

유입하수에 따른 BNR에서의 N과 P 제거율에 관한 연구

이한섭[†] · 정광보^{*} · 안성환^{**} · 김경호^{***} · 원성권^{****}

[†]용인대학교 환경과학대학 환경학과

^{*}한서대학교 공과대학 화학공학과

^{**}명지대학교 공과대학 화학공학과

^{***}한국과학기술정보연구원 산업시장분석실

^{****}카톨릭관동대학교 경영학과

(2014년 11월 19일 접수; 2014년 12월 25일 수정; 2014년 12월 26일 채택)

Removal Ratio of Nitrogen & Phosphorus according to Sewage Inflow in the Biological Treatment(Biological Nutrient Removal)Process

[†]Han-Seob Lee · Sung-Bu Choi · Kwang-Bo Chung^{*} · Sung-Hwan, Ahn^{**}
Kyung-Ho Kim^{***} · Sung-kwon Won^{****}

[†]*Department of Environment, University of YongIn, YongIn, 449-714, Korea*

^{*}*Department of Chemical Engineering, Hanseo University,*

Haemi-myeon, Seosan-si, Chungcheongnam-do, 356-706, Korea

^{**}*Department. of chemical Engineering, University of Myongji, Yongin, 120-728, Korea*

^{***}*Department of Industry and Market Analysis, Korea Institute of Science and
Technology Information, Seoul 130-741, Korea*

^{****}*Department of Business Administration, Catholic Kwandong University,
Gangneung, 210-701, Korea*

(Received November 19, 2014; Revised December 25, 2014; Accepted December 26, 2014)

Abstract : The amount of waste water generated from the domestic sources is consistently increasing in proportion to economic growth, and the conventional activated sludge process is widely being used for general waste water treatment. But the ministry of environment becomes stringent treatment standards of N and P (less than 20mg/L of N, 2mg/L of P) to prevent the eutrophication of lake water, and therefore highly advanced treatment technology is required not only in the existing treatment plants where the activated sludge process is being used, but also in newly constructed treatment plants for the treatment of N and P. This study is aimed at highly operating the engineering technology method was developed by domestic to eliminate N and P at the same time. Experiments were conducted in the treatment plant located in Yong In city. The bioreactor was started from the principal equipment for the elimination of N and P and the

[†]Corresponding author
(E-mail: hslee@yongin.ac.kr)

elimination of organic compounds. It consists of an internal recycle piping from the end of the aerobic tank to the anoxic tank and external recycle piping from the final settling basin to the denitrification tank. By experiment of 4 types separate inflow of waste water to the denitrification tank and the anaerobic tank, and changes in staying time at the anoxic tank and the aerobic tank, the elimination of organic compounds in each type and the relationship in the efficiency between the elimination of N and P were researched.

Keywords : Biological Nutrient Removal(BNR), Phosphorus, Nitrogen, biological treatment

1. 서론

인구 및 산업 활동의 증가에 따른 생활하수 및 산업폐수가 급격하게 늘어나고 축산폐수, 고형폐기물 또는 퇴적물 침출수 등의 유입으로 인해 수역 내 질소와 인의 양은 크게 증가하고 있으며 국내의 하폐수 처리는 주로 BOD, COD와 SS제거를 위한 2차 처리 정도에 치중해 왔다. 그러나 근래의 부영양화 현상으로 하천과 호수가 크게 오염되어 사회적 문제를 일으킴에 따라, 부영양화의 원인이 되는 질소와 인의 제거기술에 관하여 관심이 증가되고 있다^{1,2,3}.

2012년 말 현재까지 국내에 시설된 하수처리장은 543개소, 일 처리량 2,600만 톤을 넘어서 하수도 보급률이 약 87%에 달하는 등 10년 전에 비해 약 2배 증가 하였다. 이중 유기물 및 N, P제거에 주안점을 둔 고도처리 시설을 운영 중인 처리장은 486개소이고 그 외 하수처리방식은 대부분 표준 활성슬러지법으로서 수계오염의 주원인인 유기물을 처리하고 있다⁴. 하지만 표준 활성슬러지법은 BOD제거가 우수한 방식이나 충격 부하에 취약하며 운전요건에 따라 처리수질이 불안정하고 질소, 인 제거효율이 낮으며 슬러지발생량이 많은 단점이 있다.

기존 질소, 인 등의 영양물질 제거방법은 크게 물리화학적 및 생물학적 방법으로 대별된다. 물리화학적 방법은 금속염의 응집제 또는 화학약품 등을 첨가하여 부분적인 제거효율을 높일 수 있으나 비경제적이고 탈수성이 떨어지며 슬러지의 발생량이 많은 단점이 있다. 그러나 생물학적인 처리방법은 공정의 안정성과 신뢰성 및 장기적인 안목에서 경제적이라는 장점 때문에 영양물질 제거방법으로 최근 활발히 연구되고 있다⁵⁻⁷. 이에 따라 기존의 하수처리장에서는 2차 처리공정에 대한 처리공정 개선 및 추가시설 설치가 요구되

고 있는 실정이고 수질기준으로 BOD 및 SS가 20에서 10mg/L로 COD가 40에서 20 mg/L로 강화되며, T-N가 60에서 20 mg/L으로 T-P가 8에서 2 mg/L로 적용될 전망이므로 이에 대한 대비가 적극적으로 이루어져야 한다.

최근 들어 생물학적인 방법이 선호되는 이유 중 가장 주목할 만한 것은 수화현상의 제어뿐만 아니라 고율의 질소와 인 제거에 장점으로써 설계방법이 확립될 경우 탄소 기질과 질소 및 인을 동시에 제거할 수 있는 일괄적 처리과정을 도입할 수 있기 때문이다.⁸⁻¹² 생물학적 처리에 사용되는 여러 대표적인 생물학적 처리공정들은 여러 연구자들에 의해 연구되어 왔고 특화된 공정으로서 A/O공정, Phostrip, SBR 등이 있고, 인과 질소의 동시 제거방법으로는 A²/O공법, UCT공정, VIP 등이 있다¹³⁻¹⁹.

본 연구에서는 특정 기간에 대하여 국내 공법으로 만든 실제 Plant를 이용하여 생물반응조별 하수 분할유입에 따른 질소와 인 제거 효율을 연구하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 연구대상의 선정

본 연구의 대상은 계획 시설용량 35,000 m³/day의 용인시 지역 하수처리시설로서 생물학적 질소와 인 제거 공정으로 계획되어 건설된 처리 시설이다. 연구는 본시설의 시운전 기간을 이용하여 2014년 2월 18일 ~ 3월 30일까지 약 40일간 실시하였다.

2.2 연구시설 및 방법

Table 2. Retention times of test modes

	operation of aerobiosis	anaerobic tank sewage inflow	denitrification tank sewage inflow	inside sending back ratio	outside sending back ratio
A Mode	4 step aerobiosis tank 1	90%	10%	200%	100%
B Mode	step oxygen free	90%	10%	200%	100%
C Mode	4 step aerobiosis tank 1	100%	-	200%	100%
D Mode	step oxygen free	100%	-	200%	100%

1) 연구시설

본 연구는 일반적인 모형 실험장치 대신 현장에 시공된 하수처리 현장 Plant를 이용하였으며 처리공정은 탈질, 혐기, 무산소 및 호기조로 구성된 고도처리 공법이다⁴⁾. 유입하수는 유입부에 설치된 펌프장에서 24시간 연속 가동되는 펌프에 의해 생물 반응조에 유입된다. 생물 반응조는 총 3계열 4개지로 구성되어 있으며 각각 탈질조, 혐기조, 무산소조 및 호기조의 기능을 수행하고, 총 유효용량은 1,2771 m³이며, 설계 체류시간은 탈

질조에서 0.5 시간, 혐기조에서 1 ~ 1.5 시간, 무산소조에서 1.5 ~ 2.0 시간, 호기조에서 5 ~ 6 시간이다.

산소공급방식은 brower에 의한 산기관 방식(호기조)과 수중교반기(탈질조, 혐기조, 무산소조)가 설치되어 있으며, 외부반송은 30 ~ 200%까지 반송할 수 있도록 반송슬러지 펌프가 설치되어 있고, 내부반송은 100 ~ 200%까지 반송할 수 있도록 호기조 말단에 펌프가 설치되어 있다. 시험대상인 생물반응조의 처리공정도는 Fig. 1. 과

Table 1. Design standards of plant

division	item	unit	standard	limit of application
CABR	MLSS	mg/ l	2,000~5,000	3500
	F/M ratio	kgBOD/kgMLSS/day	0.1~0.3	0.12
	HRT(denitrification tank)	hr	0.5	0.45
	HRT(anaerobic tank)	hr	1.0~2.0	1.02
	HRT(oxygen free)	hr	1.0~2.0	1.69
	HRT(aeration tank)	hr	1.5~6.0	5.34
	inside sending back ratio	%	100~200	100
	sludge sending back ratio	%	30~100	60
	sludge concentration	mg/ l		9,330
	retention time	hr		3~5
settling pond	surface load	m ³ /m ² .day	20~30	23.3
	over flow load	m ³ /m ² .day	less than 190	188
filtration	filtration	m/day	less than 300	285
	UV ratio	%	more than 60	65
UV disinfection	a number of colon bacillus	number/m l	less than 3,000	less than 100

같고 주요시설의 설계기준은 Table 1과 같다.

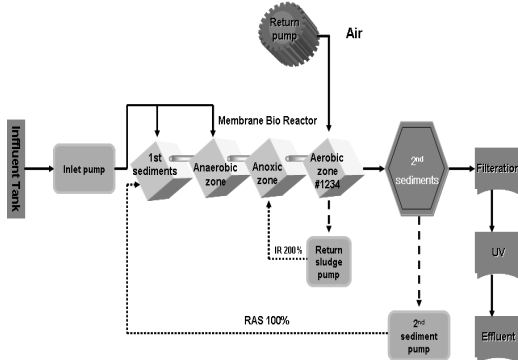


Fig. 1. Diagram of the experimental apparatus.

2) 연구방법

본 연구에서 사용한 실험조건은 Table 2와 같으며 실험기간 유입물량은 약 3,000 ~ 4,000 m³/day로서 3개 계열 중 1계열만으로 처리하였다. 각 경우는 설계조건을 고려하여 무산소조 및 호기조의 용량변환을 통한 체류시간의 변화와 혐기조와 탈질조로의 유입원수 분할주입의 4가지 유형으로 처리결과를 비교 실험하였다. 시료의 분석은 실험유형의 변경 후 10일간 유지하며, start-up 후 각각의 항목에 대해 실험분석 하였다.

각 항목별 분석방법은 수질오염 공정시험법의 방법을 따랐고 수온과 pH, DO는 현장계측장비를 이용하여 현장에서 즉시 측정하였으며 분석을 위한 시료는 실험실로 운반하여 분석 하였다. COD의 분석에는 Water Bath를 이용한 과망간산 칼륨법으로, BOD₅는 공정시험방법을 따랐으며, MLSS는 시료일정량을 여과, 건조 후 전후 무게차이를 이용하여 계산하였고, T-N과 질산성 질소는 자외선 흡광 광도법, 암모니아성 질소는 인돌페놀법을 이용하여 각각 측정하였다. 인산염 인과 총인은 아스코르빈산 환원법을 사용하여 분석하였다^{5,7,9,14}.

3) 분석방법

실험기간 중 처리장으로 유입된 하수의 수질분석은 분류식 수로로서 평균 BOD₅ 190 ~ 260 mg/L, T-N이 50 ~ 80 mg/L로 (BOD/T-N비 3.2 ~ 3.4) 분석되어 생물학적 질소처리에 양호한 조건인 유입하수의 수질조건 BOD/T-N비 (3.0 ~ 5.0) 범위를 나타내었으며, 분석방법 그리고 실험기간 중 분석된 유입수질은 각각 Table 3

과 Table 4와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입유량의 변화

본 실험기간 중 운전 Mode별 유입유량의 변화는 Fig 2.로써 A Mode로 운전시 약 3,000 m³/day이 유입되었고 2월 21일부터 23일까지의 유량은 유입 유량계의 고장으로 인하여 실제유입량의 약 50%가량 적게 Check 되었으며, 각 Mode별 유입하수량은 평균치인 3,396 m³/day로 거의 유사한 유입량을 보였다.

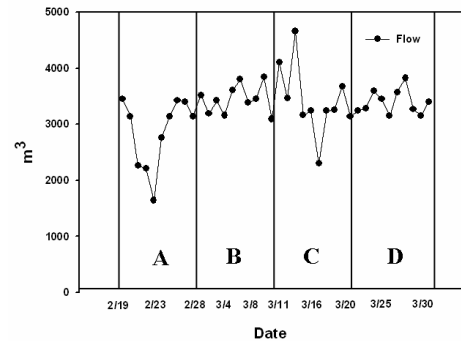


Fig. 2. Variation of Influent in each Mode

3.2. 반응조의 운전상태

반응조가 적절한 조건으로 운전되고 있는가를 간단하게 확인할 수 있는 방법은 기초 환경요인인 수온, 용존산소, pH를 측정하는 것이며 이들 항목은 다른 분석항목에 비해 간단하게 현장에서 측정할 수 있어, 이들 변화에 대한 대응은 비교적 손쉬울 수 있다. 실험기간 수온은 14.5 ~ 16.5 °C의 범위로 유지되었으며, 전체적으로 반응시간, 또는 유입수에서의 온도변화는 크게 구별되지 않았고, 반응조의 평균수온은 15.5 °C로 측정되었다.

하수의 유기물 제거와 질소, 인 성분의 제거는 대부분이 미생물학적 과정에 의해 진행되므로 온도의 상승은 제거효율의 증가를 가져올 수 있다^{12,13}.

Table 3. Analytical parameters and methods

division	item	analysis instrument	MODEL	unit	factory	REMARK
1	DO	DO meter	29D	1	ISTEC	
2	pH/ORP	PH/ORP meter	79P	1	ISTEC	
3	SS	vacuum pump (6 neck)	W2V2O	1	domestic	method of water pollution examination
		vacuum pump (1 neck)		1	WELCH	
		desiccator		2	domestic	
		Dry oven	DO-450	1	domestic	
		balance	XB-220A	1	PRECISA	
	furnace	YUYU M.F.G	1	domestic		
4	CODmn	water bath	205W-S6	2	domestic	method of potassium permanganate
		stirrer	MS300	2	MTOPS	
5	BOD ₅	BOD incubator	KA44-11	1	domestic	method of water pollution examination
		Oxygen generator	DK-8000	1	domestic	
6	T-P	Auto clave	HB-506-4	1	domestic	method of UV
	PO ₄ ³⁻ -P	UV	UV-1201	1	SHIMADZU	
7	microscopic examination	Microscope	ATH-TH-A	1	SHIMADZU	

Table 4. Quality of raw sewage [mg/L]

	BOD ₅	COD	SS	T-N	T-P	BOD ₅ /T-N	BOD ₅ /T-P
A	208.0	136.5	127.0	60.250	6.094	3.453	34.139
B	214.8	137.3	119.5	63.802	7.465	3.366	28.771
C	243.1	134.5	119.5	71.145	7.676	3.416	31.665
D	204.8	125.9	122.24	73.878	7.695	2.76	26.615

호기조 내의 용존산소 농도는 유기물제거와 질산화 과정에 중요한 영향을 주는 요인으로서 최소 0.5 ~ 2 mg/L이상의 용존산소 농도가 요구된다.

일반적으로 용존산소의 농도가 증가할 경우 질산화율이 높아져 질소의 제거가 촉진되지만, 현실적으로 기기가동에 따른 운영비가 증가하므로 어려운 점이 있다.

Table 5는 실험유형에 따른 반응조별 용존산소의 변화를 나타낸 것으로 탈질, 혐기 및 무산소조의 말단기준 용존산소 농도는 0.5 mg/L미만으

로 적절한 혐기 및 무산소 조건이 유지되었고 호기조유입부는 2 mg/L이상으로, 말단부는 무산소조로의 내부반송을 고려하여 약 1 mg/L로 유지하였다.

3.3. 반응조 내 MLSS 변화

반응조 내의 MLSS농도는 호기조 후단기준 설계치인 3,500 mg/L의 농도보다 다소 높은 4,200 mg/L를 유지하였다. 이는 실험대상인 하수처리시설이 실 Plant임을 감안한 가동초기의 시운전 단계이고, 실험기간에 반응조 내의 MLSS를 설계치

Table 5. Changer of DO concentration in each Mode

Mode	DO concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
denitrification	0.16	0.14	0.18	0.15
anaerobic	0.22	0.27	0.17	0.18
anoxic	0.15	0.18	0.13	0.14
front of aerobic	2.4	2.4	2.5	2.4
behind of aerobic	1.1	1.3	0.9	1.3

Table 6. Changer of MLSS concentration in each Mode

Mode	MLSS concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
denitrification	5,264	5,194	5,175	5,108
anaerobic	4,309	4,280	4,315	4,285
anoxic	4,528	4,353	4,186	4,235
aerobic	4,210	4,220	4,225	4,125

까지 지속적으로 낮추어 운전하였을 때 처리효율과 방류수질의 변화를 일정하게 관찰하기 어려우므로 실험기간내의 MLSS 농도는 일정하게 유지하여 분석하였다^{15,17,19}).

Table 6은 실험기간내의 각 생물반응조의 MLSS 변화를 나타낸 것이다.

3.4. BOD₅, COD_{mn} 및 SS제거율

Table 7에서와 같이 BOD₅의 경우 A Mode에서 진행되면서 점차적으로 증가되어 C Mode에서 243.1 mg/L의 가장 높은 농도로 유입되었지만 방류수 농도의 경우 반대로 C Mode에서 가장 낮은 농도로 분석되었다.

이는 각각의 Mode 중 유기물을 제거하는 주반응조인 호기조의 유효용량에 따른 체류시간이 B, D Mode 보다 길고, 탈질에 소모하고자 하는 하수분할주입 없이 전량 혐기조로 유입시켜 처리한 결과로 판단되며, COD_{mn}과 SS의 경우 Mode별 운전이 진행되면서 처리효율은 전부 COD 90% 이상, SS 95%이상으로 처리장 설계효율보다 높은 수치를 나타내었다.

3.5. T-N제거율

처리공정 중 질소 제거반응의 흐름을 알아보기 위해서는 반응조별 질소의 형태변화에 따른 NO₃⁻-N와 NH₄⁺-N의 변화를 분석하였다. NO₃⁻-N는 전 mode별 실험의 호기성조에서 높게 분석되었으며 NH₄⁺-N은 호기성조에서 낮게 분석되어 정상적인 질산화와 탈질반응이 이루어진 것으로 판단되고, 무산소조 체류시간을 증가시킨 실험 mode B, D가 실험 mode A, C보다 무산소조내의 NO₃⁻-N가 낮아 체류시간증가에 따른 질소의 거동이 보여 지는 것으로 사료되고, 호기조 체류시간을 증가시킨 실험 mode A, C가 실험 mode B, D보다 호기조 내의 NH₄⁺-N의 농도가 낮게 측정되어 역시 각지별 체류시간의 변화에 따라 질소의 형태변화에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

유입수 분할주입에 따른 질소의 상태변화는 명확하게 이루어지지는 않았는데 이는 일반적으로 이론적 근거를 바탕으로 한 소규모 예비실험 시에 나타나는 변화와는 상이한 것으로 본 실험이 실제 설비이며 처리장내의 반송되는 방류수(탈수

Table 7. Variation of BOD₅, SS and COD_{mn} concentration in each Mode

Mode	BOD ₅ , COD, SS concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
influent BOD ₅	208.0	214.8	243.1	204.8
effluent BOD ₅	4.5	2.7	2.5	3.6
BOD removal ratio(%)	97.8	98.7	98.9	98.2
influent COD _{mn}	136.5	137.3	134.5	125.9
effluent COD _{mn}	10.3	9.6	9.6	8.5
COD removal ratio(%)	92.5	93.0	92.9	93.2
influent SS	127.0	119.5	119.5	122.24
effluent SS	2.7	2.7	2.2	2.8
SS removal ratio (%)	97.9	97.8	98.2	97.7

Table 8. Conversion of T-N Concentration in Each Reactor on Each Mode

Division	T-N Concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
mean inflow T-N	60.3	62.4	71.1	74.3
mean discharge T-N	8.3	5.6	7.4	6.1
T-N remove ratio(%)	86.2	91.0	89.6	91.8

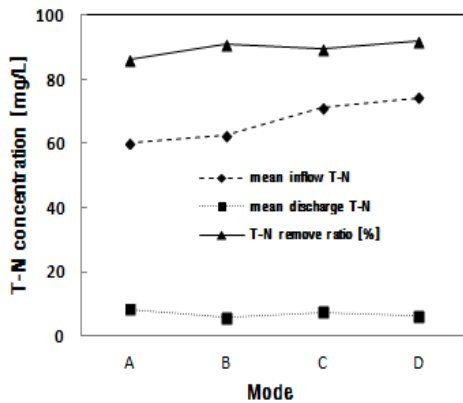


Fig. 3. Changer of T-N concentration in each Mode

여액 및 여과기 역세수 등)의 영향과 실험기간 중 탈질조 내의 NO₃⁻N는 일정하게 0.5 mg/L 이하의 농도로 분석되어 반송슬러지내의 과다한 NO_x-N이 탈질조로 유입되지는 않은 것으로 생

각되어 탈질에 소모하고자하는 하수 분할유입에 따른 질소의 형태변화는 뚜렷하게 관찰되지 않은 것으로 판단된다.¹⁸⁾

Table 8은 각 실험 mode별 T-N의 제거율을 나타낸 것으로서 무산소조의 체류시간을 증가시킨 실험 mode D가 가장 우수한 제거효율을 나타내었다.

3.6. T-P제거율

질소의 제거와 별도로 인의 제거는 미생물의 체내에 과잉축적(Luxury uptake)시켜 계 외로 배출하여 제거하는 것으로서, 반응조 내 얼마나 많은 양의 인 방출과 축적이 이루어졌는가를 알아 볼 필요가 있다^{12,16,18)}.

PO₄³⁻-P의 각 반응조별 농도변화는 Table 9과 Fig. 4.에 나타내었으며, T-P의 제거효율은 Table 10과 Fig. 5.에 나타내었다.

각 실험Mode별 인 방출과 흡수율을 유입농도와 혐기조, 무산소조와 호기조에서의 농도에 대하

Table 9. Variation of PO₄³⁻-P concentration in each Mode

Mode	PO ₄ ³⁻ -P concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
influent	5.091	5.264	6.679	6.195
denitrification	7.460	10.634	8.296	6.361
anaerobic	6.884	7.325	7.703	6.967
anoxic	6.377	5.132	4.707	5.751
aerobic	0.093	0.168	0.121	0.088
effluent	0.088	0.123	0.124	0.136

Table 10. Variation of T-P concentration in each Mode

Mode	T-P concentration [mg/L]			
	A	B	C	D
평균유입T-P	7.561	7.698	7.676	7.506
평균방류T-P	0.287	0.181	0.177	0.328
T-P제거율(%)	96.2	95.8	97.7	95.6

여 단순히 비교해보면 인 방출의 경우 A Mode에서 35.2%, B Mode에서 39.2%, C Mode에서 34.3%, D Mode에서 40.6%로서 무산소조 체류시간을 증가시킨 B, D가 상대적으로 인 방출이 높게 나타났고, 인 흡수의 경우 A Mode에서 98.2%, B Mode에서 91.0%, C Mode에서 98.1%, D Mode에서 91.6%로서 호기조 체류시간을 증가시킨 A, C가 높게 나타내었다.

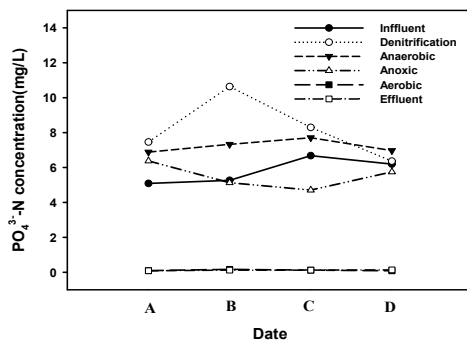


Fig. 4. Variation of PO₄³⁻-P concentration in each Mode.

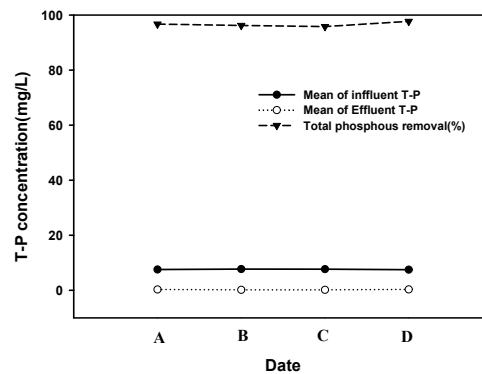


Fig 5. Variation of T-P concentration in each Mode.

한편, 인의 거동에 관한 유입수 분할주입에 따른 결과도 질소의 경우에서처럼 뚜렷이 나타나지 않았는데 이는 유입수를 분할주입 하고자하는 이유인 처리장 가동초기 낮은 C/N비 및 C/P에 대한 대처방안으로서 탈질조로 유입수를 분할주입 하여 원활한 탈질 및 인 방출을 유도하고자 하였지만, 실험기간내의 유입성상은 충분한 유기물의 유입으로 인해 생물학적 처리의 적정수준으로 유

입된 결과로 판단된다. T-P의 제거율은 호기조의 체류시간을 증가시킨 실험 Mode C가 가장 높은 제거율을 나타내어 호기조에서 작용하는 인 흡수율에 의한 변화에 따라 인 제거율에도 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구대상이 실증 plant인 하수처리시설을 대상으로 실험한 관계로 Lab scale의 pilot plant 실험장치 연구에 비하여 실험조건별 변화양상이 확실하게 나타나진 않았으며 또한, 유입유량의 인위적 제어가 불가능하여 각 생물반응조의 체류시간제어에 어려움이 있었다.

그러나 결과적으로 이론적 배경을 근거로 한 경향은 유사하게 관찰 되었으며, 특히 plant의 운전조건에 따라 서로 상이한 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 차후 유입하수 성상의 변화에 따라 유동적으로 대처할 수 있는 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 결론

실제 하수처리 plant를 이용한 무산소조 및 호기조의 체류시간 변화 및 유입수 유입에 의한 질소, 인 제거의 최적 운전조건을 위해 실험한 용인시 소재 하수처리장에 대한 연구결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수온이 15.5°C를 유지하고 유입하수의 BOD₅/T-P가 28 ~ 34인 탈질, 혐기, 무산소, 호기조를 이용한 고도처리시설의 운영에서 최고 T-N: 91.8%, T-P: 97.7%의 제거율을 보였다.
2. 현장 plant를 대상으로 실시한 4가지 유형별 최적운영의 결과를 분석한 결과 BOD₅, SS, T-P는 유입하수를 전량 혐기조로 유입시키고 호기조 체류시간을 증가시킨 C Mode의 제거효율이 가장 양호하였으며, COD_{mn}, T-N은 마찬가지로 유입하수를 전량 혐기조로 유입시키고, 호기조 1지를 무산소조로 운영하여 무산소조 체류시간을 증가시킨 D Mode의 제거효율이 가장 양호하였다.
3. 운전조건의 변화 중 탈질효율 및 인방출을 증대를 위한 유입하수의 분할주입에 대해서는 뚜렷한 변화를 나타내지 않았다. 이러한

이유는 유입하수 중에 탈질과 인 방출에 필요한 충분한 유기물을 함유하고 있기 때문에 특별한 변화를 나타내지 않은 것으로 사료된다.

References

1. R. Gnirss, B. Lesjean, H. Buisson, Enhanced Biological Phosphorus Removal with Post-Denitrification in Membrane Bioreactor WERF Workshop BNR: How low can we go and what prevents us from going lower? Held at DCWASA Headquarters, Washington DC(2006).
2. H. S. Han, Experimental research with biological removal process of nitrogen and phosphorus, Yonsei University (1995).
3. R. Seviour, P. H. Nielsen, Microbial Ecology of Activated Sludge, IWA Pub. London, Chaps 1-10 (2010).
4. S. C. Kim, Gugal wastewater plant in yongin with report of design (2003).
5. U.S. EPA, Technology Transfer, Process Design Manual for Nitrogen Control, Washington, D.C., (1985).
6. U.S. EPA, Manual Nitrogen Control. EPA/625/R-93/010, Washington, D.C., (1993).
7. E. G. Srinath, Rapid Removal of Phosphorus from Sewage by Activated Sludge, (1989).
8. J. R. Hoffman, Phosphorus removal in the modified activated sludge process. M. S. Thesis, Univ. of Cape Town, Rondebosch, South Africa. (1997).
9. M. Henze, Biological phosphorus removal from wastewater process and technology, *WQI*, 32-36, (1996).
10. M. Nagashima, et al., A nitrification/denitrification recycling system for nitrogen and phosphorus removal from fermentation waste water. *Fermentation Technology*. **57(2)**, (1999).
11. G. Tchobanoglous, F. Burton, H. D. Stensel, Wastewater Engineering Treatment

- and Reuse, McGrawHill, Boston, Chap 8, (2003).
12. Y. Comeau, K. J. Hall, R. E. Hancock, W. Oldhan, Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. *Wat. Res.* **20**, 1511-1521, (1986).
 13. Standar dization, in the field of waste water treat mwnt plants, European water pollution control, vol. **6**, no. 1, January, (1996).
 14. J. L. Barnard, A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process. *Water S. A.* **2**, 136. (1996).
 15. M. C. Wentzel, L. H. Lotter, G. A. Ekama, R. E. Loewenthal, Evolution of biochemical models for biological excess phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 567-576, (1991).
 16. M. J. Simpkins, A. R. McLaren, Consistent biological phosphate and nitrate removal in an activated sludge plant. *Wat. Tech.* **10(5-6)**, 433, (1998).
 17. C. Hellinga, A. A. J. Schellen, J. W. Mulder, The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich wastewater. *Wat. Sci. Tech.* **37(9)**, 135-142, (1998).
 18. Jr. Grady, T. D. Glen, C. L. Henry, Biological wastewater treatment, Marcel Dekker, Inc., New York. (1999).
 19. J. W. Groenestijn, M. H. Deninema, Effect of cultural condition on phosphate accumulation and release by Acinetobactor strain 210A. Management Strategies for Phosphorus in the Environment. Lisbon, Portugal, July 1-4. (1995).