기 중단과 더불어 NO₃-N 농도는 점차 감소하여 85분 후 그 농도가 0.2 mg/L까지 감소하였으며 이때 변곡점 γ가 관찰되었다. 이후 ORP는 지속적으로 감소하여 비포기 종료 시점에서의 ORP는 -41 mV이었다. 반면 비포기시 암모니아성 질소는 혐기조로부터의 지속적 유입에 의한 누적으로 시간이 지남에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내었다.

이와 같은 포기 유무에 따른 DO 농도 및 ORP의 변화는 2 간헐포기조에서도 역시 같은 경향을 나타내었다. 포기시 질산화에 의한 암모니아성 질소의 감소와 질산성 질소의 생성 반대로 비포기시 탈질에 의한 질산성 질소의 감소와 암모니아성 질소의 누적이 나타났지만 그 변화폭은 전단에서의 것과 비교해 볼 때 상대적으로 좁았다(Fig. 3 B). 앞에서 언급한 바와 같이 1 간헐포기조에서는 비포기 종료 직전에 완전 탈질이 이루어져 NO₃-N 농도가 관찰되지 않았지만 2 간헐포기조에서는 탄소원 부족으로 인하여 비포기 종료시점에서도 약 2 mg/L 정도 잔류하는 것으로 나타났다. 따라서 탈질 종료를 나타내는 변곡점 γ는 관찰되지 않았다.

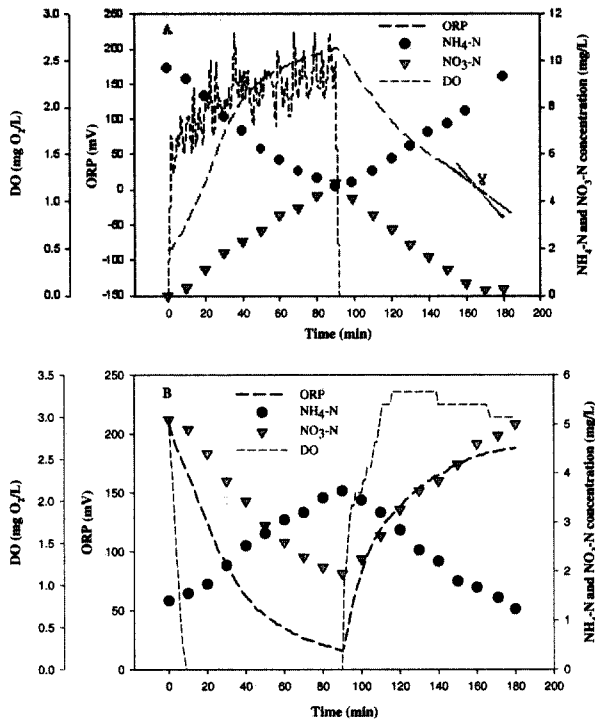


Figure 3. DO, ORP and nitrogen profiles at Mode IV (A; 1 IA and B; 2 IA).

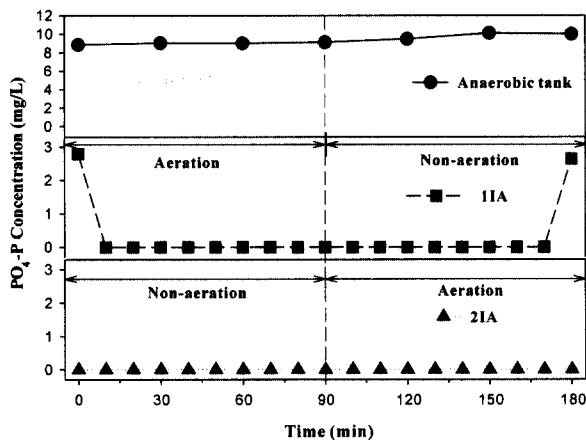


Figure 4. Phosphorus concentration profiles during alternating aeration/non-aeration cycle (Mode IV).

Fig. 4는 인의 거동을 나타낸 것으로 협기조에서 유입 총 인의 약 3~5배가량의 인이 방출되었으며 이것은 1 간헐포기조의 포기시 PAOs에 의해 완전 섭취가 일어나는 것으로 나타났다. 1 간헐포기조의 비포기 종료시점에서 인의 농도가 약 3 mg/L 검출되었다. 하지만 협기조의 수리학적 체류시간이 2시간으로 인의 방출에 필요한 휘발성 유기산(VFAs) 성분들은 협기조에서 모두 이용되었다고 볼 수 있으므로 1 간헐포기조에서 검출된 인은 2차 방출이라기보다는 비포기시 협기조로부터의 유입으로 인한 누적 현상으로 판단할 수 있다. 한편 2 간헐포기조에서는 PO₄-P가 거의 검출되지 않았다.

결과에는 도시하지 않았으나 다른 Mode에서도 포기 유무에 따른 DO 농도, ORP 및 영양염류의 변화는 Fig. 3과 4에 나타낸 것과 유사한 경향을 나타내었다. Table 4에 각 Mode별 DO와 영양염류의 증감 및 변곡점의 형성에 관하여 요약하였다. 모든 Mode에서 무산소 조건의 조성을 나타내는 변곡점 β는 관찰되었으나 탈질 종료를 의미하는 변곡점 γ는 Mode IV와 V의 1 간헐포기조에서만 관찰되었다. 하지만 2 간헐포기조의 포기/비포기 주기를 60/120분으로 한 Mode V에서의 질소 제거율은 앞서서도 언급한 바와 같이 Mode IV에 비하여 저하되었을 뿐만 아니라 비포기 시간을 연장하였음에도 불구하고 변곡점 γ는 나타나지 않았다. 따라서 Mode I, II에서와 같이 유입부하량이 상대적으로 높거나 낮은 경우를 제외하면 2개의 간헐포기조의 포기/비포기 비율 1:1로 하고 그 시간을 각각 90분으로 하여 운전하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

4. 결론

협기조 및 2단 간헐포기조를 이용한 질소, 인 제거 공정에 대한 pilot 규모의 실험결과를 종합해 볼 때 1, 2 간헐포기조의 포기/비포기 시간을 각각 90분씩 적용한 Mode IV에서 영양염류 제거율이 가장 높은 것으로 나타났다. 질소 제거의 관점에서 보면 최적모드의 선정에 위해서는 ORP 변화 곡선에서 변곡점 형성 시점의 관찰이 가장 적합한 방법으로 판단되며 이를 근거로 하여 동절기 및 유입부하 변동시(우기)에 대비한 적정 포기/비포기 시간의 도출이

Table 4. Behavior of DO, ORP, nutrients and bending points during alternating aeration and non-aeration cycle

	Aeration					Non-aeration				
	DO	ORP	NH ₄ -N	NO ₃ -N	B. P.*	DO	ORP	NH ₄ -N	NO ₃ -N	B. P.*
Mode I	↗	↗	↘	↗	N. D.	↘	↘	↗	↘	β
Mode II	↗	↗	↘	↗	N. D.	↘	↘	↗	↘	β
Mode III	↗	↗	↘	↗	N. D.	↘	↘	↗	↘	β
Mode IV	↗	↗	↘	↗	N. D.	↘	↘	↗	↘	β, γ ^{IIA}
Mode V	↗	↗	↘	↗	N. D.	↘	↘	↗	↘	β, γ ^{IIA}
Mode VI	↗	↗	↘	↗	α ^{IIA}	↘	↘	↗	↘	β

* Appearance of bending point

N. D. : not detected

^{IIA}) Detected in 1st intermittent aeration tank only

가능하다. 하지만 인의 경우 혐기조에서 방출이 원활히 일어난다면 포기/비포기 시간의 변화가 제거율에 미치는 영향은 미비한 것으로 판단되었다.

한편 본 실험을 수행한 결과 혐기 및 2단 교호 간헐포기조를 이용한 질소 및 인의 생물학적 처리공정은 질소제거를 위한 내부반송 불필요, 유입부하변동에 따라 포기/비포기 시간의 조절을 통한 안정적인 유출수질 확보 가능, 하나의 간헐포기조를 이용하는 경우에 비하여 미처리된 영양염류 유출의 최소화 등과 같은 장점을 가지고 있다. 또한 본 공정은 그 구성이 매우 단순하기 때문에 조 구분을 위한 칸막이를 설치하여 기존의 활성슬러지 반응조를 2개의 교호 간헐포기조로 개량시키면 하·폐수의 고도처리가 가능하다는 장점을 가진다.

참고문헌

1. Charpentier, J., Godart, H., Martin, G. and Mogno, Y., Oxidation-reduction potential(ORP) regulation as a way to optimize aeration and C, N, P removal; experimental basis and various full-scale examples, *Water Science and Technology*, **21**(10-11), pp. 1209-1223 (1989).
2. Chen, K., Chen, C., Peng, J. and Houng, J., Real-time control of immobilized-cell reactor for wastewater treatment using ORP, *Water Research*, **36**(1), pp. 230-238 (2002).
3. Henze, M., Biological phosphorus removal from wastewater: process and technology, 10th forum for Applied Biotechnology, University of Gent, Belgium, 26-27 Sept. (1996).
4. Metcalf Eddy Inc. *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, (2003).
5. Plisson-Saune, S., Capdeville, B. Mauret, M., Deguin, A. and Baptiste, P., Real-time control of nitrogen removal using three ORP bending points: signification, control strategy and results, *Water Science and Technology*, **33**(1), pp. 275-280 (1996).
6. Sasaki, K., Yamamoto, Y., Tsumura, Hatsumata, S., and Tatewaki, M., Simultaneous removal of nitrogen and phosphorus in an intermittent aerated 2-tank activated sludge process using DO and ORP-bending-point control, *Water Science and Technology*, **28**(11-12), pp. 513-521 (1993).
7. Sasaki, K., Yamamoto, Y., Tsumura, K. Ouich, S. and Mori, Y., Development of 2-reactor intermittent-aeration activated sludge process for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus, *Water Science and Technology*, **34**(1-2), pp. 111-118 (1996).
8. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA (1998).
9. Osada, T., Haga, K., and Harada, Y., Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process, *Water Research*, **25**(11), pp. 1377-1388 (1991).