

APID공정 내 동절기 개량형 간헐포기 운전모드 적용 및 개발

곽성근 · 안상우* · 정무근 · 박재로** · 박재우*†

태화강재산업주)

*한양대학교 건설환경공학과

**한국건설기술연구원 건설환경연구실

Development and Application of Modified Intermittently Aeration mode for Advanced Phase Isolation Ditch (APID) process at Winter Season

Sung-Keun Kwak · Sang-Woo An* · Mu-Keun Chung · Jae-Ro Park** · Jae-Woo Park*†

Environmental Business Division, Taiwha Lease Industrial Co., Ltd

*Department of Civil and Environmental engineering, Hanyang University

**Construction Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology

(Received 25 June 2009, Revised 12 October 2009, Accepted 20 October 2009)

Abstract

Advanced Phase Isolation Ditch (APID) process was studied to develop economic retrofitting technology, for the plants where retrofitting of common activated sludge process is required. In this study, to develop and apply the modified intermittently aeration mode as process control conditions for treating municipal wastewater, a demonstration plant was installed and operated in the existing sewage treatment plant of P city. During this study, the average effluent BOD₅, SS, T-N, and T-P concentrations were 6.3, 4.5, 10.0, and 1.3 mg/L. The modified mode decreased the nitrification capability more than the conventional mode in the application period. Nitrate in the anaerobic condition can have a negative effect on biological phosphorus removal. In the decreasing nitrate levels, the modified mode increased the biological ability of removal phosphorus more than the conventional mode in this study. Therefore, newly developed APID process with modified intermittent aeration mode can be one of the useful processes for stable organic matter and nutrients removal.

keywords : BNR, Intermittently aeration, Nitrogen, Phosphorous, Winter season

1. 서론

1976년 일처리용량 15만톤의 청계천 하수처리장이 건설되면서부터 시작된 국내 하수처리는 2007년말 현재 총 인구 중 하수처리장(500톤/일미만 포함) 및 폐수종말처리시설을 통해 처리 되는 하수처리구역내 하수처리인구 비율로 산정한 하수도 보급률은 87.1%이며, 전국에 가동 중인 500톤/일 이상 하수처리시설은 357개소, 시설용량은 23,816천톤/일로 증가하였다. 그러나 하천 및 호소의 부영양화 원인 오염물질인 질소와 인을 제거할 수 있는 고도처리공법(A²O, SBR 등)이 도입된 처리장은 245개소(68.3%)이며, 시설용량 약 23,946천톤/일로 전체 하수처리장 처리용량의 37.9%에 불과한 실정이다(환경부, 2007). 또한, 지난 3년간의 자료에 따르면 오수 배출 특성 및 성장 변화, 처리구역내 환경변화, 시설물 노후화 등으로 인하여 2008년부터 강화되는 수질기준(BOD₅: 10 mg/L, SS: 10 mg/L, T-N: 20 mg/L, T-P: 2 mg/L 이하)을 만족시킬 수 없는 국내 하수종

말처리장은 무려 84.5%에 이르고 있는 것으로 조사되었다(환경부, 2007). 따라서 점차 강화되는 법적 방류수 수질기준을 만족시키기 위해서는 우리나라 현실을 고려하여 기존 하수처리장의 생물학적 공정을 크게 변경하지 않고 고도처리를 운영해야 할 필요성이 있다(윤영한 등, 2007a).

BNR 공법 중, 간헐포기법은 air balance 등 운영상의 문제로 인하여 대부분 직렬로 배치시키고 있으나, 최근에는 병렬로 배치시켜 유기물의 활용성을 개선하려는 시도가 이뤄지고 있다. 하지만 포기조건에서 비포기조건으로 전환된 후 10~20분 동안 용존산소가 존재하여 무산소 상태에 도달하지 못함으로 탈질 및 인 방출효율이 저하되는 문제점을 내포하고 있다(서인석 등, 2006). 또한 동시 탈질 및 질산화(Simultaneous denitrification and nitrification) 공정의 경우 슬러지 플럭(Flock) 내외부의 DO에 따라 질산화 및 탈질산화에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Metcalf and Eddy, 2003). DO농도에 따른 낮은 탈질 및 질산화를 극복하기 위해서는 긴 수리학적 체류시간을 가진 산화구와 같은 방식에만 한정되어 적용되고 있으며, 산화구 형태의 생물반응 공정의 경우 부지면적의 증가 등으로 인한 하수처리비용의 증가와 기존 짧은 체류시간의 하수처리장을 retrofitting할

† To whom correspondence should be addressed.
jaewoopark@hanyang.ac.kr

경우 다양한 공정의 변형과 개발이 필요한 실정이다.

하지만 Advanced Phase Isolation Ditch(APID)공법의 경우, 저렴한 건설비 및 유지관리가 용이한 특성을 지닌 산화구에 선택적 유로변경 및 간헐포기 방법을 융합하여 기존의 표준 활성슬러지 공정의 생물반응조 내에서 최소한의 토목(구조) 및 기계, 배관변경을 통하여 혐기/무산소/호기조건이 시간적으로나 공간적으로 분리되어 동시 탈질 및 질산화와 동시 인섭취 및 인방출을 유도할 수 있도록 개발되었다(안상우 등, 2009). 또한, 고효율의 유기물질(BOD₅와 COD) 및 부유물질과 영양염류(T-N 및 T-P)의 제거도 가능한 고도처리공법으로써 초기투자비 뿐만 아니라 연간유지관리비를 획기적으로 저감시킬 수 있도록 설계 및 개발되었다(안상우 등, 2008; 윤영한 등, 2007b).

따라서 본 연구에서는 경기도 P시 하수처리장 내 일일 하수처리용량 10,000 m³/일 규모의 Advanced Phase Isolation Ditch(APID)공법의 실증시설 시공 이후, 동절기에 적합한 APID공법의 간헐포기모드 개발 및 현장 적용성 평가를 실시하였다. 또한, 개발된 간헐포기모드를 적용하였을 때 생물반응조의 영양염류의 처리특성의 변화와 질소 및 인 거동에 대한 평가를 수행하여 동절기에 적합한 간헐포기모드의 알고리즘 개발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. APID공법 실증시설

APID 공정은 내부격벽이 없는 두 개의 간헐포기조와 최종침전지로 구성되어 있으며, 유입하수와 반송슬러지는 각각 간헐포기조의 전단부와 후단부로 유입될 수 있는 유입유로를 구비하고 있는 하수고도처리 공법이다. 기존 표준 활성슬러지 공법을 APID공법으로 retrofitting 하기 위하여 P시 하수처리장 내 생물반응조(40,000 m³/일)의 총 8지중 2지(10,000 m³/일)를 대상으로 최초 침전지에서 생물반응조로 유입되던 기존 유입라인을 선택적 유로변경 및 간헐포기를 위한 유입배관을 신설하여 APID공법을 시공하였다. 또한, 실시간으로 생물반응조를 운전/제어하기 위하여 생물반응조 내의 오염물질농도를 정량적으로 분석할 수 있는 모니터링 시스템과 실시간자동운전시스템(Integrated Monitoring & Electronic Tuning system, IMET system)의 logic을 구축하였다. IMET system은 생물반응조의 수질상태에 따른 운전모드, 포기/비포기 구간, DO 및 phase, 그리고 반송슬러지(return activated sludge)를 자동제어를 하였으며 공정의 흐름도는 Fig. 2와 같다. IMET system에 탑재된 기본 운전모드는 생물반응조 하부에 설치된 산기관을 통해 포기/비포기를 제어하고, 하수의 유입위치에 따라 혐기/무산소, 호기구간으로 구분되도록 설계되었다.

생물반응조의 수질상태를 실시간으로 확인할 수 있는 실시간 수질계측기로 DO, ORP, MLSS, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, 그리고 PO₄³⁻-P 실시간 계측기를 설치하였으며, 최종침전지에는 슬러지 계면을 제어하기 위한 슬러지 계면계와 방류수의 탁도를 제어하기 위한 탁도계를 설치하였다. 각 수질계



(a) Bioreactor



(b) Inflow and RAS line

Fig. 1. Demonstration of APID process in P-WWTP. (a) Bioreactor, (b) Inflow and RAS line

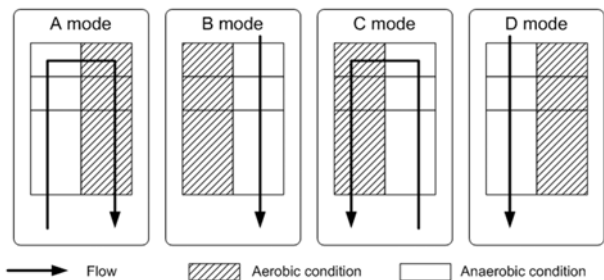


Fig. 2. Schematic flow diagram of intermittent aeration in APID process.

측기는 실시간으로 정량적인 수질상태 측정 자료를 현장제어시스템(Power Line Communication, PLC)와 IMET system으로 전송하며 IMET system은 질산화와 탈질정도, 인 제거현황을 파악하여 운전인자와 관련된 새로운 set-point를 현장제어시스템으로 전송하여 생물반응조의 선택적 간헐포기 및 유입위치를 제어하게 된다.

2.2. 측정항목 및 분석방법

본 연구에서 행한 수질측정법 및 항목은 다음과 같다. APID공법 실증화시설의 생물반응조 유입수 및 최종 침전

조 유출수는 1일 1회 채취하였으며, 분석항목은 BOD₅, SS, T-N 그리고 T-P였다. 시료분석 시 분석항목은 이온성물질인 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁺-P를 분석하였으며, 0.45 μm membrane filter(D= 47 mm)로 여과하여 측정하였다. 모든 수질 분석항목은 Standard Methods(APHA et al., 1985)에 준하여 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. APID공법의 하수 고도처리효율

본 연구대상지역인 P시 하수처리장 유입수중의 C/N(BOD₅/T-N)비율이 3.3 정도로 안정적인 질소제거를 위한 C/N비율인 5 이상(동영탁 등, 2007)과 C/N(BOD₅/TKN)비

율인 3.5 이상(Grady et al., 1999)보다 낮아 P시 하수처리장의 경우 질소제거에 있어서 유기물이 부족한 것으로 나타났다(Table 1). 기존 BNR 공법의 경우 탈질 시 반드시 필요한 유기물이 호기조건에서 파괴되어 탈질 시에 이를 이용할 수 없기 때문에 본 연구에서 진행된 APID공법은 외부 탄소원의 주입 없이 비포기(무산소조건) 구간에 유입수 및 반송슬러지(평균 0.3Q)를 생물반응조 전단에 유입시켰다. 또한 포기 구간의 경우 유입 및 유출, 반송슬러지가 유입되지 않도록 하였으며, 생물반응조 2지를 30분 주기로 교대 간헐포기를 실시하였다.

2008년 2월 1일부터 2009년 2월 1일까지 최종침전지 유출수의 산술평균은 BOD₅, SS, T-N, T-P의 6.3, 4.5, 10.0, 1.3 mg/L로 강화되는 법적방류수질을 만족하였다. 또한 유

Table 1. Characteristics of raw wastewater used in this study

(unit: mg/L)

Item	Influent					Effluent			
	BOD ₅	SS	T-N	T-P	Temp.	BOD ₅	SS	T-N	T-P
Mean	113.9	100.3	31.2	4.6	16.7	6.3	4.5	10.0	1.3
Maximum	211.0	290.0	49	7.6	26.1	9	8.0	16.0	1.9
Minimum	65.5	42.0	14.0	2.0	9.1	3.4	2.0	4.0	0.5
StDev ¹⁾	21.4	36.9	5.3	0.9	5.4	1.0	1.1	2.5	0.3
Variance	458.0	1364.1	28.6	0.8	29.5	1.0	1.3	6.2	0.1
CoefVar ²⁾	18.8	36.8	17.1	19.5	16.7	16.2	25.1	24.9	20.0

¹⁾ StDev : Standard Deviation, ²⁾ CoefVar : Coefficient of Variation

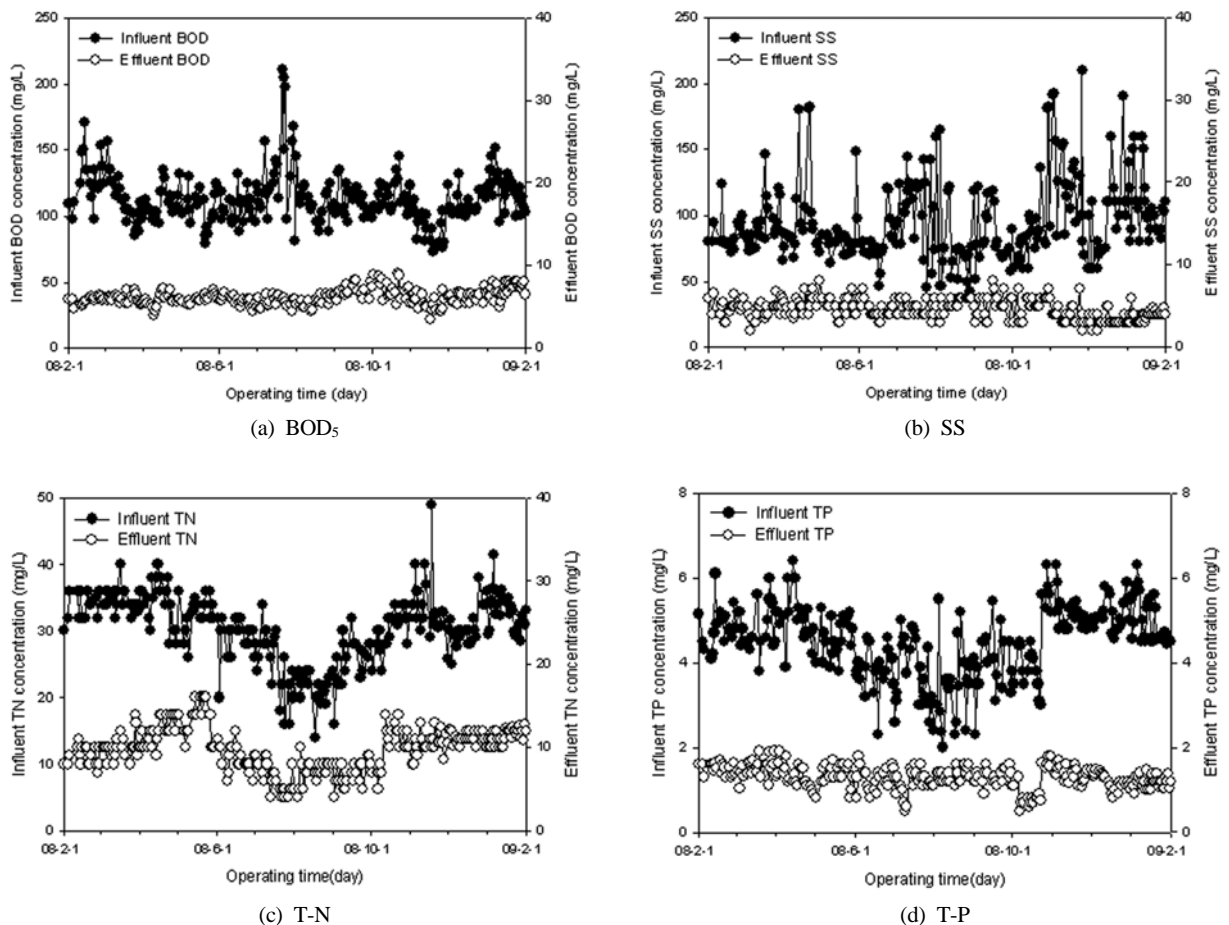


Fig. 3. Variation of concentrations in APID process.

입수질과 유출수질의 변동계수를 비교한 결과, 유입수의 BOD₅, SS, T-N, T-P의 변동계수인 18.8, 36.8, 17.1, 19.5에 비하여 유출수의 BOD₅, SS, T-N, T-P의 변동계수는 16.2, 25.1, 24.9, 20.0로 조사되었다.

하지만 APID 공정에 의한 TN/유기물 및 TP/유기물의 제거효율 변화를 살펴보면 운영기간 중 TN/유기물 제거효율 (Removal fraction)은 평균 0.232(BOD₅)와 0.406(COD_{Mn})으로 조사되었으며, TP/유기물의 경우 평균 제거효율은 0.030 (BOD₅), 0.052(COD_{Mn})으로 분석되어 기타 BNR공정에 비하여 안정적인 유기물 및 영양염류의 제거효율을 갖는 것으로 나타났다. Table 2는 APID 공법과 기타 BNR공법의 영양염류 제거효율을 비교하기 위하여 2005년 “하수종말처리장 고도처리시설 실태점검결과” 보고서를 근거로 APID, A²/O, 간헐포기공법 및 PID공법의 TN/유기물과 TP/유기물의 제거효율을 나타내었다(환경관리공단, 2005). APID공법의 평균 TN/BOD₅와 TP/BOD₅의 제거효율은 0.232와 0.030으로 다단 완전혼합형 공법의 대표적인 A²/O공법의 0.196과 0.024로 조사되어 APID공법이 A²/O공법과 비교하여 제거효율이 약 20% 높은 것으로 조사되었다. 또한, APID공법과 유사한 간헐포기공법 및 PID공법의 TN/BOD₅의 제거효율은 간헐포기공법의 경우 0.131과 0.021로 APID공법이 보다 높은 제거효율을 갖는 것으로 조사되었다.

APID공법의 현황분석을 위하여 시계열 분석을 이용하여 유입수질의 추세분석(Trend Analysis)를 실시하였다. 추세분석은 일반적 추세모형인 선형, 2차식, 지수형 그리고 S-자형 모형을 사용하였다. 각 모형별 정확도를 측정하기 위하여 평균 절대 백분율 오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE), 평균 절대 편차(Mean Absolute Deviation, MAD), 그리고 평균 제곱 편차(Mean Squared Deviation)을 이용하여 APID공법의 추세모형의 적합도를 판정하였다. 추세분석 결과 유입수의 C/N(BOD₅/TN), C/P(BOD₅/TP), 그리고 수온은 2차식 추세모형이 적합한 것으로 분석되었다(Table 3).

운영기간 중 유입수의 C/N, C/P, 그리고 수온의 변화추세 분석 결과, C/N과 C/P의 경우 하절기 운영기간 동안 단기간 수리학적 부하에 의하여 변화추세가 급격히 증가하였으나 점차 안정화되는 것으로 나타났다. 하지만 동절기에 접어들

면서 안정화되었던 C/N, C/P는 수온하락과 더불어 점차 증가하는 경향을 보여주었다(Fig. 4). 따라서 운영기간이 동절기로 들어서면서 수온의 감소와 C/N비 및 C/P비의 감소로 인한 질소와 인의 생물학적 제거능이 감소하므로 APID 공법의 동절기 운영공정의 개발이 필요한 것으로 나타났다.

3.2. APID공법의 동절기 운영 개발공정 적용성 평가

APID공법의 동절기 운영 공정의 개발필요성은 선행연구인 dynamic 개량형 관리도 및 추세분석 결과를 통하여(안상우 등, 2009) 동절기에 적합한 공정운영의 개발 필요성에 의하여 공정개발을 추진하게 되었다. 동절기 운영공정은 수온의 감소와 C/N비 및 C/P비의 감소로 인한 질소와 인의 생물학적 제거능이 감소를 방지하고자 기존의 APID공법의 운전 방식에서 운전 패턴을 변경한 동절기 운영 공정을 개발하고, 개발된 공정을 현장에 적용함으로써 동절기 운영공정의 성능평가를 실시하였다. Fig. 2의 기존 운영 공정인 간헐포기 모드에 유입하수와 반송슬러지(평균 0.4Q)를 동시에 유입시켜서 생물반응조의 후단부의 MLSS를 증가시켜 생물학적 활성을 증가시켰으며, 기존 운전모드에서 혐기구간을 보다 확충하여 탈질 및 탈인을 극대화하고자 하였다(Fig. 5).

동절기 대비 개량 운전모드의 현장 적용성을 평가하기 위하여 2008년 10월 2일부터 2008년 12월 31일까지 약 3개월 간 현장 실험을 실시하였다. 개량 운전모드는 기본 운전모드와 동일하게 외부 탄소원의 주입 없이 비포기(무산소조건) 구간에 유입수 및 반송슬러지를 생물반응조 전단에 유입시켰다. 반송슬러지의 경우, 기본 운영모드의 경우 평균 0.3Q에서 0.4Q로 증가시켜 생물반응조 MLSS를 증가시켰다. 또한, 생물반응조 2지를 30분 주기로 교대 간헐포기를 실시하였다.

생물반응조에서 생물학적 탈질과정에 의하여 제거되지 못하여 잔류하는 NO₃⁻-N가 혐기구간으로 유입될 경우, 인 제거에 관여하는 미생물의 활성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 인 제거 미생물의 활성을 저하시키는 요인으로 PO₄³⁻-P와 NO₃⁻-N가 동시에 존재하였을 때, 탈질에 관여하는 미생물이 탄소원을 먼저 이용하는 미생물간 기질의 경쟁적인 관계로 기인하는 것으로 보고되었다(Metcalf and Eddy, 2003). 보통 혐기조에서의 NO₃⁻-N 농도가 2 mg/L

Table 2. Efficiency of removed Nutrients/Organic compounds for APID process and other BNR process

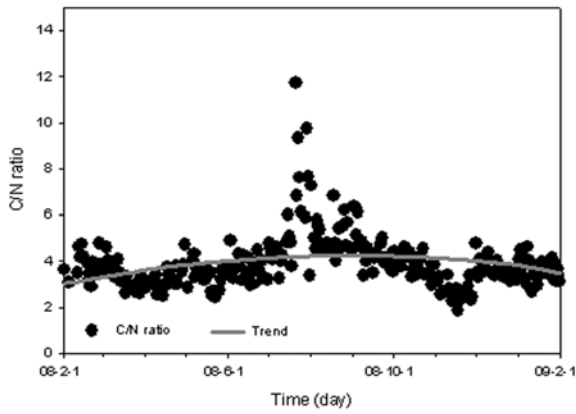
Item	APID		A ² /O		IA ¹⁾		PID ²⁾	
	BOD ₅	COD _{Mn}	BOD ₅	COD _{Mn}	BOD ₅	COD _{Mn}	BOD ₅	COD _{Mn}
TN/Org. ³⁾	0.232	0.406	0.196	0.407	0.131	0.325	0.021	0.396
TP/Org. ⁴⁾	0.030	0.052	0.024	0.0409	0.023	0.056	0.020	0.037

¹⁾ IA: Intermittently Aeration process, ²⁾ PID: Phased Isolation Ditch,

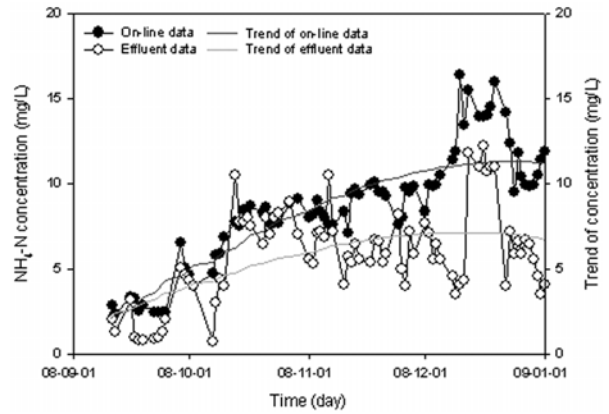
³⁾ TN/Org.: Removed Total Nitrogen/Organic compounds ratio, ⁴⁾ TP/Org.: Removed Total Phosphate/Organic compounds ratio

Table 3. Time series analysis of influent water quality

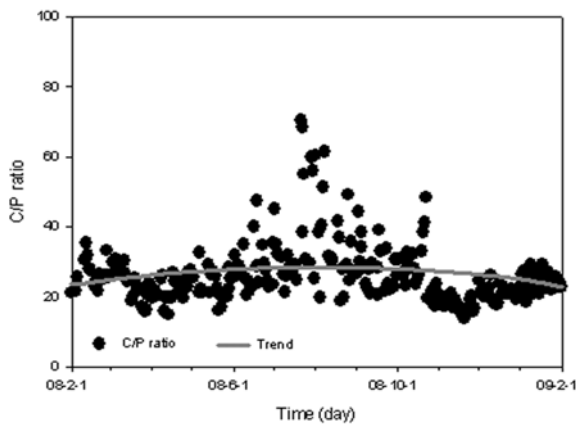
	C/N	C/P	Temp.
Model	Quadratic trend model	Quadratic trend model	Quadratic trend model
Equation	Yt = 2.636 + 0.019t - 0.001t ²	Yt = 21.642 + 0.0920t - 0.003t ²	Yt = 6.213 + 0.207t - 0.001t ²
MAPE	18.766	21.781	15.535
MAD	0.702	5.568	2.230
MSD	1.096	64.579	6.527



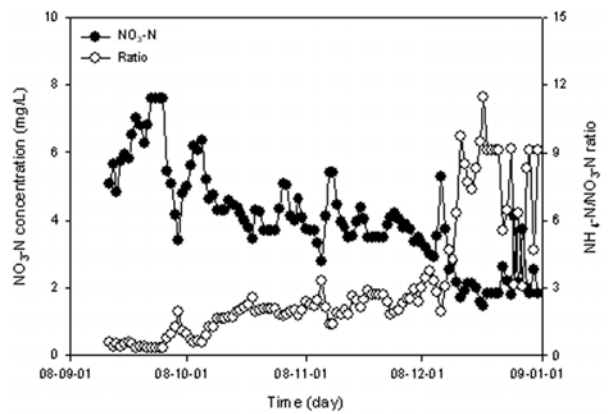
(a) BOD₅ concentration and trend



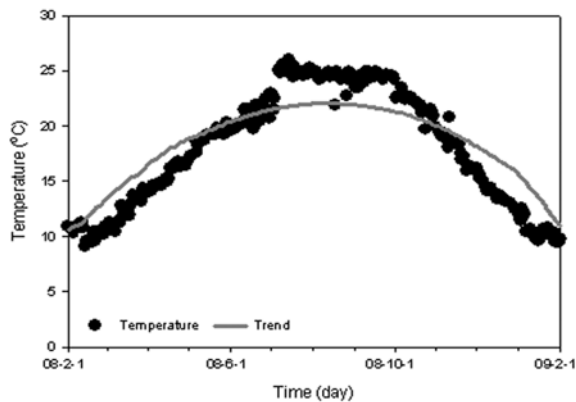
(a) NH₄⁺-N concentration and trend



(b) SS concentration and trend



(b) NO₃⁻-N concentration and NH₄⁺-N/NO₃⁻-N ratio



(c) T-N concentration and trend

Fig. 4. Trend analysis of influent BOD₅, SS, T-N, and T-P in APID process.

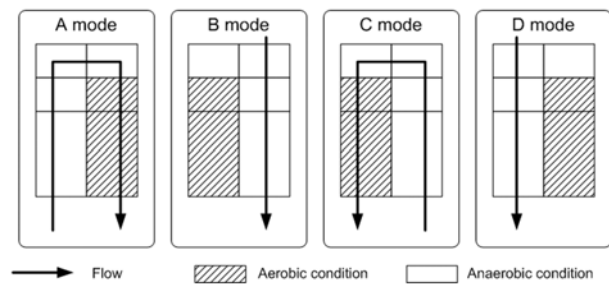


Fig. 5. Schematic diagram of intermittent aeration at winter season in APID process.

Fig. 6. Variation of nitrogen concentrations, trend, and NH₄⁺-N/NO₃⁻-N ratio in bioreactor.

이하인 경우 원활한 인제거가 가능한 것으로 보고되어 있다(Bundgaard and Petersen, 1993). 따라서 본 연구에서는 무산소구간인 비포기구간으로 유입되는 NO₃⁻-N농도와 생물반응조의 PO₄³⁻-P농도를 분석하여 NH₄⁺-N와 NO₃⁻-N가 인방출에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 6(a)는 생물반응조의 NH₄⁺-N의 일평균농도와 방류수의 NH₄⁺-N의 일평균농도를 보여주고 있다. 생물반응조의 NH₄⁺-N의 농도는 실시간 계측기에서 전송된 NH₄⁺-N의 1분당 NH₄⁺-N농도를 일평균한 농도이며, 방류수의 경우 auto-sampler(Sigma 900, HACH com., USA)를 이용하여 시료를 채취하여 분석한 일평균 농도값을 사용하였다. 생물반응조와 방류수의 NH₄⁺-N의 농도는 동절기 운전모드로 운전되는 동안, 동절기 운전모드의 특징인 생물반응조의 혐기구간 확장으로 인한 생물반응조에서 질산화 반응이 억제되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, APID공법의 질산화 효율을 간접적으로 분석하기 위하여 실험결과를 토대로 추세 분석을 실시하였다. 생물반응조와 유출수의 NH₄⁺-N농도의 추세모형은 2차식 추세모형이 적합한 것으로 분석되었다. 생물반응조의 NH₄⁺-N농도의 추세모형식은 $Y_t = 1.824 + 0.270t - 0.002t^2$ 였으며, 유출수의 NH₄⁺-N농도의 추세모형은 $Y_t = 2.11734 + 0.166t - 0.001t^2$ 가 적합하였다.

생물반응조의 혐기구간의 확대에 의한 질산화억제는 생

물반응조의 NO₃⁻-N의 생성을 저감시켰으며, NH₄⁺-N과 NO₃⁻-N의 농도비는 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 6(b)). 따라서 동절기 운전모드를 적용한 시점부터 NO₃⁻-N 농도는 점차 감소되었으며, Bundgaard and Petersen (1993)이 보고한 원활한 인제거를 위한 NO₃⁻-N의 농도인 2 mg/L 이하로 생물반응조의 혐기구간에서 운영되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 APID 공법의 기존 운영모드와 동절기 변형 운영모드의 DO 농도와 PO₄³⁻-P농도의 1일간 변화추세를 보여 주고 있다. 상분리가 연속적으로 이루어지는 반응조에서 반응조건별 DO 거동을 관찰함으로써 시간 흐름에 따른 상전환을 평가하는데 용이한 장점이 있다(Puig et al., 2005). 또한, 낮은 DO의 농도(0.1~0.5 mg/L)에서는 탈질반응과 높은 DO의 농도(0.5~1 mg/L)에서는 질산화 반응으로 상전환이 이뤄지는 것으로 알려져 있다(Vaboliene and Matuzevicius, 2005). 본 연구에서는 실시간 수질측정기를 이용하여 DO의 변화를 관찰하여 상(Phase) 전환을 평가하였다. APID공법의 기존 운영모드와 동절기 변형 운영모드의 경우 호기 조건 동안에는 DO농도가 지속적으로 증가하며, 비포기 조건인 무산소 조건에서는 DO농도가 급격히 감소함에 따라 시간적으로 상분리가 원활하게 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 기존 운영모드의 경우 동절기 변형 운영모드와 비교하였을 때, 인의 섭취 및 방출 반응은 생물반응조에서 거의 이루어지지 않고 있는 것으로 확인되었다 (Fig. 7(a)). 반면에 동절기 변형 운영모드의 경우, 질산화 억제에 따른 NO₃⁻-N의 농도저감으로 인하여 인의 섭취 및

방출은 기존 운영모드보다 활발히 이뤄지는 것으로 조사되었다(Fig. 7(b)). 이는 호기조건에서 무산소 조건으로 상 전환 시 미생물의 급격한 DO소모와 함께 무산소조건 및 혐기조건을 보다 강화함으로써 인의 방출을 증가시키는 것으로 사료된다. 또한, 수온하락에 따른 수중의 포화산소 증가는 호기 조건으로 상 전환 시 충분한 호기조건을 형성해줌으로써 미처리된 유기물의 산화 및 인의 과잉섭취를 유도하여 기존 운영모드에 비하여 인의 섭취 및 방출이 원활히 이뤄지고 있음을 확인할 수 있었다.

기존 운영모드와 동절기 변형 운영모드의 성능평가를 위하여 동절기 변형 운영모드의 운전기간과 동일한 시점인 전년도 자료(2007년 10월 2일부터 2007년 12월 31일까지)를 사용하여 방류수의 안정성을 조사하였다. 전년도 대비 동절기 운영모드는 BOD₅, SS, T-N, 그리고 T-P의 방류수 질은 약 4.4%, 33.9%, 2.6%, 18.8% 증가한 것으로 나타났다. 또한, 기존 운영모드의 BOD₅, SS, T-N, T-P의 변동계수인 36.5, 16.8, 16.1, 20.7에 비하여 유출수의 BOD₅, SS, T-N, T-P의 변동계수는 16.8, 25.6, 13.1, 16.2로 SS를 제외하고 모든 수질항목에서 보다 안정화된 것을 확인할 수 있었다(Table 4).

4. 결론

본 연구에서는 APID공법의 공정상태를 파악하기 위하여 현황분석과 더불어 기존 간헐포기 운영모드를 동절기에 적합하게 개량한 변형 간헐포기 운영모드의 개발과 적용가능

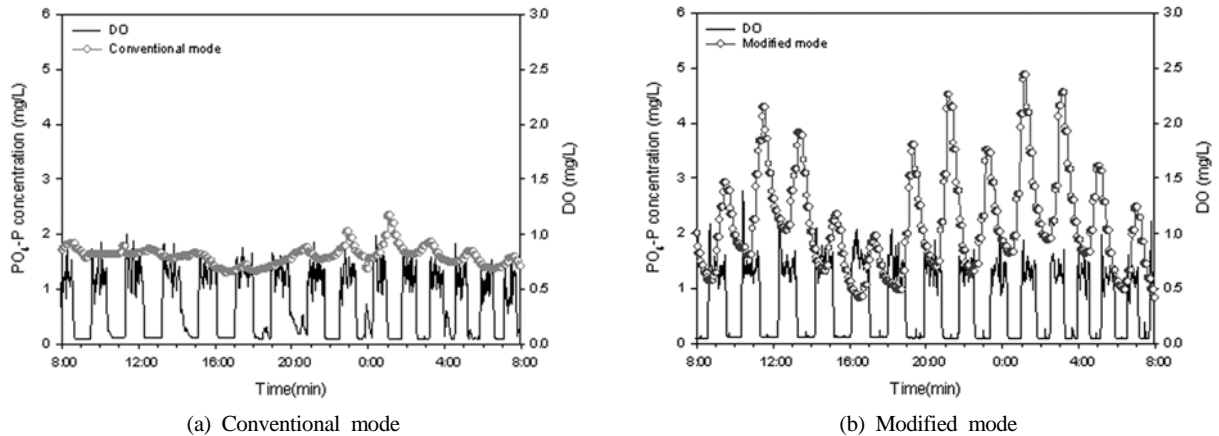


Fig. 7. Comparison conventional mode and modified mode of concentration at winter season.

Table 4. Characteristics of effluent water quality at conventional and modified mode (unit: mg/L)

Item	Conventional mode				Modified mode			
	BOD ₅	SS	T-N	T-P	BOD ₅	SS	T-N	T-P
Mean	6.8	6.2	11.4	1.6	6.5	4.1	11.1	1.3
Maximum	13.2	12.2	14	1.9	9	7	14	1.8
Minimum	2	4	6.7	0.9	3.4	2	5	0.5
StDev ¹⁾	2.4	1.0	1.5	0.2	1.3	1.1	1.5	0.3
Variance	5.6	1.1	2.3	0.1	1.3	1.1	2.1	0.1
CoefVar ²⁾	36.5	16.8	16.1	20.7	16.8	25.6	13.1	16.2

¹⁾ StDev : Standard Deviation, ²⁾ CoefVar : Coefficient of Variation

성을 검토하였다. APID공법의 2008년 2월 1일부터 2009년 2월 1일까지 공정운영결과 최종침전지 유출수의 산술평균은 BOD₅, SS, T-N, T-P의 6.3, 4.5, 10.0, 1.3 mg/L로 강화되는 법적방류수질을 만족하였으나 APID 공정운영 중 영양염류(T-N과 T-P)의 경우 유입수질의 변동은 유기물질에 비하여 안정적이지만 유출수질의 변동은 유기물질에 비하여 불안정적인 것으로 나타났다. APID공법의 현황분석 결과, 안정적인 방류수질을 유지하기 위해서는 수온의 감소와 C/N비 및 C/P비의 감소로 인한 동결기 대책이 필요한 것으로 나타났다.

동결기 대비 개량 운전모드의 현장 적용성을 평가하기 위하여 2008년 10월 2일부터 2009년 12월 31일까지 약 3개월간 현장 실험을 실시하였으며, 무산소구간인 비포기구간으로 유입되는 NO₃⁻-N 농도와 생물반응조의 PO₄³⁻-P 농도를 분석하여 NH₄⁺-N와 NO₃⁻-N가 인방출에 미치는 영향을 조사하였다. 개량 운전모드의 현장 적용성 평가 결과, 생물반응조의 혐기구간의 확대에 의한 질산화억제는 생물반응조의 NO₃⁻-N의 생성을 저감하고 무산소조건 및 혐기조건을 보다 강화함으로써 인의 섭취 및 방출은 기존 운영모드 보다 활발히 이뤄지는 것으로 조사되었다. 또한, 기존 운영모드와 동결기 변형 운영모드의 성능평가를 실시한 결과, BOD₅, SS, T-N, 그리고 T-P의 방류수질은 기존 운영모드에 비하여 약 4.4%, 33.9%, 2.6%, 18.8% 증가한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구를 통하여 도출된 동결기 변형 운영모드의 영양염류의 처리특성의 변화 및 생물반응조의 질소 및 인 거동을 기초자료로 활용하여 향후 동결기에 적합한 간헐포기모드의 알고리즘을 개발할 예정이다.

참고문헌

동영탁, 서동환, 배유진, 박주석(2007). 질산화균 활성화조를 이용한 하수처리 공정에서의 유기물 및 질소, 인 제거에 관한 연구. *상하수도학회지*, **21**(6), pp. 727-735.
서인석, 김연권, 김지연, 김홍석, 김병균, 최창규, 안효원

(2006). 멤브레인을 침지한 하수고도처리공법에서 기존 간헐포기와 개량간헐포기의 효율성 비교평가. *상하수도학회지*, **20**(2), pp. 257-264.

안상우, 곽성근, 윤영한, 정무근, 박재로, 박재우(2008). Advanced Phase Isolation Ditch 공정에 의한 하수 고도처리 성능평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(5), pp. 618-625.

안상우, 곽성근, 정영욱, 정무근, 박재우(2009). APID공정 내 공정진단을 위한 dynamic \bar{x} -R 관리도의 적용. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(5), pp. 704-712.

윤영한, 박재로, 안상우(2007a). HASP 공정의 동역학적 질산화와 탈질산화 효율 연구. *대한토목학회지*, **27**(4B), pp. 469-474.

윤영한, 안상우, 박재로, 고광백, 이효범, 지재성(2007b). 선택적 간헐포기 및 유입위치변경에 따른 생물반응조 내 질소 거동 및 성능평가. *한국수처리학회지*, **15**(2), pp. 25-34.

환경관리공단(2005). *하수종말처리장 고도처리시설 실태점검결과*.

환경부(2007). *공공하수처리시설 운영관리실태 조사*.

APHA, AWWA and WPCF (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th ed., Washington D. C., USA.

Bundgaard, E. and Petersen, G. (1993). *Methods for Improving Biological Phosphorus Removal*, Krieger, Copenhagen, Denmark.

Grady, C. P. L., Daigger, G. T., and Lim, H. C. (1999). *Biological Wastewater Treatment*, 2nd ed., Marcel Dekker INC., New York.

Metcalf and Eddy (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Fourth edition, The McGraw-Hill companies Inc., New York, USA.

Puig, S., Corominas, L., Vives, M. T., Balagure, M. D., Colprim, J., and Cplomer, J. (2005). Development and implementation of a real-time control system for nitrogen removal using OUR and ORP as end points. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **44**, pp. 3367-3373.

Vaboliene, G. and Matuzevicius, A. B. (2005). Investigation into biological nutrient removal from wastewater. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **13**(4), pp. 177-181.