

석사학위논문

제주지역 골프장의 개인하수처리시설  
방류수질 특성 연구

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과

환경공학 전공

양 성 택

2009년 12월

석사학위논문

제주지역 골프장의 개인하수처리시설  
방류수질 특성 연구

지도교수 조 은 일

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과

양 성 택

2009년 12월

# 제주지역 골프장의 개인하수처리시설 방류수질 특성 연구

지도교수 조 은 일

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

2009년 12월

제주대학교 산업대학원  
건설환경공학과 환경공학 전공

양 성 택

양성택의 공학석사학위 논문을 인준함.

2009년 12월

위 원 장 허 목 ①

위 원 허 철 구 ①

위 원 조 은 일 ①

# Study on treated water of individual sewage treatment plants in golf courses in Jeju Island

Taek-Sung Yang

*Department of Construction and Environmental Engineering  
Graduate School of Industry  
Cheju National University*

*Supervised by Professor eun-il Cho*

## *Summary*

Most of the golf courses in Jeju Island install individual sewage treatment plants, remove organisms in sewage, and use treated sewage to water grass after being brought into the ponds in golf courses. But if nutrient salts are not removed in sewage and flow into the ponds, this can cause the generation of green algae by eutrophication and make it impossible to recycle treated sewage as irrigating water. Most of the individual sewage treatment plants being operated in golf courses are focusing on organism removal through a changed activated sludge process. Recently, some of them introduce advanced treatment process to remove nutritive salts such as nitrogen, phosphorus, etc. In accordance with the revision of the Sewage Act in 2008, the number of the constituents of the effluent water quality criteria increased from 2 items such as BOD and SS to 5 items including T-N, T-P and Total Coliforms. Beginning January 2012, the effluent water quality criteria of the 5 items will be applied and the treatment for removal of nitrogen and

phosphorus will become much more important.

Consequently, this research deals with the comparison of efficiency by method between one golf course applying advanced treatment, Bio-NET process, among individual sewage treatment plants installed in golf courses in Jeju Island and 2 golf courses using conventional extended aeration method and aerobic contact oxidation method. And it also covers whether the individual sewage treatment plants can meet effluent water quality criteria in the future. In addition, it lays the foundation for collecting basic data concerning the increased efficiency of sewage treatment plants by comparing the removal efficiency of organisms and nutrients between the plants adopting the advanced treatment process and the ones using a conventional treatment process. The main results of the research are as follows:

The examination of water quality characteristics between sewage home and abroad and sewage in golf courses shows that the average BOD, T-N and T-P of golf courses are 95.7mg/L, 22.3mg/L and 3.1mg/L respectively and concentrations are similar to those of domestic confluence-type sewer pipes along with unfavorableness in terms of nutrient removal. And the more golf course users are, the more the concentrations of BOD, SS and T-N of influent water into individual sewage treatment plants are. T-N and T-P in influent water exceed effluent water quality criteria, T-N 20mg/L and T-P 2mg/L, which will be applicable in 2012. Therefore, it has been surveyed that it is necessary to remove nitrogen and phosphorus.

It is shown that BOD and SS are all removed stably in advanced Bio-Net method, extended aeration method and aerobic contact oxidation method. Though T-N has been treated less than effluent water quality criteria, 20mg/L, which will be applicable in 2012, it frequently reaches effluent water

quality criteria. T-P occasionally exceed effluent water quality criteria of 2mg/L, which will be applied hereafter. And it is necessary to efficiently operate and improve a treatment process to treat sewage in a stable manner in the future.

Consequently, the effluent water quality criteria to be enacted in 2012 for individual sewage treatment plants will be stricter than now. And it is indispensable to remove nutrient salts. Therefore, it is judged that it will be more and more difficult to remove T-N and T-P in individual sewage treatment plants because of increased influx as the number of golf course users increases. As operating conditions are limited in conventional sewage treatment method, it is difficult to increase efficiency in removing nutrient salts. Therefore, it is judged that the specific examination should be made concerning removal efficiency by method. And it will be necessary to thoroughly review the introduction of the advanced sewage treatment method in individual sewage treatment plants installed in golf courses in terms of removal of nitrogen and phosphorus.

# 목 차

요약문 .....	i
I. 서론 -----	1
II. 이론적 배경 -----	3
1. 제주지역 하수처리시설 현황과 골프장 현황 -----	3
2. 개인하수처리시설의 법적근거 -----	5
1) 개인하수처리시설의 방류수 수질기준 -----	5
3. 개인하수처리시설에서의 하수처리 -----	7
1) 재래식 하수처리공법 -----	7
2) 고도처리의 필요성 -----	11
3) 생물학적 고도처리 -----	13
4) 국내 고도처리 기술동향 -----	22
5) Bio-NET 공법의 특성 -----	29
III. 조사 및 분석방법 -----	32
1. 조사 방법 -----	32
2. 분석항목 및 분석방법 -----	33
IV. 결과 및 고찰 -----	35
1. 국내외 하수와 골프장 하수의 수질특성 비교 -----	35
2. 골프장 개인하수처리시설의 유입수량 및 유입수 수질특성 -----	37
1) 하수 유입수량 변화 -----	37
2) 골프장 내장객수에 따른 수질변동 특성 -----	40
3) 골프장 개인하수처리시설의 유입하수 수질 특성 -----	42
3. 골프장 개인하수처리시설별 방류수 수질특성 -----	47
1) A-STP의 방류수 수질특성 -----	47
2) B-STP의 방류수 수질특성 -----	50

3) C-STP의 방류수 수질특성 -----	53
4. 골프장 개인하수처리시설의 공법별 처리효율 비교 -----	56
V. 결론 -----	58
참고문헌 -----	61





List of Tables

Table 1. The present situation of public sewage treatment facility in Jeju Island -----	4
Table 2. The present situation of golf courses in Jeju Island -----	4
Table 3. The guidelines for Interpretations of Effluent Water Quality for the individual sewage treatment plant -----	6
Table 4. The operating condition of extended aeration method -----	8
Table 5. The design factor of extended aeration method -----	9
Table 6. The operating condition of Bio-NET process -----	31
Table 7. The design basis of Bio-NET process -----	31
Table 8. The present situation of individual STP in golf courses -----	32
Table 9. The analytical methods for water quality parameters -----	33
Table 10. The concentration of nutritive salts in sewage -----	36
Table 11. The pollution load ratio of tourists -----	37
Table 12. The influent of individual sewage treatment plant -----	39
Table 13. The present situation of the visitors in the golf courses -----	39

## List of Figures

Fig. 1. The process of extended aeration method	9
Fig. 2. The process of aerobic contact oxidation method	11
Fig. 3. AOSB process	23
Fig. 4. SAMCO process	24
Fig. 5. DNR process	25
Fig. 6. HDF process	25
Fig. 7. ICEAS process	26
Fig. 8. OMNIFLO process	27
Fig. 9. DeNiPho process	28
Fig. 10. CNR process	28
Fig. 11. Bio-NET process	29
Fig. 12. The location of individual sewage treatment plant in golf courses for investigating the performance	33
Fig. 13. The variation of the influent from the individual sewage treatment plant in the golf courses.	38
Fig. 14. The variation of water consumption in A-STP by visitors	40
Fig. 15. The variation of BOD, SS in A-STP by visitors	41
Fig. 16. The variation of T-N, T-P in A-STP by visitors	42
Fig. 17. The variation of BOD in the influent from the golf courses	43
Fig. 18. The variation of SS in the influent from the golf courses	44
Fig. 19. The variation of T-N in the influent from the golf courses	45
Fig. 20. The variation of T-P in the influent from the golf courses	46
Fig. 21. The variation of BOD in the influent and effluent from A-STP	48
Fig. 22. The variation of SS in the influent and effluent from A-STP	48
Fig. 23. The variation of T-N in the influent and effluent from A-STP	49
Fig. 24. The variation of T-P in the influent and effluent from A-STP	49
Fig. 25. The variation of BOD in the influent and effluent from B-STP	51
Fig. 26. The variation of SS in the influent and effluent from B-STP	51

Fig. 27. The variation of T-N in the influent and effluent from B-STP --- 52  
Fig. 28. The variation of T-P in the influent and effluent from B-STP ---- 52  
Fig. 29. The variation of BOD in the influent and effluent from C-STP --- 54  
Fig. 30. The variation of SS in the influent and effluent from C-STP ----- 55  
Fig. 31. The variation of T-N in the influent and effluent from C-STP --- 55  
Fig. 32. The variation of T-P in the influent and effluent from C-STP ---- 56  
Fig. 33. The removal efficiency classified by treatment processes ----- 57





## I. 서론

국민생활과 산업 생산 활동으로 인해 발생하는 하수는 최근 급격히 증가하는 실정이다. 1980년대 후반부터 본격화된 하수처리시설 설치 사업은 BOD처리를 위주로 구축 되었고 이로 인해 하천, 호소 등으로 영양염류물질의 지속적인 증가로 인해 하절기 녹조현상이 발생할 뿐만 아니라 연간 평균 하천수질의 악화가 심화되는 현상을 초래하였다.

이에 하수처리체계를 BOD 처리위주에서 질소, 인 처리체계로 전환하여야 할 필요성을 절감하게 되었으며 하천, 호소 등의 부영양화 방지를 위해 하수의 고도처리시설의 도입이 절실한 상황에 이르렀다. 2008년에는 전국의 대부분의 하수종말처리시설이 강화된 방류수 수질기준의 규제를 받게 되었고, 현재 단계별로 하수종말처리시설에 대한 질소 및 인의 제거를 위한 고도처리시설의 도입이 추진되고 있다.

제주도내 골프장은 2009년 10월 현재 운영 중인 골프장이 27개소이며 향후 승인 및 절차이행 중인 골프장 7개소를 포함하면 34개소에 이르며, 면적으로는 41,176,660m<sup>2</sup>으로 제주도의 2.3%에 해당하는 면적으로 대부분 중산간 지역에 위치해 있어 환경오염 문제에 자유롭지 못한 상황이다. 그리고 골프장에 방문하는 내장객은 해마다 증가하는 추세에 있어 2009년 10월 현재 172,059명 2008년 155,649명 보다 11%나 증가하였다. 이러한 골프장의 발생하수에 대한 처리는 대부분 개인하수처리시설을 설치하여 유기물을 제거한 후 골프장내 연못으로 유입하여 잔디 관개용수로 재활용하고 있다. 그러나 하수중의 영양염류가 제거되지 않은 채 연못으로 유입되어 부영양화에 의한 녹조발생 등 미관을 저해하고 관개용수로의 재활용이 불가능 하게 되는 경우도 발생한다.

제주도의 골프장에서 운영 중인 대부분의 개인하수처리시설은 활성슬러지 방법으로 유기물 제거에 주목적을 두고 있고 근래에 질소 및 인 등의 영양염류의 제거를 위해 고도처리 공법이 일부 도입되고 있는 실정이다. 2008년 하수도법이 개정되어 방류수 수질기준 항목이 BOD, SS 2개 항목에서 T-N, T-P, 총대장균

포함 5개 항목으로 확대되어 2012년 1월부터 5개 항목에 대한 방류수 수질기준을 적용받게 되었고, 이에 따라 질소 및 인의 제거를 위한 처리가 더욱 중요하게 되었다.

따라서 본 연구는 제주지역 골프장에 설치된 개인하수처리시설 도입 공법별 처리효율을 비교하여 장래 강화되는 개인하수처리시설 방류수 수질기준을 충족할 수 있는지 여부를 파악하고 또한 고도처리공법이 적용된 하수처리시설과 재래식 공법이 적용된 하수처리시설에서의 유기물 및 영양염류의 제거효율을 비교함으로써 골프장 개인하수처리시설의 효율향상 및 공법선정에 관한 기초자료를 마련하고자 하였다.



## II. 이론적 배경

### 1. 제주지역 하수처리시설 현황과 골프장 현황

현재 도내에 운영 중인 하수처리장은 제주시 지역 3개소, 서귀포시 지역 5개소로 총 8개소의 공공하수처리시설을 가동 중에 있으며 고도처리공법을 도입 운영 중이며, 1일 처리용량은 197천m<sup>3</sup>, 하수처리 인구는 약 446천명이고, 하수관거시설 연장은 약 2,930km이다. 2008년 현재 하수처리 보급률은 71.8%이고, 지역별로는 제주시 71.4%, 서귀포시 지역은 77.8%로 아직 미흡한 상황이다. 또한 제주지역 내에 1일 500m<sup>3</sup>미만의 공공하수처리시설인 소규모 마을하수처리시설이 50여개소가 있으며 고도처리 없이 유기물과 부유물질처리 위주로 설치되어 있다.

제주도내 골프장 대부분은 중산간 지역에 위치하고 있으며 하수관거 미 보급에 따라 발생 하수를 개인하수처리시설을 설치하여 처리할 수밖에 없는 상황으로 현재 운영 중인 골프장 27개소 중 제주시 3개소, 서귀포시 3개소 총 6개소를 제외한 나머지 21개소에서 개인하수처리시설을 설치하여 운영 중에 있다.

제주지역에서 운영 중인 골프장은 2000년도 7개에서 2009년 27개로 꾸준한 증가를 보이고 있으며 이용객 또한 매년 증가하여 2008년 1,443,365명으로 골프 이용객 100만 명 시대를 열어 급격하게 증가하는 추세에 있으며, 향후 내장객 증가로 인한 오염 부하량은 커질 수밖에 없다.

제주도내 공공하수처리시설 현황을 Table 1 에 나타내었고 골프장의 연도별 증가 현황을 Table 2 에 각각 나타내었다.

Table 1. The present situation of public sewage treatment plant in Jeju Island

City	Facilities		Capacity (1000m <sup>3</sup> /day)	Project Cost (Mill. Won)	Project Period	Remarks	
Total	8		197	467,069			
Jeju City (Dong Area)	Dodoo	Subtotal	130	65,000			
		Phase 1	60	36,000	'87 ~ '93		
		Phase 2	70	29,000	'94 ~ '98		
Seogwipo City (Dong Area)	2		35	43,944			
	Seogwi (Bomok)	Subtotal	20	18,317			
		Bomok	20	18,317	'93 ~ '96		
			Subtotal	15	25,627		
	Joongmoon	Phase 1	5	1,220	'81 ~ '83		
		Phase 2	10	24,407	'94 ~ '98		
Jeju City (County Area)	2		12	194,750			
	Panpo		6	102,272	'97 ~ 2007		
	Weoljung		6	92,478	"		
Seogwipo City (County Area)	3		20	163,375			
	Daejung		8	47,204	'97 ~ 2007		
	Namwon		8	58,433	'97 ~ 2007		
	Seonsan		4	57,738	'97 ~ 2007		

(Data: 2008 환경백서, The Jeju special self-governing Province)

Table 2. The present situation of golf courses in Jeju Island

Category	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08
No. of golf courses	8	9	9	12	16	19	23	26
No. of holes	225	252	252	324	432	513	612	681
Vistors (1,000)	572	701	782	848	977	1,017	1,188	1,443
Vistors per hole(people)	2,542	2,782	3,103	2,617	2,262	1,982	1,941	2,119
Increase rate in Vistors (%)	97.6	109.4	111.6	84.3	86.4	87.7	97.9	109.2

(Data: City Planning Division of The Jeju special self-governing Province)



## 2. 개인하수처리시설의 법적근거

오수는 일반적인 오염물질과 달리 수질오염에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라, 크고 작은 배출원이 전국적으로 산재되어 있어, 이로 인한 수질오염을 효과적으로 방지하기 위하여 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률을 1991.3(법률 제4364호) 제정·공포하여 1991.9.9부터 시행하여 왔으나, 하수나 오수는 동일한 물질임에도 하수도법과 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률로 이원화되어있어 두 법을 단일법으로 통합하여 비효율성을 근본적으로 개선하고자 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률이 2006년 9월 27일 폐지되고 하수도법 체계로 통합되어 개인하수처리시설이라는 용어를 사용하게 되었으며, 오수를 처리하여 하천, 바다 그 밖의 공유수면에 방류하기 위하여 지방자치단체가 설치 또는 관리하는 처리시설과 이를 보완하는 시설을 공공하수처리시설이라 하고 건물, 시설 등의 설치자 또는 소유자가 당해 건물, 시설 등에서 발생하는 오수를 침전, 분해 등의 방법으로 처리하는 시설을 개인하수처리시설이라 한다.

### 1) 개인하수처리시설의 방류수 수질기준

방류수수질기준은 환경부령으로 정하나 특별대책지역이나 상수원의 수질보전 또는 생활환경보전을 위하여 필요한 지역으로서 대통령령이 정하는 지역에 대하여는 그 기준을 엄격하게 정할 수 있고, 특별시·광역시·도는 환경기준의 유지가 곤란하다고 인정하는 때에는 당해 시·도의 조례로 엄격한 방류수수질기준을 정할 수 있다.

2008년에 개정된 하수도법에 명시된 다른 방류수 수질기준을 Table 3. 에 나타내었다.

Table 3. The guidelines for Interpretations of Effluent Water Quality for the individual sewage treatment plant

구분	1일 처리용량	지역	항목	방류수수질기준
오수처리 시설	50m <sup>3</sup> 미만	수변구역	생물화학적 산소요구량(mg/L)	10 이하
			부유물질(mg/L)	10 이하
		특정지역 및 기타지역	생물화학적 산소요구량(mg/L)	20 이하
			부유물질(mg/L)	20 이하
	50m <sup>3</sup> 이상	모든 지역	생물화학적 산소요구량(mg/L)	10 이하
			부유물질(mg/L)	10 이하
			총질소(mg/L)	20 이하
			총인(mg/L)	2 이하
정화조	11인용 이상	수변구역 및 특정지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	65 이상
			생물화학적 산소요구량(mg/L)	100 이하
		기타지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	50 이상
			총대장균군수(개/mL)	3,000 이하

도양침투처리방법에 따른 정화조의 방류수수질기준은 다음과 같다.

가. 1차 처리장치에 의한 부유물질 50퍼센트 이상 제거

나. 1차 처리장치를 거쳐 도양 침투시킬 때의 방류수의 부유물질 250mg/L 이하

골프장과 스키장에 설치된 오수처리시설은 방류수수질기준 항목 중 생물화학적 산소요구량은 10mg/L 이하, 부유물질은 10mg/L 이하로 한다. 다만, 숙박시설이 있는 골프장에 설치된 오수처리시설은 방류수수질기준 항목 중 생물화학적 산소요구량은 5mg/L 이하, 부유물질은 5mg/L 이하로 한다.

비 고

1. 이 표에서 수변구역은 영 제4조제3호에 해당하는 구역으로 하고, 특정지역은 영 제4조제1호·제2호·제4호·제5호 및 제10호에 해당하는 구역 또는 지역으로 한다.
2. 수변구역 또는 특정지역이 영 제8조에 따라 고시된 예정하수처리구역이나 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 제67조에 따라 고시된 기본계획의 폐수종말처리시설 처리대상지역에 해당되면 그 지역에 설치된 정화조에 대하여는 기타 지역의 방류수수질기준을 적용한다.
3. 특정지역이 수변구역으로 변경된 경우에는 변경 당시 그 지역에 설치된 오수처리 시설에 대하여 그 변경일 부터 3년까지는 특정지역의 방류수수질기준을 적용한다.
4. 기타지역이 수변구역이나 특정지역으로 변경된 경우에는 변경 당시 그 지역에 설치된 개인하수처리시설에 대하여 그 변경일 부터 3년까지는 기타지역의 방류수수질기준을 적용한다.

5. 겨울철(12월 1일~3월 31일)의 총 질소와 총 인 방류수수질기준은 60mg/L 이하와 8 mg/L 이하를 각각 적용한다.
6. 하나의 건축물에 2개 이상의 오수처리시설을 설치하거나 2개 이상의 오수처리시설이 설치되어 있는 경우에는 그 오수처리시설 처리용량의 합계로 방류수수질기준을 적용한다.
7. 영 제8조에 따라 고시된 예정하수처리구역이나 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 제67조에 따라 고시된 기본계획의 폐수종말처리시설 처리대상지역에 설치된 오수처리시설에 대하여는 1일 처리용량 50m<sup>3</sup> 미만인 오수처리시설의 방류수수질기준을 적용한다.

( Data : Environment Division, 2008)

### 3. 개인하수처리시설에서의 고도처리

하수처리란 하수 중에 현탁 또는 용해되어 있는 오염물질을 제거하는 조작으로 하폐수가 처리되지 않은 상태로 하천이나 호소 또는 바다 등의 수역으로 방류되면, 부패에 의한 산소의 감소, 수서생물의 폐사, 부식성찌꺼기의 퇴적 및 조류의 이상증식 등을 초래하여 수질을 오염시킬 수 있다(Mecalf 및 Eddy, 2003). 이로 인한 하·폐수의 수질기준을 만족할 수 있도록 각종의 방법으로 처리하고 있으며, 일반적으로 제거해야 할 오염물질의 성상에 따라 처리방법이 결정된다.

생물학적 하수처리의 기본적인 목표는 첫째 BOD와 COD등으로 표현되는 유기물의 농도를 저하시켜서 청정한 처리수를 얻고, 둘째 슬러지의 발생량을 감소시키며, 셋째 질소와 인 등의 영양염류를 가능한 제거하는 것에 있다.

#### 1)재래식 하수처리 공법

기존의 재래식공법은 주로 하수중의 유기물을 제거하는 것이 주요 목적이었으며 처리공정은 활성슬러지공정을 비롯한 각종 변법이 있다. 일반적으로 소규모 하수처리장의 경우 산화구공정이나 연속회분식 공정을 사용할 수 있고, 조건에 따라 장기폭기법이나 접촉안정화공정 등이 사용될 수 있다.

(1)장기폭기법

활성슬러지를 영양레벨이 낮은 조건에서 장시간 폭기 시키면 자기산화에 의해 슬러지 발생이 감소되는 현상이 있는데 이러한 특성을 이용하여 폭기조에서의 수리학적 체류시간(HRT)을 1일 이상으로 장시간 폭기시키고 슬러지(MLSS)의 농도를 고농도로 유지하여 유기물 및 질소를 산화시키는 공법이다.

대부분의 경우 1차 침전지를 생략하고 슬러지 체류시간(SRT)을 길게 하여 F/M 비를 0.03~0.05kgBOD/kgSS·day로 매우 낮게 유지함으로써 슬러지 발생량이 적고 유지관리가 용이한 처리공법이다.

이 공법은 BOD 부하( 0.13~0.2kgBOD/m<sup>3</sup>·day)가 낮은 경우에도 적용가능하며, 장시간 폭기시킴으로서 플러이 파괴되는 등의 원인에 의해 슬러지 침강성이 좋지 않을 경우가 있으며 폭기시간이 길어서 폭기조 용량이 크게 되며 슬러지반송비도 50~150%로 크기 때문에 넓은 시설부지가 필요한 점 등의 단점도 있다. 단위 처리수량에 대한 필요산소량이 표준활성슬러지법보다 많기 때문에 산소공급 효율이 좋은 폭기방식을 채택하는 것이 필요하다. 아래 Table 4 에 장기폭기법의 운전조건을, Fig. 1 에 공정도를 각각 나타내었다.

Table 4. The operating condition of extended aeration method

Section	Plan	Application
HRT(hr)	24~36	26
BOD Capacity Load (kg/m <sup>3</sup> ·d)	0.13~0.2	0.18
MLSS	3,000~6,000	3,000
Sludge Return Rate (%)	50~150	100
Effluent BOD (mg/L)	200	
Treated BOD (mg/L)	5	

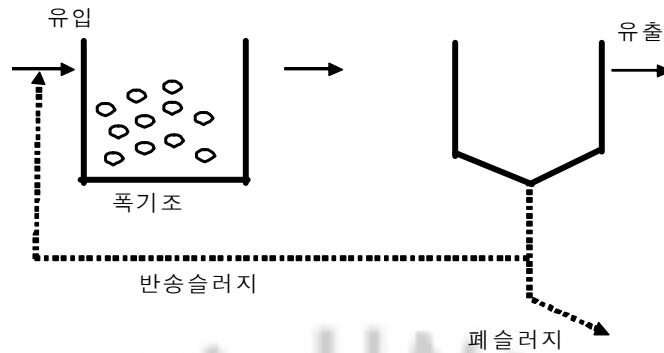


Fig. 1. The process of extended aeration method.

장기폭기법의 장점으로는 폭기조에서의 체류시간이 길어지므로 포기시간도 연장이 되고 따라서 슬러지가 대수증식단계에서 내생호흡단계까지 폭기조 내에 머물게 됨으로써 슬러지가 자산화되어 최종 침전지에서 슬러지 발생량이 줄어들게 된다. 그렇지만 슬러지가 자산화 단계까지 이르러 침강성과 활성도가 떨어지는 경향이 있고 질산화까지 진행되어 pH의 저하를 가져오는 단점도 있다. 아래 Table 5 에 장기폭기법의 일반적인 설계인자를 나타내었다.

Table 5. The design factor of extended aeration method

Plan Factor	Organism Load (kgBOD/kg MLSS/d)	Organism Load (kgBOD/m <sup>3</sup> /d)	MLSS (mg/L)	Sludge Stay Period (day)	Hydraulic Stay Period (hr)	Sludge Return Percentage (%)
Planned Value	0.03~0.05	0.15~0.21	3,200~4,100	14~45	15~25	100~200

## (2)접촉산화법

기존의 활성슬러지공법은 생물학적 처리공법의 기본모델로 세계에서 가장 많이 사용하고 있는 수처리공법으로 설계 및 운영에 관한 지침이 체계화되어 있으며 이를 변형한 모델들이 연구 개발되어 기존의 공법의 단점을 보완하여 현장에 적용되고 있는 사례가 많다.

근래에 환경친화적 경영에 대한 경영이 최선의 경영으로 여겨지고 각 처리장

의 개선에 대한 요구가 현실화되고 있지만, 변형된 생물학적 처리공법의 오용으로 부지 외에도 종균제와 같은 수처리용 약품비가 많이 소요되나 예전보다 처리가 안 되는 경우도 종종 있는 형편이다. 수처리장에 적용되는 생물학적 처리공법은 국내여건에 기준하여 볼 때 일단, 부지가 적게 소요되어야 한다. 또 성수기와 비수기의 부하변동에 대비한 단계별 운영이 가능한 시스템이어야 하는 요건을 가지고 있다. 그리고 모든 시스템에서 요구되는 운전관리가 용이하며 부대비용이 적게 소요되는 장점을 가지고 있어야 한다. 또 하천의 부영양화를 방지하기 위해서 질소와 인과 같은 영양염류의 제어가 가능하여야 한다.

위와 같은 조건들을 충족시키는 공법이 유동상, 고정상 미디어에 의해 처리율을 높일 수 있도록 한 접촉산화공법이다. 미디어에 미생물이 부착된 상태에서 운전을 하기 때문에 충격부하나 운전관리에 용이한 장점이 있다.

접촉포기조에 여재를 충전시켜 여상을 형성하고 포기교반에 의해 충분한 용존산소를 공급하며 오수를 순환시키므로 생물성 슬러지는 여재의 표면에 부착하여 생물막으로써 생성 축적된다. 생물막의 형성기작은 매우 복잡하여 여러 단계로 일어나는데 먼저 유기성분자가 매질표면에 흡착되어 초기막을 만들고 그 표면에서 세균이 가역적 상태의 흡착을 한다. 그 위에 세균이 주로 다당류로 구성된 체외물질을 분비하여 단단히 결합하고 분비물질 사이에 다른 미생물이나 용해성 또는 부유성 유기물의 분해가 일어나게 된다. 형성되는 생물막의 두께는 환경조건과 미생물에 의하여 결정되어 지는데 보통 100~200 $\mu\text{m}$ 정도이며 고등생물 또는 조류를 포함하고 있는 경우에는 수 cm 이상 되는 경우도 있다. 폐수처리에 형성되는 일반적인 두께는 1~2mm정도이나 호기성층은 불과 0.1~0.2mm에 불과하다.

접촉산화의 구조, 성능, 조작조건 등은 매우 다양한 것이 큰 특징이며 여재의 종류와 여상의 구조와는 밀접한 관계가 있다. 고정층에서는 폐색 등의 관계 때문에 비표면적이 그다지 크지 않은 것을 사용해야만 하는 것에 반해 유동층, 분류층, 팽창층에 있어서는 입경이 작아 부상하기 쉬운 입상여재를 사용하지 않으면 안 된다. 고정층에서는 산소요구도 그다지 크지 않아 통상은 공기에 의한 포기로도 충분하지만, 유동층에 있어서는 큰 산소요구에 대응하여 순 산소가 사용되는 수도 적지 않다. 아래 Fig. 2 에 접촉산화법의 공정도를 나타내었다.

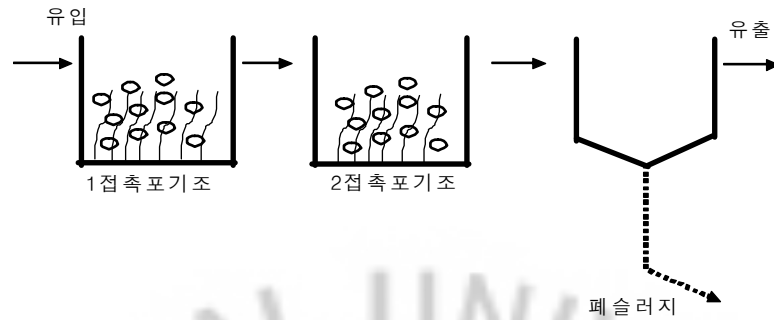


Fig. 2. The process of aerobic contact oxidation method.

접촉산화법의 특징은 다음과 같다.

첫째, 반송슬러지가 필요 없고 운전관리가 용이하다.

둘째, 비표면적이 큰 접촉재를 채용해서 부착미생물량을 다량으로 유지하는 것에 의해 유입기질의 변동에 유연하게 대응하는 것이 가능하다.

셋째, 생물상이 다양해서 처리효과가 안정적이다.

반응조의 BOD 용적부하는 계획오수량에 대해서  $0.3\text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$  정도를 표준으로 하며, 송기량은 접촉재를 전면에 설치한 경우 계획오수량에 대해서 8배를 표준으로 한다.

접촉재는 비표면적이 크고 충분한 공극율을 가지는 것으로 하고, 재질은 내식성으로 다량의 슬러지축적에 의한 중량증가 및 수류에 의해서 변형, 파손을 일으키지 않는 강도를 가지는 것으로 한다.

## 2) 고도처리의 필요성

일반적으로 하수는 2차처리 과정을 거친 후에도 오염물질의 완전한 제거는 어려우며, 여러 종류의 무기성이온, 유기물질 및 영양염류 등이 방류수역으로 배출되어 생태계에 나쁜 영향을 미치는 등 수질개선 효과가 그리 크지 않아 점점 강화되어 가는 방류수질을 맞추기에 많은 어려움을 겪고 있다. 대표적인 예로서 하천, 호소 및 해양에서 모든 동식물을 폐사시켜 생태계에 매우 치명적인 부영양화 현상이 자주 발생되고 있는 실정이다. 이는 2차 처리공정으로 BOD성분의 유

기물 제거효과는 달성하였지만, 악영향의 주요 원인물질이 되는 영양염류인 질소, 인 등을 효과적으로 제거되지 못했기 때문이다(WEF, 2003).

이러한 물질을 제거하기 위하여 2차 처리 공정에 추가되는 공정을 3차 처리(Tertiary treatment) 또는 고도처리(Advanced treatment)라고 한다. 엄격한 의미로서 3차 처리는 통상 1차 및 2차 처리에 추가되는 처리공정을 말하고, 고도처리는 3차 처리는 물론 통상의 1차 및 2차 처리에 3차 처리 수준의 효과를 얻는 처리공정까지도 포함되는 고급의 처리공정을 말하지만, 현재는 이를 동일한 뜻으로 혼용하고 있다(Metcalf 및 Eddy; 2003, 환경부, 2000c).

산업의 발달, 생활수준의 향상과 더불어 수질오염의 가속, 환경오염에 대한 시민의식의 향상 및 처리수질의 배출허용기준이 강화되고 있으나, 과거의 2차 처리 공정(활성슬러지 공정)으로는 유기물 및 영양염류의 제거가 불충분하여 기대한 만큼의 방류수역 수질 개선효과가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 일부지역에서는 한정된 수자원의 부족으로 처리수 재활용에 대한 필요성이 대두되고 있어 방류수역의 수질개선과 더불어 처리수 재활용의 측면에서도 고도처리의 필요성은 날로 절실해져 가고 있다(Tiemens, 1994)

영양염류가 제거되지 못하고 통상의 BOD, SS 등 유기물의 제거는 방류수역에서의 영양염류에 의한 조류 및 수생식물의 성장을 촉진시켜 용존산소의 고갈로 방류수역의 자정능력 저하를 초래하여 수생 생태계에 치명적인 피해를 가져오므로 방류수역의 수질개선을 위해서는 유기물뿐만 아니라 영양염류를 반드시 제거해야 한다. 이를 위하여 하수처리시설 신설시 반드시 질소, 인 등의 영양물질 제거능력이 탁월한 생물학적 처리시설로 선택하는 것이 필요하다(Randall 등, 1992; Tiemens, 1994).

환경부에서는 2001년부터 특별대책지역 내 하수처리시설과 기타지역의 신규 하수처리시설에 대해 BOD, TN, TP 방류수 수질기준을 각각 10 mg/L, 20 mg/L, 2 mg/L 이하로 대폭 강화하였으며, 2012.1.1부터 기존의 하수처리시설에도 확대시행 적용할 예정이다(환경부, 2008). 또한 현행 골프장 방류수 수질기준이 BOD, SS 에만 적용돼 왔으나 2008년 하수도법이 개정되어 2012년부터 T-N, T-P, 총대장균이 추가되어 방류수 수질기준을 적용받게 되었다. 도시하수의 BOD, T-N, T-P 동시제거에 관한 연구는 국립환경연구원을 비롯한 국공립연구



소, 기업연구소 및 대학 등에서 실험실 및 파일럿규모로 수행되고 있으나, 개발된 기술의 현장 적용사례는 미비한 실정이다(한국환경기술진흥원, 2002). 국내 도시하수의 생물학적 고도처리기술은 BOD 유입부하가 낮고, 유량 및 농도변동이 심한 국내 실정을 감안하여 보다 높은 처리효율과 에너지 절감을 위해서는 국내의 하수처리시설이 갖고 있는 문제점인 유량 및 농도변동에 대처할 수 있는 개념의 공정으로 개발되어야 한다.

### 3) 생물학적 고도처리

수중의 질소는 인과 더불어 미생물과 식물의 성장에 필수적인 영양염류이다. 질소는 단백질합성의 필수원소로 쓰이며 수중에서 유기질소, 암모니아, 질산염, 아질산염 형태로 존재한다. 단백질 및 요소에 결합되어 있는 유기질소는 미생물에 의해 분해되어 암모니아로 된다. 암모니아는 산소를 결합하여 질산염으로 된다. 이때 수중의 산소가 소모되기 때문에 산소부족으로 생태계가 위협받게 된다. 질산염은 조류나 기타 수생식물이 섭취하여 동식물에 의해 단백질을 이루는데 쓰이게 되는데 유해한 조류들이 성장하는 것을 방지하기 위해 이를 최소한 줄여야 한다. 산소 및 인이 환경에 미치는 영향이 심각하게 인식되어 본격적으로 질소, 인을 처리하고자 처리공정을 개발한 것은 1960년대 초반이다. 특히 유기물, 질소 및 인을 생물학적으로 처리하는 공정을 생물학적 고도처리(Advanced treatment) 또는 생물학적 영양염류 제거공정(Biological Nutrient Removal; BNR)이라고 한다(Randall 등, 1992; WEF, 2003; WEF, 1998).

질소나 인 제거를 위한 대표적인 생물학적 공정에는 공정의 배치 형태에 따라 A/O, A<sup>2</sup>O, modified Bardenpho 및 UCT공정과 같이 혐기조, 탈질조 및 폭기조가 직렬로 연결되는 주류(main stream)공정과 Phostrip공정과 같이 혐기성 탈인조가 폭기조와 병렬로 연결되는 측류(side stream)공정이 있다(Metcalf 및 Eddy, 2003; Burdick, 1982).

주류공정에서는 혐기조에서 인의 방출이 일어나고 폭기조에서는 인을 과잉으로 섭취한 잉여슬러지를 폐기시켜 인을 제거하며, 질소는 폭기조에서 질산화된 혼합슬러지액을 탈질조로 반송하여 질소가스로 환원시켜 제거한다. 이때 유입하수에 함유된 유기물이 탄소원으로 이용되므로 유입하수의 유기물 농도가 낮으면

질소 및 인이 안정적으로 제거되지 못한다.

반면, 인제거가 주목적인 측류공정인 Phostrip공정에서는 잉여슬러지를 탈인조에 장시간 체류시킬 때 세포분해에 의해 생성되는 유기물을 사용하므로 인의 제거는 유입하수의 수질에 의하여 영향을 받지 않으며, 탈인조에서 방출된 인은 화학적 처리에 의하여 제거되기 때문에 인의 함량이 높은 슬러지를 폐기하는 방법에 의해 제거가 안정적이다(WEF, 1998; Lee 등, 1997). 그러나 Phostrip공정에서 폭기조의 운전조건을 완전 질산화 조건으로 운전하면 2차 침전지에서 탈인조로 유입되는 슬러지의 함량이 높아져 탈인조에서의 인 방출이 저해되므로, 인 이외의 질소도 제거할 경우에는 2차 침전지 다음에 질산화조 및 탈질조를 추가로 설치하여 운전하며, 탈질에 소요되는 탄소원으로 내생탈질을 이용하거나, 메탄올 등을 주입한다.

이와 같이 현재 실용화되어 있는 생물학적 질소 및 인제거 공정들은 유입하수의 특성에 매우 민감하며, 또한 각 공정간에 인 방출 및 탈질에 소요되는 탄소원에도 차이가 있다. 즉 main stream 프로세스는 폭기조 전단부에[혐기조-무산소조]를 설치하여 인 방출 및 질소제거가 이루어지며, 인 방출 및 질소제거의 유기탄소는 유입하수의 용해성 BOD를 이용하기 때문에 유입하수의 수질이 낮을 경우, 인 및 질소의 제거가 원활하게 이루어지지 않는 문제점이 있다.

반면 side stream 프로세스는 인의 방출에 소요되는 유기물질은 혐기성조인 탈인조에 슬러지를 장기간 체류시켜 미생물의 세포분해에 의해 생성된 유기물을 사용하므로 유입하수의 수질에 관계없이 인의 방출을 원활하게 할 수 있으며, main stream 프로세스에서 인방출에 소요되어서 유입하수의 유기물질 전량을 탈질반응에 소모시킴으로써 질소제거효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

#### (1) 질소제거 방법

생물학적 질소제거 방법은 미생물에 의한 질산화와 탈질반응을 이용하는데 인의 제거와 동시에 진행되도록 개발된 방법들이 많다. 생물학적 질소제거방법의 종류로는 미생물성장방식에 따라 크게 나누어 부유성장식(suspended growth)과 부착성장식(attached growth)으로 대별된다. 부유성장식의 대표적인 공정으로는 활성슬러지법으로 혐기, 무산소, 호기조를 조합한 Bardenpho공정, VIP공정,

A<sup>2</sup>O공정 등이 있으며, 부착성장식의 경우는 반응조내에 충전 및 부유하는 여재에 부착되어 성장하는 생물막(biofilm)을 이용하는데 대표적인 공정으로는 침적형반응조(submerged packed bed reactor)와 유동층반응조(fluidized bed reactor) 등이 있다(U.S. EPA, 1993).

또한 운전방식 및 반응조의 배치에 따라 무산소조를 앞단에 두고 질산화반송수를 무산소조로 유입하고 원수중의 유기물을 탄소원으로 이용하는 전탈질(pre-denitrification)공정과 앞단의 호기조에서 유기물제거 및 질산화를 수행하고 호기조 다음에 설치된 무산소조에서 탈질을 수행하는 후탈질(post-denitrification)공정으로 구분할 수 있다. 후탈질의 경우 전탈질에 비하여 처리효율은 높지만 외부탄소원을 공급해 주어야 하므로 전탈질공정에 비해 경제성이 떨어지는 단점이 있다(Metcalf & Eddy, 2003).

#### 가) 질산화반응

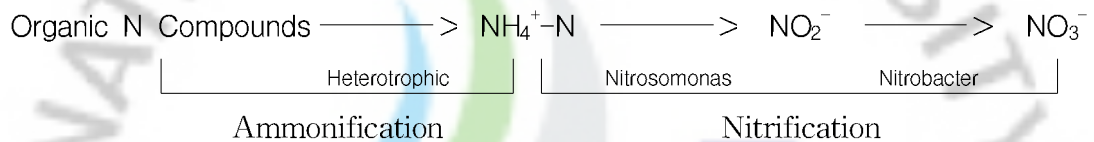
질소의 산화는 두 가지의 연속적인 과정으로 나뉘어 질수 있는데, 펩티드결합으로 연결되어 있는 아미노산이 박테리아에 의해 해리되고 다시 암모니아(NH<sub>3</sub>)로 분리되는 호기성조건에서의 탈아미노화(deamination)와 분리된 암모니아가 질산화박테리아에 의해 아질산성질소와 질산성질소로 산화되는 질산화로 분류될 수 있다(Bitton, 1994).

하폐수 내의 질소는 아미노산의 펩티드결합으로 이루어진 단백질로 존재한다. 단백질은 세포원형질의 근간이므로 다양한 형태로 광범위하게 존재할 뿐만 아니라 그 구조가 복잡하여 생분해 시에도 쉽게 분해되기 어렵다. 유기질소화합물이 무기질소로 전환하는 것을 암모니아화반응(ammonification)이라고 하며, 이 반응에 의해서 단백질은 아미노산으로 전환되고 탈아미노화반응(deamination)에 의해 펩티드결합으로 되어 있는 아미노산이 암모늄이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)으로 전환된다. 이 반응은 질산화 반응과는 달리 종속영양미생물에 의해 이루어지며 탈아미노화시 아미노산에서 분리되어 나온 NH<sub>3</sub>가 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 형태로 전환되며 알칼리도를 발생시키는데 이때 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>로의 전환율은 pH에 의해 좌우된다(Gaudy & Gaudy, 1980)

질산화는 호기성상태에서 암모니아가 독립영양미생물인 Nitrosomonas와 Nitrobacter에 의해 아질산성질소를 거쳐 최종적으로 질산성질소로 산화되는 과

정이다(Stenstrom 및 Song, 1991). 자연계에서 질산화는 독립영양미생물뿐만 아니라 종속영양미생물에 의해서도 이루어 질수 있다. 토양이나 호수 등에서 종속영양미생물에 의해 암모니아가 산화되기도 하나, 그 양은 극히 적으며(Gaudy & Gaudy, 1980) 종속영양미생물에 의한 질산화속도는 독립영양미생물에 의한 질산화속도보다 약 10배가량 느리다(Randall 등, 1984).

종속영양미생물과는 달리, 독립영양미생물은 유기탄소보다 무기탄소를 새로운 세포의 합성에 사용한다. 단위 무게의 기질대사에 의하여 생산되는 질산화미생물의 증식량은 종속영양미생물의 세포 증식량에 비하여 여러 배 적다(U.S. EPA, 1993). 유기질소화합물로부터 질산성질소로의 변환은 다음과 같다.



암모니아성질소를 산화함으로써 에너지를 얻는 미생물종으로는 Nitrospira, Nitrosomonas, Nitrosolobus, Nitrocystis 등이 있고, 아질산성질소로부터 질산성질소를 변환시 관여하는 미생물종으로는 Nitrobacter, Nitrospira, Nitrocystis 등이 있으나, 토양이나 폐수처리공정시 질산화반응에는 주로 Nitrosomonas와 Nitrobacter가 주종을 이룬다(Bitton, 1994; Randall 등, 1984). 질산화의 반응식을 다음과 같이 표현된다.



위 반응식에서 알 수 있듯이 질산화반응을 위해 7.14mg CaCO<sub>3</sub>/mgN 알칼리도가 소모되므로 질산화를 수행하기 위해서는 충분한 buffering capacity가 pH 6.5~8을 유지토록 존재해야 한다(Halling 및 Jorgensen, 1993). 또한 이식은 미생물의 질소이용을 고려하지 않은 것이며, 미생물의 합성을 고려하면 다음식과 같이 된다.



#### 나) 질산화반응의 영향인자

생물학적 질산화반응은 하나의 영향인자에 의해 지배받기도 하지만 여러 가지 인자들의 복합적인 요인으로 인한 것도 있으므로 안정적인 질산화를 유지하기 위해서는 아래의 주요 모든 영향인자들을 동시에 고려하여야 한다(Stenstrom 및 Song, 1991; Anthoniou, 1990; Belser, 1984; Painter 및 Loveless, 1983). 질산화반응의 영향인자는 온도, DO, pH 및 알칼리도, 유기물부하, 독성물질, 영양염류 등이 있다.

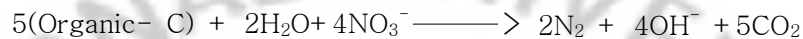
#### 다) 탈질반응

생물학적 탈질(denitrification)은 미생물이 유기물을 분해할 때 산소대신 질산성질소를 최종 전자수용체로 사용하면서 질산성질소가 질소가스로 변화되는 과정이다. 탈질에 관여하는 것은 통성미생물(Facultative organism)로 알려져 있으며(Wild 등, 1971), 산소의 유무에 상관없이 이들의 신진대사 과정은 기본적으로 동일하다. 일반적으로 알려진 탈질미생물로는 *Achromobacteria*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Spirillum*, *Thiobacillus*, *Brevibacterium*, *Entrobacter*, *Lactobacillus*, *Paracalobactrium*, *Bacillus*, *Micrococcus* 등이 있다. 탈질미생물들의 대부분은 절대혐기성미생물이 아닌 통성중속영양미생물이다(Randall 등, 1992).

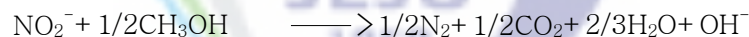
탈질미생물은 유기물을 산화시킬 때 최종전자수용체로 산소, 질산성질소, 아질산성질소, 황산염, 철염 등을 이용한다. Glucose를 사용할 때 산소가 최종 전자수용체인 경우 Glucose의 분해과정에서 38ATP가 생성되고 질산성질소가 최종 전자수용체인 경우 26ATP가 생성되기 때문에 산소와 질산성질소가 같이 존재할 경우 산소를 선호하게 된다. 따라서 탈질반응 시 용존산소가 존재하면 탈질 효율에 영향을 줌으로 무산소 환경이 필수적이다. 무산소상태에서는 산소 다음으로 환원전위가 높은 질산성질소가 최종전자수용체로 이용된다(U.S. EPA, 1975). 일반적으로 산소의 존재는 질소를 환원시키는 효소의 합성을 방해하는데, 효소에 산소의 저해는 미생물의 종류에 따라 차이가 있다(Focht & Chang, 1975).

전자공여체로는 메탄올, 에탄올, 아세트산이 Glucose보다 훨씬 자주 이용된다(Akunna 등, 1993). 일반적으로 생물학적 탈질을 위한 탄소원으로 단일탄소화합

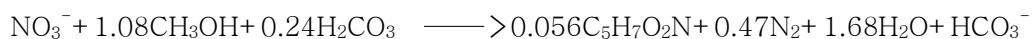
물이 가장 적합하다고 알려져 있는데 탄일탄소화합물로부터 세포를 합성할 때 필요한 에너지가 아주 크기 때문에 단위 산소요구량당 세포증식량이 작게 된다 (Barnard, 1975). 이러한 이유와 실제 적용상의 이유로 메탄올을 가장 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 하수처리장에서 메탄올과 같은 화학약품을 사용한다는 것은 처리장의 운전비상승 원인이 되기 때문에 하수중의 유기물을 이용하는 방법이 늘고 있다. 하수중의 유기물을 이용하는 탈질 반응식은 다음과 같다.



생물학적 탈질은 주로 동화(Assimilation)와 이화(Dissimilation)에 의해 이루어진다(Tiedje, 1998). 동화작용은 질산성질소가 아질산성질소를 거쳐 암모니아성질소로 전환되어 미생물에 섭취되는 것을 말하며, 이때 효소가 중요한 역할을 하게 된다. 이화작용은 질산성질소가 아질산성질소를 거쳐 암모니아성질소로 전환되어 미생물에 섭취되는 것을 말하며, 이때 효소가 중요한 역할을 하게 된다. 이화작용은 질산성질소가 아질산성질소를 거쳐 최종적으로 질소가스로 변환하는 과정을 나타내는데 그 반응식은 아래와 같다.



이 반응식은 미생물의 세포합성을 고려하지 않은 식이며 질산성질소 1mg당 3.57mg CaCO<sub>3</sub>의 알칼리도가 생성된다. 세포합성을 고려한 식은 아래와 같으며, 이 식에서 질산성질소 1mg당 약 3mg CaCO<sub>3</sub>의 알칼리도가 생성된다는 것을 알 수 있다(U.S. EPA, 1993).



호기성상태에서의 탈질율은 0.006mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/mgVSS/d로 상당히 미미한 것으로 보고되어 있으며, 특히 DO농도가 1.0mg/L이상이면 탈질은 무시하는 것이

보통이다. 탈질은 독립영양미생물에 의해서도 수행될 수 있는데, 에너지원으로 수소나 여러 종류의 환원된 황화합물을 사용한다. 독립영양미생물이 성장하기에 좋은 조건일 때 세포합성 및 탄소원으로 유기탄소원 보다는 이산화탄소나 중탄산염을 이용한다(Halling 등 1993). 생물학적 탈질반응의 영향인자로는 온도, DO, pH 및 알칼리도, 탄소원 및 C/N비 등을 들 수 있다.

## (2)인의 특성 및 제거방법

### 가)인의 특성

수중의 인은 자연수내에서 극소량 존재하지만 하수 중에는 상당히 많은 양이 존재하며, 거의 대부분이 인산염(phosphate)의 형태로 존재한다. 자연계에서의 인은 질소의 순환과 유사한 순환을 하는데 인의 순환은 미생물의 작용과 밀접하게 관련되어 유기인에서 무기인으로 또는 무기인에서 유기인으로 순환이 된다.

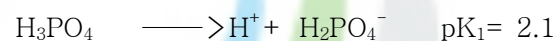
인은 미생물에 있어서 에너지 전달과 인지질, 핵산등과 같은 세포 구성물질 중요한 구성인자이며, ADP(adenosin diphosphate)가 ATP(adenosin triphosphate)로 전환하는데 이용될 수 있는 에너지의 축적을 일으킨다. 인은 또한 기질의 산화-환원반응 동안 수소전달에 이용되는 NAD(nicotinamide adenine dinucleotide)와 DNA(deoxyribonucleic acid)중량의 10~12%를 차지한다.

또한 인은 용해여부에 따라 용해성 인(soluble phosphorus)과 불용성 인(insoluble phosphorus)으로 구분하고 결합물질에 따라 보통 무기인(inorganic phosphorus)과 유기인(organic phosphorus)으로 구분할 수 있다. Hammer(1986)에 의하면 하수내에 존재하는 총인(total phosphorus, T-P)중 70%가 무기인의 형태이고 30%가 유기인의 형태로 존재하는 것으로 보고되어 있으며, 무기인은  $PO_4^{3-}$  형태인 정인산(ortho-phosphate)과 정인산의 두 개 이상 결합된 축합인산염(condensed phosphate)으로 구분할 수 있는데 정인산은 침전, 착화합물 형성등의 반응에 화학적으로 직접 관여하고, 생물학적으로 생물의 신진대사에 활용되므로 반응성 인(reactive phosphate)이라고도 한다.

유기인은 대개 에스테르로서 그것을 구성하고 있는 인산의 일부 수소원자가 유기물기(radical)로 대체되어 있다. 유기인에는 당인산, 크레아티닌 인산, 인 단백질, 인산 아세틸, 인지질, 핵산 등이 포함되어 있는데 그 출처는 주로 분뇨와

음식물 찌꺼기이다. 축합인산염은 단순인산염을 탈수반응 결합에 의해 복합시킨 것으로 pyro-phosphate( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )인 경우  $\text{NaHPO}_4$ 의 가열에 의해 제조되는데 이러한 결합을 중복시켜서 만든 고분자인산염을 다중 인산염(polyphosphate; poly-P)이라고 한다. 이 물질은 중성에 강하게 이온화하며 약알칼리성에서 완전히 이온화한다. 또한 경도물질을 포착하여 제거하고 물때(scale)를 현탁 상태로 존재하게 하는 능력이 있기 때문에 합성세제의 증강제로도 사용된다.

유기인과 축합인산염은 세균효소의 가수분해와 화학적 가수분해반응에 의해 천천히 단순인산염으로 분해되는데 폐수처리장으로 도달할 때까지 반정도가 분해되며 1차 침전과 2차 처리를 거치는 과정에서 거의 완전하게 정인산으로 분해된다. 단순인산염은 수중에서 다음과 같이 이온화 한다.



축합인산염의 phosphoanhydride linkage는 열역학적으로 고 에너지 인산결합인 ATP와 동등한 구조를 가지고 있다. 축합인산염은 염기에 안정하고 산에 불한정하며 일반적으로 단순인산염으로서의 완전한 가수분해는  $100^\circ\text{C}$ , 1N 산에서 약 15분의 시간이 요구된다.

자연수에 함유되어 있는 인은 생활하수 및 산업폐수, 그리고 축산폐수, 산림 및 농경지의 유출수, 하천 퇴적물, 매립장 침출수 등에 의해 발생되는데, 정인산은 주로 농경지에 뿌려진 비료의 잔류성분이 강우로 인해 표면수로 유입된다. 축합인산염은 처리공정에서 적은 양이 생성되기도 하지만 주로 가정의 생활하수 등에 포함된 세제에 의해 다량 유입되며, 유기인은 동식물의 사체나 음식물 찌꺼기, 축산폐수 등에서 주로 발생하게 된다. 특히, Sawyer and McCarty(1994)와 Snoeyink and Jenkins(1980)에 의하면 가정하수에 의한 T-P부하량은  $1.6\text{kg}/1\text{인}$



년으로 가정하수의 평균 T-P 농도는 10 mg/L이며, 이 중 세제에 의한 T-P부하량의 가정하수 전체의 50~70%를 차지한다고 한다.

#### 나)인의 제거방법

미생물의 세포내에서 에너지전달체로서 인이 필요하므로 인은 생물학적 합성에 필요한 화학양론적량만큼 제거된다고 볼 수 있다. 미생물의 성장에 필요한 조건(슬러지의 구성상 성분) BOD : N : P = 100 : 5 : 1에서 미생물의 인 함량은 2~3%로서 일반활성슬러지로 인을 제거하는 경우 BOD/P, SRT등에 따라 달라지나 일반적으로 10~20% 정도 밖에 안 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 연속적으로 혐기 및 호기성 조건을 주었을 때 미생물 성장에 필요한 화학양론적 양 이상으로 인의 제거가 가능하다. 연속적인 혐기 및 호기성조건에서 미생물에 의한 인의 축적은 4~12%정도로 보고되고 있는데 이러한 미생물을 폐기함으로써 2.5~4배정도 높은 인의 제거효율을 얻을 수 있다. 한편, 통용되고 있는 생물학적 인 제거의 기작은 다음과 같이 호기성상태에서 수중의 인산염인은 인섭취미생물에 의하여 과잉섭취되어 폴리인산의 형태로 체내에 저장된다. 즉 호기성조건하에서 미생물은 ATP를 만들어 체내에 폴리인산의 인과립(P-granule)을 다량 축적한다. 생물학적인 제거는 미생물이 다량의 인을 과잉 섭취하여 체내에 고밀도로 축적하였을 때 슬러지를 폐기함으로써 가능하다(Siebritz 등, 1983).

또한 인섭취미생물은 폴리인산뿐만 아니라 PHB(polyhydroxybutyrate) 및 glycogen과 같은 탄수화물도 체내에 저장하여 에너지원으로 사용한다. 한편 혐기성조건하에서 미생물은 유기물을 섭취하여 PHB와 같은 생체유기물을 합성하여 축적한다. PHBD의 합성 시 요구되는 에너지는 호기성 기간 중에 축적된 폴리인산이 가수분해 되면서 공급되어지며 분해된 인산염인은 수용액 중으로 방출된다. 다른 생물학적처리와는 달리 인 제거 및 방출에 관한 정확한 화학양론과 동력학은 아직까지 확립되어 있지 않은 상태이다. 혐기성 상태에서의 인방출은 PHB로서 흡수 및 정장할 수 있는 용존성기질의 양과 형태에 관련이 있는데, 저분자량의 지방산이 더 유리하다. 연구에 의하면 2 mg/L의 아세트산의 COD가 혐기성 상태에서 제거될 때 약 1 mg/L의 인이 방출된다고 한다(Ekama 등, 1984).

혐기성상태에서 생물학적 분해 가능한 COD의 흡수(제거)율과 인의 방출율은

생물학적 분해 가능한 COD의 관점에서 볼 때 1차 반응에 따른다. 호기성상태에서의 생물학적 인체거는 인의 방출량과 성장에 필요한 유기물의 양에 따라 변화한다. 만일 혐기체류시간이 인이 방출되는데 충분한 시간이고 유입수의 인과 유기물질의 비율이 충분하다면, 호기성상태에서 용존성 인의 흡수는 빠르게 진행된다(Buchan, 1993; U.S. EPA, 1987). 생물학적 인체거의 영향인자로는 유입수 특성, 고형물체류시간(Solids Retention Time; SRT), 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time; HRT), 온도, pH, 혐기성반응조의 설계 등이다.

#### 4) 국내 고도처리 기술동향

##### (1) 국내 고도처리 기술개발의 필요성

전 세계적으로 여러 종류의 영양염류 제거공정이 개발되어 있으나, 지속적인 연구가 수행되고 있는 이유는 설치지역의 기온, 풍토 등의 지역적 특성을 모두 대변해 주지 못하기 때문이다. 그럼으로, 한국 실정의 고도하수처리 공정의 개발이 필요하며, 우리나라 자체 연구 개발의 필요성을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 우리나라 하수처리장의 유입수는 유기물농도가 낮아 외국공정의 도입으로 적절한 효율을 기대할 수 없다. 그럼으로, 우리나라 유입하수의 특징에 적합한 하수처리 공정의 설치 및 운영체계가 필요하다.

둘째, 질산화는 온도에 큰 영향을 받으며, 우리나라의 동절기에는 수온이 10°C이하로 내려간다. 여재의 사용으로 인한 질산화 증진으로 8~20°C 범위에서는 온도에 따른 영향이 적은 것으로 나타났으나, 온도가 8°C 이하에서는 질산화가 급격히 감소하였다. 따라서 우리나라 동절기와 같이 수온이 10°C이하로 급격히 떨어지는 상황에서도 최적의 처리효율을 기대할 수 있는 영양염류 제거공정의 개발이 필요하다.

셋째, 영양염류 제거기술은 거의가 선진 외국의 특허기술로서 기술도입 시 특허료 지불과 함께 우리나라 국내 하수실정을 고려한 적용실험에 따른 기술료 지급 등 경제적 부담이 크다.

넷째, 국내 기존하수처리장은 거의 활성슬러지 공정을 사용하며, 폭기조의 수리학적 체류시간이 대개 6~8시간 정도이다. 하지만 외국의 특허공정은 무산소조 및 호기조를 두는 경우 총 반응조의 체류시간이 거의 8~20시간 범위임을 감안

할 때 가급적 기존 하수처리장의 폭기조 체류시간 범위 내에서 공정을 변형하여 탈질, 탈인을 가능케 하는 기법을 개발, 적용하는 것이 경제적 측면에서 중요하다.

마지막으로 유입유량 및 농도변화가 심한 소규모 오염원인 아파트단지, 유원지, 상가, 골프장, 양돈단지 등에서 배출되는 오폐수의 유기물, 질소 및 인의 제거에 능동적으로 대처할 수 있는 처리시스템 개발이 필요하다.

## (2) 국내 하수고도처리 기술

국내 하수고도처리기술은 환경신기술 등의 인증제도하에서 많은 종류의 기술들이 있다. 이중 A/O 또는 A<sup>2</sup>O계열과 SBR, Media계열 등의 계열별 분류 중 몇가지 공정만 제시하였다. 국내하수고도처리시설의 전반을 계략적으로 파악할 수 있도록 하기 위해 선택적으로 제시된 공정이며, 계열별 대표적인 공정을 의미하는 것은 아니다.

### 가) AOSB공정(Anoxic/Oxic Sludge Blanket, A/O계열)

ASOB 공정은 무산소조와 호기성 중앙에 V자형의 슬러지 블랭킷조를 설치한 공정기술로서 호기조에서 무산소조로 호기조액을 내부반송하고, 무산소조와 호기조를 구분하는 격벽의 역할과 최종침전지의 역할을 하는 슬러지 블랭킷조의 하부에서 무산소조로 슬러지 반송을 실시함으로써 유기물 및 질소, 인을 제거하며, 아울러 상향류식 슬러지 블랭킷조에서 슬러지 층의 생물여과 및 흡착작용에 의해 고형물의 분리효율을 향상시킨 생물학적 고도처리기술이다(환경부 및 환경관리공단, 2003). ASOB공정의 구성도는 아래와 같다.

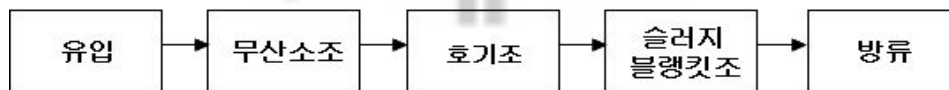


Fig. 3. AOSB process.

나) SAMCO 공정(Serim Automated Circular Oxidation Ditch, A/O계열)

SAMCO공정은 혐기조, 간헐포기식 원형산화구 반응조, 순환반응조로 구성되어 있으며, 간헐포기식 원형산화구 반응조(IACOD) 및 순환반응조는 시간제어에 의한 포기와 비포기로 교대로 운전되도록 하고, 교대운전에 따른 유기물 산화, 미생물의 질산화, 탈질반응에 의해 하수중의 유기물 및 질소, 인의 제거가 가능한 하수고도처리기술이다(환경관리공단, 2003).

주변 유입식 나선흐름형 침전조(Spiraflo Clarifier)를 간헐포기식 원형산화구조에 내장시켜 최종침전지를 대체하였으며, 간헐포기식 원형산화구 반응조는 PLC의 시간제어에 의해 포기와 교반의 교차반복으로 유기물산화 및 질산화, 탈질반응을 수행하고, 순환반응조는 IACOD와 역전운전을 통한 간헐포기운전으로 운전된다. SAMCO공정의 전체 구성도는 아래와 같다.

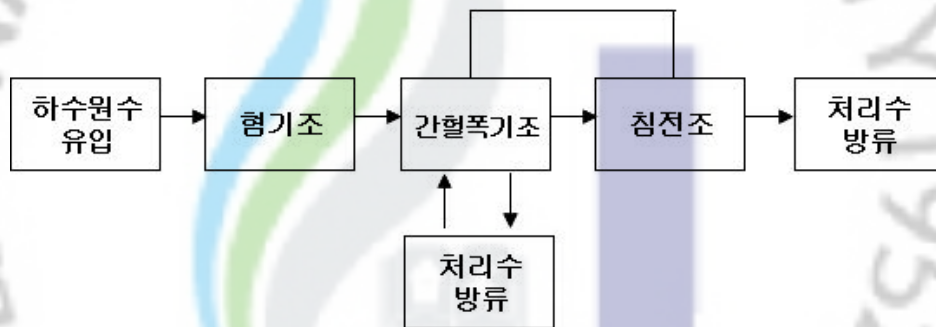


Fig. 4. SAMCO process.

다) DNR 공정(Daewoo Nutrient Removal, A<sup>2</sup>O계열)

표준활성슬러지 공법을 변형한 공법으로 슬러지 탈질조(Pre-Anoxic Tank), 혐기성조(Anaerobic Tank), 무산소조(Anoxic Tank), 호기성조(Aerobic Tank)로 구성되며, 질산성 질소를 제거하기 위한 내부반송(Nitrifier Recycle)과 침전지 슬러지 반송으로 구성되어 있다.

전체적으로 VIP 및 A<sup>2</sup>O공법과 유사하나 슬러지 탈질조(슬러지 저장조)가 설치되어 있어 내생탈질에 의한 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)를 제거함으로써 혐기성조에서 질산성질소에 의한 인방출 저해작용을 억제할 수 있는 특징이 있다. DNR공정의 모식도는 다음과 같다(환경관리공단, 2006)

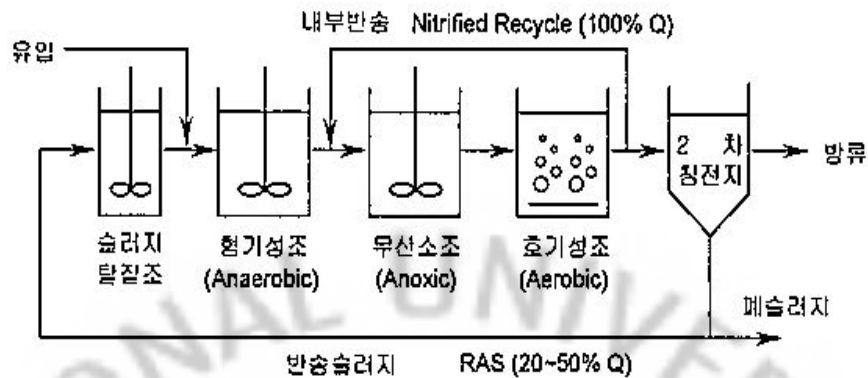


Fig. 5. DNR process.

라)HDF공정(HANWHA Dynamic Flow, 유로변경형 질소제거)

HDF공정은 기존 표준활성슬러지공법을 변형한 공법으로 슬러지활성조, 혐기조, 1,2,3 간헐폭기조, 재폭기조 및 침전지로 구성되며, 유입원수를 유로변경에 의해서 제1반응조와 제2반응조에 교대로 유입시키면서 각 반응조를 간헐폭기방식으로 운전하여 유기물 및 질소, 인을 동시에 처리하는 공정이다. 1,2,3 간헐폭기조에서 무산소 및 호기상태가 교대로 이루어짐으로 인해 질산화, 탈질 및 인의 과잉섭취가 일어나게 되며, 재폭기조에서 잔존 유기물 및 암모니아를 제거하게 된다. HDF공정의 공정모식도는 다음과 같다(환경관리공단, 2003)

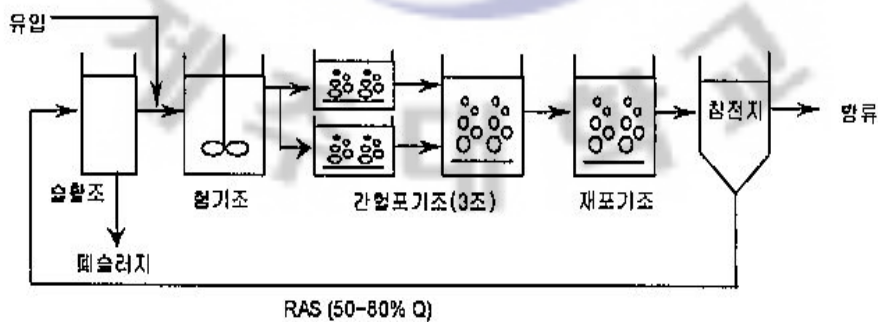


Fig. 6. HDF process.

마)ICEAS공정(Intermittent Cycle Extended Aeration System)

ICEAS공정은 SBR공정을 변형하여 한 개의 반응조를 이용하는 동안에 연속적으로 하수 또는 폐수를 유입한다. 처리공정은 동일한 반응조 내에서 생물학적, 산화, 질산화, 탈질 및 고액분리가 이루어지는 포기, 침전 처리수 배출의 3단계로 운전되어지므로 채움과 슬러지 배출 시간이 필요없다. 주반응조 전단에 설치되어 있는 전처리 반응조에서 높은 F/M비를 유지하여 유기적 선택자(Organic Selector)로서의 역할을 하며, 이는 슬러지 별킹의 원인이 되는 사상균의 성장을 억제하는 역할을 한다. ICEAS 공정 모식도는 아래와 같다.

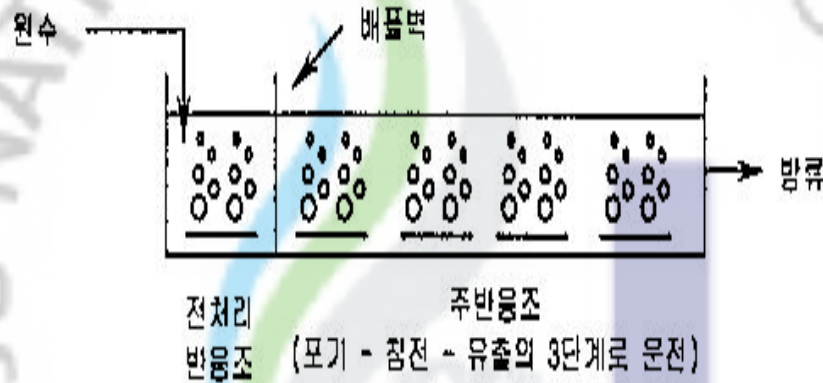


Fig. 7. ICEAS process.

바)OMNIFLO공정

OMNIFLO공정은 단일 반응조에서 오, 폐수의 유입 및 처리수의 유출이 일어나는 공정으로 정해진 시간의 배열에 따라 각 단위공정이 연속적으로 일어나게 된다. 전체 공정은 무산소 유입(Anoxic Fill)공정 → 호기상태 유입(Aerated Fill)공정 → 탈질(Denitrification)공정 → 반응(React) → 침전(Settle) → 처리수 배출(Decant)공정 → 슬러지 배출(Idle) 공정의 순으로 반응이 진행되며, OMNIFLO 공정의 모식도는 다음과 같다(환경관리공단, 2006; 환경관리공단, 2003)

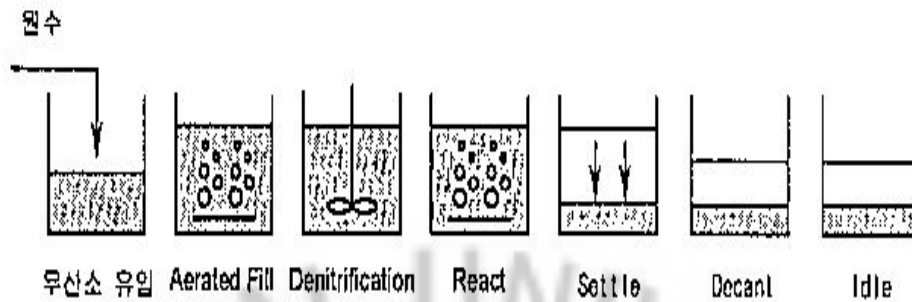


Fig. 8. OMNIFLO process.

#### 사) DeNiPho 공정 (Media 계열)

DeNiPho 공정은 간헐포기 기능이 구비된 펌프이젝터를 이용하여 포기/비포기 교반을 반복하고, 유동상 생물막 담체(BioGreen Media)를 간헐포기 접촉산화조에 충전하여 고농도의 미생물을 증식하며, 생슬러지 유기산 발효액을 탈질반응에 소요되는 탄소원으로 이용하여 유기물과 질소, 인을 제거하는 하수 고도처리기술이다(환경부 및 환경관리공단, 2003)

호기 및 혐기(무산소)의 시간분할을 위하여 펌프이젝터(Periolator)를 적용하였으며, 고농도의 미생물 확보를 위하여 공극이 크고 견고한 합성수지 케이스에 LOCK이 내장된 유동상 생물막 담체(BioGreen Media)를 사용하였다. 또한 질소 제거효율을 향상시키기 위하여 생슬러지 유기산 발효액을 탄소원으로 이용하는 후탈질 반응을 기본으로 하여 유입하수중의 용존유기물을 탄소원으로 이용하는 전탈질반응을 동시에 적용시킨 기술이다. 공정의 전체 구성도는 Fig. 9 에 나타내었다.

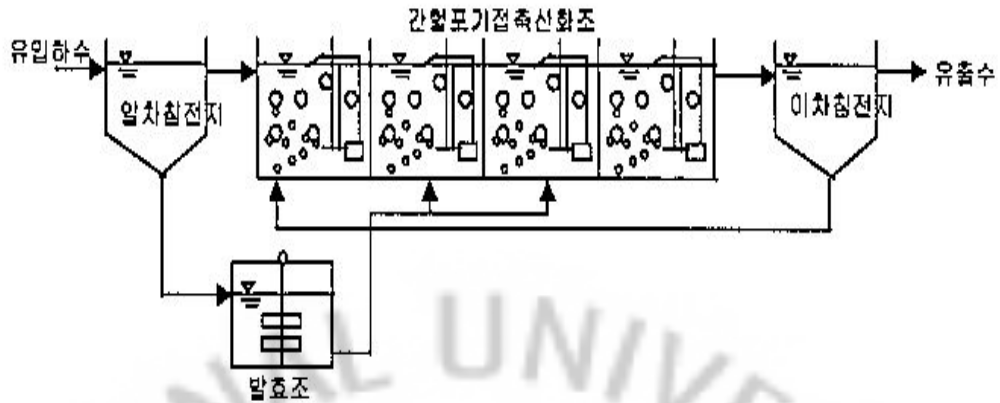


Fig. 9. DeNiPho process.

아)CNR공정(Cilium Nutrient Removal, 섬모상담체공법)

CNR공정은 A<sup>2</sup>O공법을 변형한 공법으로 혐기조, 무산소조, 폭기조, 침전조로 구성되며, 유입수를 혐기조와 무산소조에 분배 주입하여 탈질에 필요한 유기탄소원을 일부 확보하고 폭기조내에 섬모상생물막을 충전하여 부착미생물을 고농도로 유지하여 혼합액 미생물이 함께 반응하여 유기물 및 질소, 인을 처리하는 공법이다. CNR공정의 모식도는 다음과 같다(환경부, 2000c).

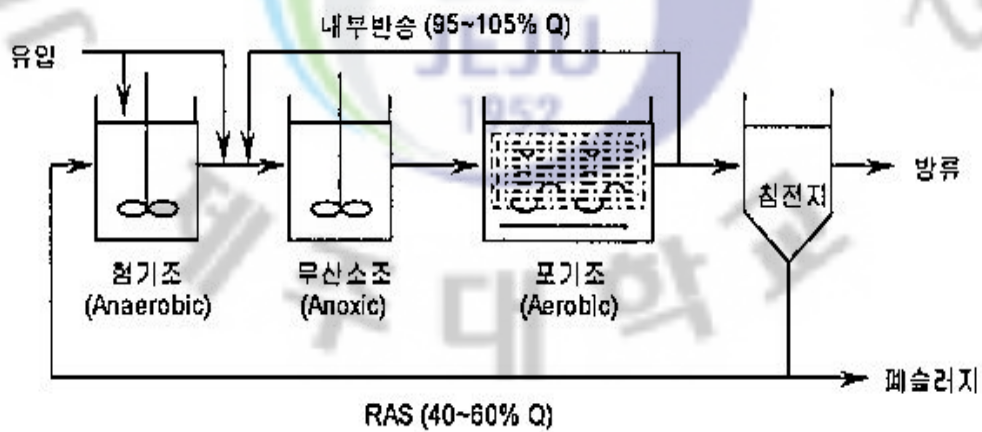


Fig. 10. CNR process.



### 5) Bio-NET 공법의 특성

Bio-NET 공법은 1998년 국내에서 특히 출원된 하수처리공정으로서 무산소조를 혐기성조 선단에 설치하여 무산소조 내에 높은 COD/NO<sub>x</sub>비를 유지하여 완전하고 빠른 선단탈질소화반응(Pre-Denitrification)을 유도하며, 반송슬러지를 혐기성조로 유입시키면서도 무산소조에서 완전 탈질소화된 혼합액과 교반함으로써 반송슬러지내의 NO<sub>x</sub>-N를 회색시키는 효과를 유발하여 새로운 반응조의 설치 없이 혐기성조에서 NO<sub>x</sub>-N에 의한 인용출 저해효과(Nitrate Stress)를 최소화하고, 인 제거 효율이 저하되거나 인의 목표수질이 강화될 경우에 대비하여 원수를 분배토록 한 공법이다. Bio-NET공정을 아래 Fig. 11에 나타내었다.

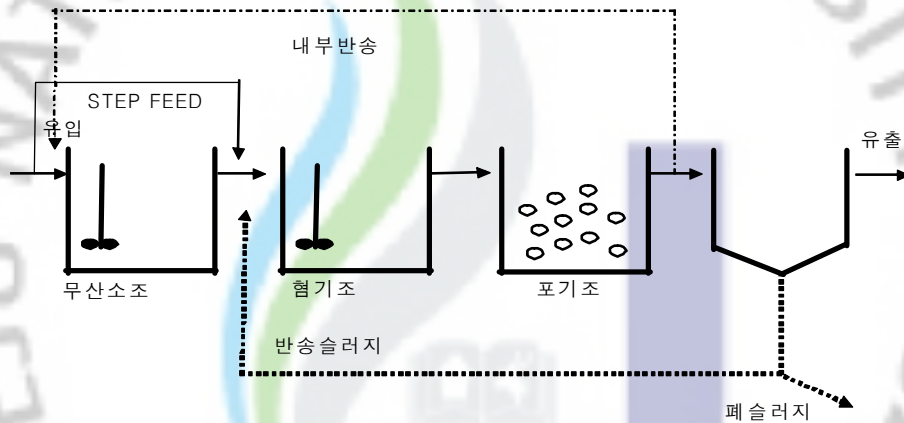


Fig. 11. Bio-NET process.

무산소조를 혐기성조의 선단에 설치하여 내부 반송된 혼합액내의 질산성질소 및 아질산성질소가 선단무산소조로 유입된 유기탄소원을 충분히 이용하여 탈질될 수 있도록 탈질반응을 우선적으로 유도함으로써 연속되는 혐기성조가 질산성질소의 영향으로부터 직접 보호될 수 있을 뿐만 아니라 무산소조에서는 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비가 클수록 비탈질속도가 증가하기 때문에 무산소조의 체류시간도 줄일 수 있다는 장점이 있다. 포기조에서는 용존산소의 농도를 2.0~3.0 mg/L로 유지함으로써 혐기성조에서 용출된 인을 과잉 섭취하여 최종적으로 최종침전지에서 폐슬러지로 인의 제거가 가능하게 하고 유입하수의 유기질소 및 암모니아성질소를 질산성질소로 질산화 시키고 잔존유기물을 산화시켜 제거한다. 또한 슬

러지 반응을 혐기성조로 함으로써 반응슬러지 내의 인 제거 관련 미생물을 혐기-호기의 반복공정에 계속적으로 노출시키고 미생물의 농도를 무산소조보다 고농도로 유지시켜 원활한 인의 용출과 과잉섭취를 유도하며 원수의 일부를 혐기성조로 유입시켜(Step-Feed) 혐기성조에서 인 제거 미생물의 우점종화를 유도할 수 있도록 하였다. 또한 선단무산소조에서 완전 탈질화된 혼합액과 반응슬러지내의 질산성질소 혹은 아질산성질소를 혼합함으로써 반응슬러지내의 이들을 희석시켜 새로운 반응조 없이 혐기성조 내에서 질산성 질소에 의한 인 용출 저해효과를 최소화하고 잔여의 유기물이나 Step-Feed로 유입된 원수 등을 이용해 Poly-P 미생물이 인을 유입 농도의 2~4배 까지 용출시킬 수 있도록 하여 인 제거효율을 상승시킬 수 있도록 하였다.

Bio-NET공정의 특징은 아래와 같다.

첫째, 선단에 무산소조를 설치함으로써 질소 제거효율이 뛰어나다.

높은 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비의 확보를 위해 무산소조를 선단에 설치함으로써 여타의 질소, 인 처리공정보다 비탈질속도가 빠르고 질소 제거효율이 높다. 이러한 탈질속도는 짧은 무산소조 체류시간에도 완전 탈질소화가 가능 하도록 하여 부지절감 및 최초침전지 일부의 무산소조로의 활용도 기술적으로 가능하게 하였다. 아울러 혐기성조로 유입되는 질산성질소의 악영향을 효과적으로 배제할 수 있어 인의 제거를 보완하였다.

둘째, 원수분배(Step Feed)의 설치로 다양한 하수성상에 적용이 가능하다.

우리나라의 하수처리장의 유입수는 처리장별로 유기물과 질소의 농도에 있어 큰 편차를 보이고 있을 뿐만 아니라 동일한 처리장에서도 계절별로 유기물과 질소의 농도가 큰 변화를 보이고 있다.

따라서 원수분배(Step Feed)의 설치로 대상하수의 유입수 BOD농도와 포기조 말단의 질산성질소 농도에 따라 무산소조 및 혐기성조로의 적절한 원수 분배율을 결정하여 질소 제거에 주안점을 주면서 인 제거를 보완 하였다.

Bio-NET 공정의 운전조건을 Table 6 에 나타내었고, Table 7 에 설계기준을 각각 나타내었다.

Table 6. The operating condition of Bio-NET process

Section	Unit	Application
SRT	day	7~15
BOD Capacity Load	kgBOD/m <sup>3</sup> .d	0.32~0.96
MLSS	mg/L	2,500
Anoxic Tank	hr	2.1
Anaerobic Tank	hr	1.3
Aeration Tank	hr	9.1
Sludge Return Rate	%	50%
Inner Return Rate	%	100%
Step-Feed	%	0%~50%

Table 7. The designed basis of Bio-NET process

Section	Unit	Designed Condition
Influent Wastewater Volume per Day	m <sup>3</sup> /d	440
Influent Water BOD	mg/L	200
Influent Water SS	mg/L	200
Influent Water T-N	mg/L	30
Influent Water T-P	mg/L	6
Treated Water BOD	mg/L or less	5
Treated Water SS	mg/L or less	5
Treated Water T-N	mg/L or less	10
Treated Water T-P	mg/L or less	2

## IV. 조사 및 분석방법

### 1. 조사방법

국내외 하수처리장으로 유입되는 하수의 수질특성은 박명술(2008, 건국대 박사학위논문)의 자료를 인용하였고 제주도 하수수질은 광역하수도 정비기본계획(2009)자료를 인용하였다.

연구대상 개인하수처리시설은 제주도내 골프장중 개인하수처리시설이 설치된 21개소 중 고도처리공법인 Bio-NET 공법이 적용된 A-처리시설(이하 “STP”라 한다.) 1개소와 재래식 공법인 장기폭기법이 적용된 B-STP, 접촉산화법이 적용된 C-STP 2개소를 선정 하였다.

연구대상 개인하수처리시설 현황을 아래 Table 8 에 나타내었다.

Table 8. The present situation of individual STP in golf courses

Section	A-STP	B-STP	C-STP
Installation Year	2004	1999	1999
Capacity (m <sup>3</sup> /day)	440	300	280
Main Treatment Process	BIO-NET (Advanced Treatment) + Filtration	Extended Aeration + Filtration	Aerobic Contact Oxidation + Filtration

연구대상 개인하수처리시설 중 A-STP와 B-STP는 제주시 애월읍에 소재하고 있고, C-STP는 서귀포시 남원읍에 소재하고 있으며, 2009년 5월~8월, 4개월 동안 처리시설별로 월 2회~4회 총 11회 조사를 실시하였다.

또한, 조사대상 처리시설의 위치도는 Fig. 12 와 같다.

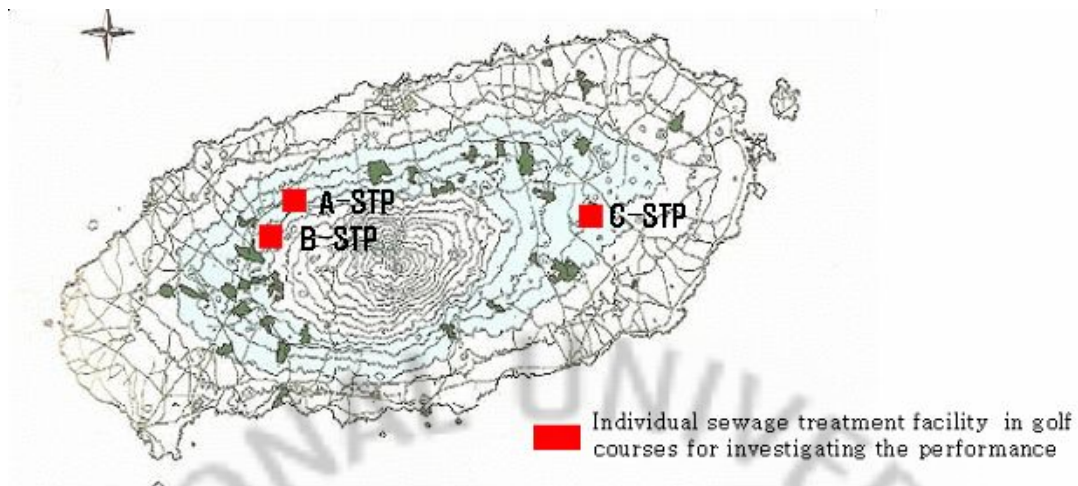


Fig. 12. The location of individual sewage treatment plant in golf courses for investigating the performance.

## 2. 분석방법 및 분석항목

본 연구에서의 각 처리장의 유기물, 고형물 및 질소, 인 제거능력 평가를 위하여 유입수 및 방류수에 대하여 BOD, SS, T-N, T-P 4개 항목에 대하여 현장 방문 시료 채취하여 수질오염공정시험방법에 따라 분석을 실시하였고, 시료의 시험방법은 Table 9 에 나타내었다.

Table 9. The analytical methods for water quality parameters

Parameters	Methods
BOD	Winkler's azide Modification
SS	Glass wool filtration
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Method
T-P	Ascorbic acid method, Spectrometer

생물화학적 산소요구량(BOD)은 수중에 포함된 유기물이 호기성 미생물에 의하여 분해될 때 소비되는 양을 mg/L로 나타낸다. 즉 수중 유기물의 양을 간접적으로 나타내는 척도로 하천에서 하. 폐수 등의 유입에 의한 오염 농도를 나타내는데 쓰인다. 일반적으로 20℃에서 5일간 소비되는 산소량이 사용되고 BOD5로 표시하기도 한다. BOD 측정은 분해성유기물 유입에 따른 오염정도를 파악하는 인자 이다. 수중의 유기물질의 양을 종합적으로 표현하는 지표로 BOD 이외에 화학적산소소비량(COD), 총유기 탄소(TOC), 총산소소비량(TOD)등이 있다.

부유물질은 수중에 현탁되어 있는 불용해성 물질로 이들은 콜로이드입자에서 현탁물까지 여러 가지 형태로 존재한다. 시험방법은 미리 무게를 달 유리섬유 여지(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전, 후의 유리섬유 여지의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하는 방법이다. 부유물질인 SS(Suspend Solid)는 함량이 높으면 농경지에 관개 시 규산 등의 무기질 미립자에 의해 토양의 통기성과 투수성이 불량하게 되어 작물뿌리의 신장을 저해하며 작물생육을 저해하기도 한다.

질소화합물은 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소로서 이들 물질은 주로 단백질의 분해과정에서 생성되며 부영양화를 일으키는 영양염류로서 중요한 수질오염지표가 된다. 생물체 성장에 있어 핵심요소이며 수계 일차생산의 제한영양소가 되는 인은 질소와 함께 조류의 증식에 필요한 영양분이 되어, 수역의 부영양화를 지배하는 중요한 인자가 된다.

총인(Total Phosphorus)은 수중에 포함되어 있는 무기, 유기인 화합물의 총량을 과황산칼륨 분해법이나, 질산-황산 분해법으로 분해하여 인산염인의 형태로 변화시킨 다음 측정한다. 인의 공급원으로 생물의 유해, 공장폐수 및 가정하수 등이다. 도시하수는 유기인, 오르토 인(ortho phosphorus), 응축인(condensed phosphorus) 형태의 3가지 인을 포함하고 있다. 생물학적으로 폐수를 처리할 때 균이 성장하면서 오르토 인(ortho phosphorus)을 동화시킨다. 그러나 응축인은 동화되기 전에 효소에 의하여 가수 분해되어 오르토(ortho) 형태로 된다.

## V. 결과 및 고찰

### 1. 국내외 하수와 골프장 하수의 수질특성 비교

기준에 설치된 대부분의 국내 하수관거는 합류식이며, 합류식관거 하수의 산술평균 BOD농도는 약 75 mg/L로서 미국하수의 34%, 유럽하수의 30% 정도로 선진국 하수의 BOD농도에 비하여 매우 낮다. 또한 국내 분류식관거 하수의 BOD농도는 약 147 mg/L로 합류식관거 하수의 BOD농도 보다는 높은 편이지만 외국하수의 BOD농도보다는 여전히 낮아 합류식관거 하수의 약 2배지만 미국 및 유럽하수의 60% 및 70%수준으로 낮은 경향을 보이고 있기 때문에 여전히 영양염류 제거면에서 불리하다.

원활한 질소 제거를 위한 C/N(BOD/T-N)비가 8~12 정도라는 일부 연구(Randall 등, 1992)와 비교하여 볼 때 국내 유입하수는 Table 10에서와 같이 1.5~4.7 범위인 것으로 보아 생물학적 고도처리를 위해 필요한 C/N비에 상당히 못 미치는 것으로 조사되었다.

제주도내 발생하수의 특성을 살펴보면 인구밀도가 가장 높은 제주시 동지역에서 평균 BOD, SS 농도는 각각 172.4 mg/L, 179.4 mg/L로 가장 높게 나타났고, 평균 T-N, T-P 농도도 각각 45.8 mg/L, 8.4 mg/L로 가장 높게 나타났다. 이는 국내분류식 하수의 평균 BOD 147 mg/L, 평균 T-N, T-P 37 mg/L, 5.2 mg/L보다 높게 나타났으나, 선진국인 미국, 유럽의 BOD, SS, T-N, T-P보다는 낮은 경향을 보였다. 또한 인구밀도가 낮은 제주시 읍면지역 중 판포 하수종말처리장에서 BOD, SS의 평균농도는 각각 41.5 mg/L, 44.8 mg/L로 가장 낮게 나타났다. T-N, T-P의 경우 서귀포시 대정하수종말처리장에서 대체적으로 낮게 나타났다. 전체적으로 제주지역 하수처리시설 내 유입 BOD는 인구밀도가 높은 지역에서 높고, 인구밀도가 낮은 읍면지역에서 낮게 나타나는 경향을 보였으며 미국, 유럽의 하수보다는 여전히 낮아 영양염류 제거 면에서 불리하다.

골프장의 하수의 수질특성을 살펴보면 A-STP의 경우 국내 분류식 하수관거 하수의 BOD농도 147 mg/L와 비슷하였고, B-STP, C-STP의 경우 국내합류식 하수관거 하수의 BOD 75 mg/L와 비슷하였다. 골프장에서의 BOD, T-N, T-P 평균농도를 보면 95.7 mg/L, 33.0 mg/L, 3.90 mg/L로 국내 합류식 관거 하수 및 제주도 지역 하수에 비하여 BOD, SS, T-N, T-P 모두 낮았고 또한 평균 BOD/T-N, BOD/T-P의 경우 국내 합류식 BOD/T-N, BOD/T-P비와 유사한 경향을 나타나 영양염류 제거면에서 불리한 것으로 나타났다. 하수중의 영양염류 농도를 Table 10 에 비교하여 나타내었다.

Table 10. The concentration of nutritive salts in sewage

Items		Influent Sewage					
		BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	BOD/T-N	BOD/T-P	
Korea	Separated Type	147	37	5.2	4.0	28	
	Combine Type	75	29	3.7	2.6	20	
Japan		150	30	5	5	30	
United States		220	40	8	5.5	27.5	
Europe		250	48	12	5.2	20.8	
Jeju Province	Jeju City (Dong)	Dodoo	172.4	45.8	8.4	3.8	21.0
	Jeju City (County)	Panpo	41.5	23.3	2.7	1.8	15.4
		Woljung	86	24.8	3.1	1.5	27.7
	Seogwipo City (Dong)	Bomok	129.4	27.3	2.6	4.7	49.8
		Joongmoon	101.8	31.5	2.6	3.2	31.8
	Seogwipo City (County)	Seongsan	74.2	20.3	3.2	3.7	23.2
		Daejung	73.3	20.7	1.6	3.5	21.0
Golf Courses in Jeju	Average		95.7	33.0	3.9	2.9	24.5
	A-STP		165.4	38.8	4.8	4.3	34.2
	B-STP		53.9	37.8	3.8	1.4	14.1
	C-STP		67.9	22.3	3.1	3.1	22

(Data : Environment Division, 2000b ; 제주특별자치도 광역하수도정비기본계획,



2009)

또한 관광객에 의한 오염부하량 원단위는 관광객의 체재경향 및 물이용 형태 등에 따라 여러 가지가 있다. 일본의 경우 관광객 오염부하량 원단위 적용수치는 Table 11 에서와 같이 숙박객은 상주인구 오염부하량의 84~94%, 일귀객은 상주인구의 24~40%를 적용한다.(일본하수도협회, 1994)

Table 11. The pollution load ratio of tourists

Section	상주인구	숙박객	일귀객	비 고
BOD	100%	85%	24%	
COD	100%	85%	24%	
SS	100%	83%	23%	
T-N	100%	95%	40%	
T-P	100%	86%	27%	

Table 11 에서 보듯이 관광객 물 이용형태와 유사한 골프장에서 BOD, SS, T-N, T-P의 오염부하량은 체류형태에 따라서도 크게 달라 지게 되는 것으로 나타났다. 따라서 향후 골프장 하수의 정확한 수질특성을 알아보기 위해서는 체류형, 일귀객 내장객 형태별로 세부적인 고찰이 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

## 2. 골프장 개인하수처리시설의 유입수량 및 유입수 수질특성

### 1)하수 유입수량 변화

2009년도 5월부터 9월의 연구대상 개인하수처리시설의 하수발생량 변화를 아래 Fig. 13 에 나타내었고, Table 12 에 개인하수처리시설의 하수유입량 현황을, Table 13 에 조사기간 동안의 연구대상 골프장 내장객현황을 각각 나타내었다. 3개소 모두 설계용량대비 50%이내로 하수가 유입되고 있었으며, 하수 외에 우수는 유입되지 않는 것으로 조사 되었다.

A-STP에서의 발생하수는 발생원에서 집수정의 Zoeller pump(오배수용펌프)

에 의하여 바로 개인하수처리시설로 유입이 되고 있었고, B-STP, C-STP의 경우는 발생원에서 오배수용펌프에 의하여 중간 부패조로 유입되어 유기물 및 고형물 일부가 제거된 후 개인하수처리시설로 유입이 되고 있는 것으로 조사되었다.

조사 골프장별 일일 하수발생량을 살펴보면 A-STP의 경우 최소 하수발생량의 경우 최대 하수발생량의 41%, B-STP의 경우 12%, C-STP의 경우 45%로 나타났다. B-STP의 경우 하수발생량의 변화가 심한 것으로 나타났다. 골프장별로 보면, A-STP가 하수발생량이 가장 많았고 B-STP, C-STP가 하수발생량이 적었던 것으로 조사되었다. 이러한 이유는 일일 방문 내장객수의 변화에 기인한 것으로 판단된다.

A-STP 경우 하수 발생량이 많은 것은 일평균 241명으로 내장객수가 많고 숙박시설을 이용한 체류형 내장객이 많음으로 인한 것으로 보여 졌다.

B-STP의 경우 하수발생량이 적게 나타난 것은 내장객수가 적었기 때문으로 조사되었으며 C-STP의 경우 내장객수는 다소 많았지만 숙박시설이 없기 때문에 하수발생량이 적었던 것으로 판단된다.

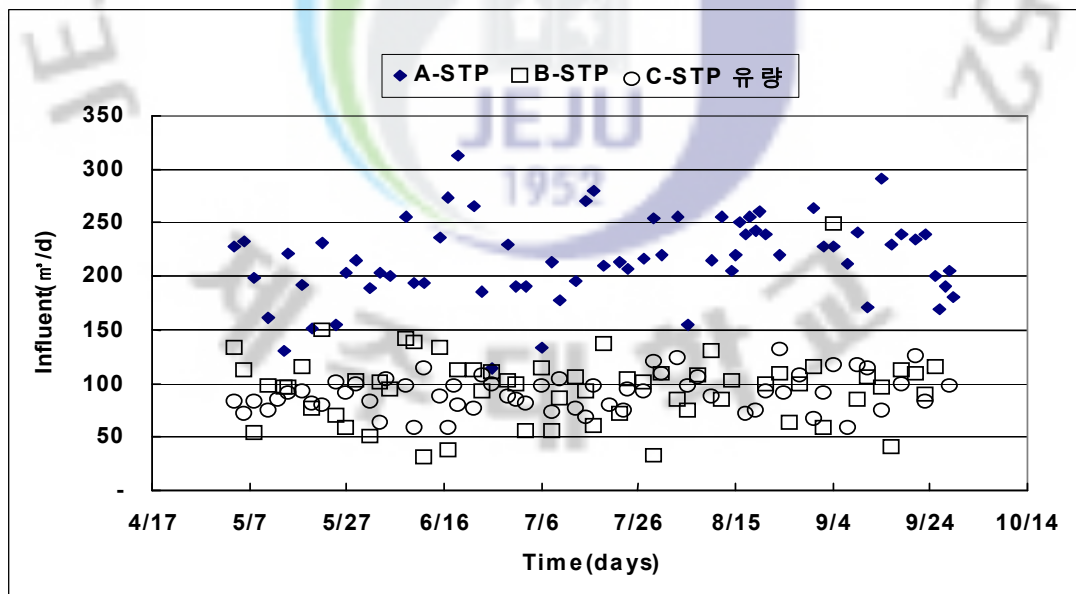


Fig. 13. The variation of the influent from the individual sewage treatment plant in the golf courses.

Table 12. The influent of individual sewage treatment plant

Section	A-STP		B-STP		C-STP	
	Influent Volume (m <sup>3</sup> /d)	Compared with Plan (%)	Influent Volume (m <sup>3</sup> /d)	Compared with Plan (%)	Influent Volume (m <sup>3</sup> /d)	Compared with Plan (%)
Average	214	49.5	97	32.1	90	32.1
Max	273	70.9	249	82.8	128	44.8
Min	114	25.8	31	10.3	58	20.7

Table 13. The present situation of the visitors in the golf courses

(Unit: person)

Section	May	June	July	August	September	Total	Monthly Average	Daily Average	Accommodations
A-STP	6,120	7,321	7,341	7,162	8,156	36,100	7,220	241	○
B-STP	5,257	5,037	3,797	4,648	4,510	23,249	4,650	155	X
C-STP	6,848	5,906	5,528	7,171	7,199	32,652	6,530	218	X

(Data: The Jeju special self-governing Province, 2009)

2)골프장 내장객수에 따른 수질변동 특성

골프장 일일 내장객수와 유입수량의 관계를 조사한 결과를 Fig. 14 에 나타내었다. 그림에서와 같이 내장객수와 하수 발생량은 선형적인 증가관계를 나타내었고 내장객수가 적은 경우 상주인원 및 시설 가동에 따른 물소비가 많은 관계로 367 L/day · 내장객 · 인 의 높은 원단위를 나타내었다. Fig. 15, Fig 16 의 결과를 보면 BOD, T-N 농도는 증가하나 SS 및 T-P의 경우는 거의 변화가 없었다.

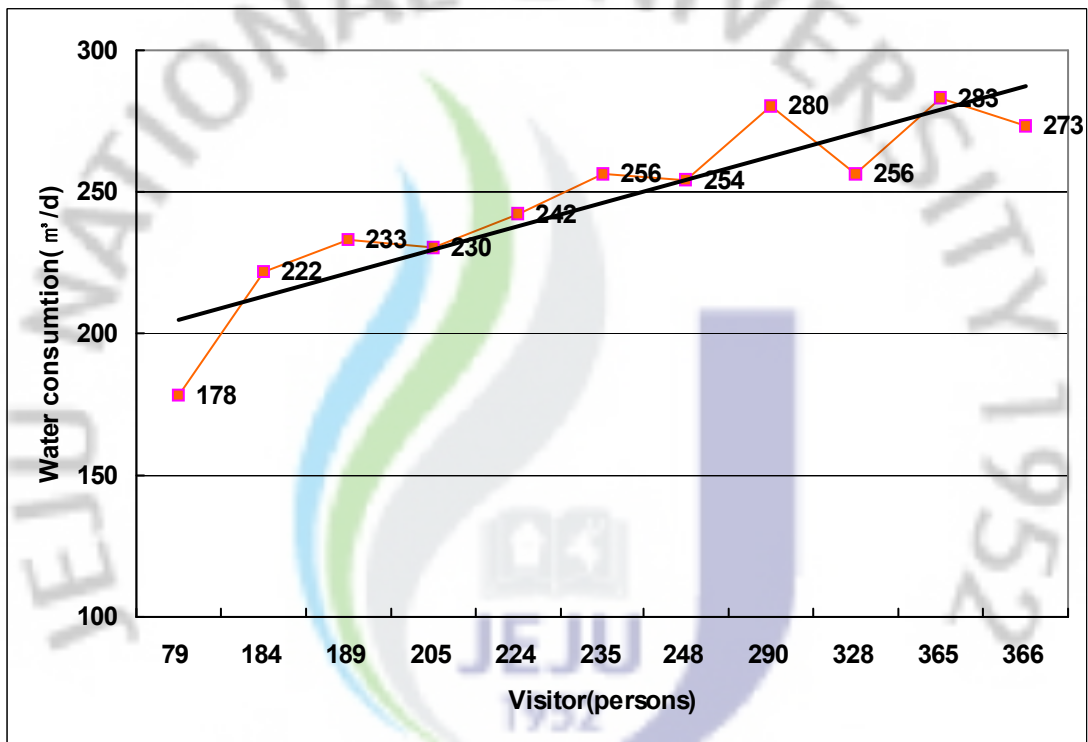


Fig. 14. The variation of water consumption by visitors.

골프장의 일일 평균 상주 인원은 상용직, 일용직, 캐디를 포함하여 1일 평균 220명으로 조사되었고 상주인원과 내장객에 따른 원단위를 산정한 결과 BOD는 56.0g/인 · d~123.0g/인 · d의 범위를 나타내었고, T-N은 16.2g/인 · d~30.9 /인 · d, T-P 는 2.2g/인 · d~3.1g/인 · d의 범위를 나타내었으며 BOD평균 원단위는 87.8g/인 · d, T-N의 평균원단위는 20.7g/인 · d, T-P의 평균 원단위는 2.6g/인 · d 로 BOD, T-N, T-P의 전국 발생원단위 58.0g/인 · d, 16.0g/인 · d, 1.6g/인 · d(박

명술, 2004)보다 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

조사대상 골프장중 한곳을 선정 2009년 5월부터 8월까지 처리장 조사일별 골프장 내장객수를 조사하여 내장객수에 따른 수질변동특성에 대하여 조사하였다.

골프장내장객수에 따른 수질변동특성을 Fig. 15 와 Fig. 16 에 각각 나타내었다.

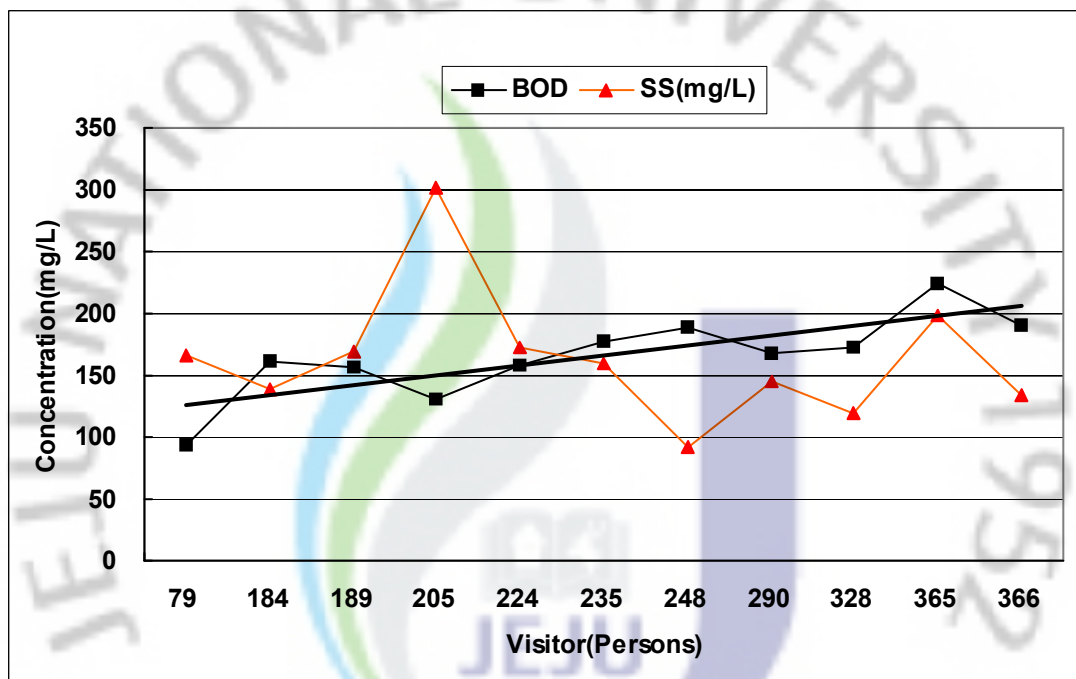


Fig. 15. The variation of BOD, SS in A-STP by Visitors.

BOD의 경우 내장객수가 증가할수록 높아지는 경향을 나타내었고, 도시지역의 하수특성과 같이 처리구역내 인구밀도가 증가할수록 유입하수의 BOD농도가 증가하는 경향을 보여주고 있고 유입하수의 T-N농도는 BOD농도에 비하여 증가 경향이 뚜렷하지 않지만 증가하는 경향을 보여주고 있다(박명술, 2004)라는 연구결과와 일치하고 있었다. 따라서 골프장 내장객이 많을수록 유기물농도가 높은 하수가 처리시설로 유입된다고 판단할 수 있겠다.

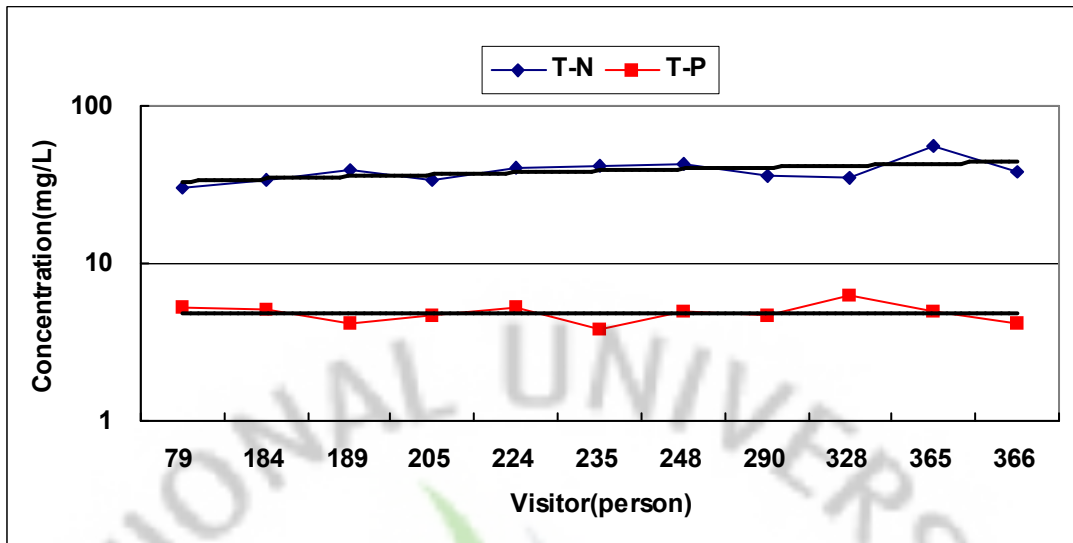


Fig. 16. The variation of T-N, T-P in A-STP by Visitors.

Fig. 16 에서 보면 T-N에 있어서도 내장객수에 따른 BOD 변화와 마찬가지로 내장객수가 증가 할수록 높아지는 양상을 나타내었다. T-P의 농도증가는 거의 미미한 것으로 나타났다. 이는 Sawyer and McCarty(1994)와 Snoeyink and Jenkins(1980)에 의하면 가정하수에 의한 T-P 부하량은 1.6kg/1인·년으로 가정하수의 평균 T-P 농도는 10 mg/L정도이며, 이 중 세제에 의한 T-P 부하량은 가정하수 전체의 50~70%를 차지한다고 한다는 결과로부터 골프장 개인하수처리시설에서의 T-P의 주발생원은 세제에 의한 경우가 대부분으로 판단되며 골프장을 방문하는 내장객의 물이용 형태로 볼 때 내장객 증가로 인해 물 사용량은 증가되지만 T-P 농도는 거의 변화가 없음을 알 수 있었다.

### 3)골프장 개인하수처리시설의 유입하수 수질 특성

각 처리시설별 유입하수의 BOD에 대하여 연구방법에 따라 2009년 5월~8월 동안 분석한 결과 A-STP에서 BOD는 94.0 mg/L ~ 224.0 mg/L범위에서 변화하고 있으며, 평균BOD는 165.4 mg/L로 3곳의 처리시설 중 유입 BOD가 가장 높게 나타났으며, 제주시 동지역 공공하수처리시설 평균 BOD와 비슷하게 나타났다.

B-STP에서는 31.0 mg/L ~ 82.6 mg/L범위 내에서 변화하고 있으며, 평균

BOD는 53.9 mg/L로 가장 낮게 나타났고, C-STP에서는 28.0 mg/L ~ 88.0 mg/L 범위이며, 평균 BOD는 67.9 mg/L로 나타났다. B-STP, C-STP에서는 읍면지역 공공하수처리시설 유입 BOD농도와 유사한 값을 나타내고 있었다. 이는 A-STP의 골프장 내장객수가 가장 많았고, 또한 숙박시설에 의한 체류형 이용객들로 인한 것으로 판단되었다. 또한 B-STP와 C-STP에서 처리시설로 유입되기 전에 설치된 부패조에서 유기물의 일부가 분해되고, 부유물의 일부가 침전되어 처리시설로 유입되기 때문에 BOD 농도가 낮게 유입되고 있는 것으로 조사되었다.

연구대상 하수처리시설별 유입하수 중 BOD변화를 Fig. 17 에 나타내었다.

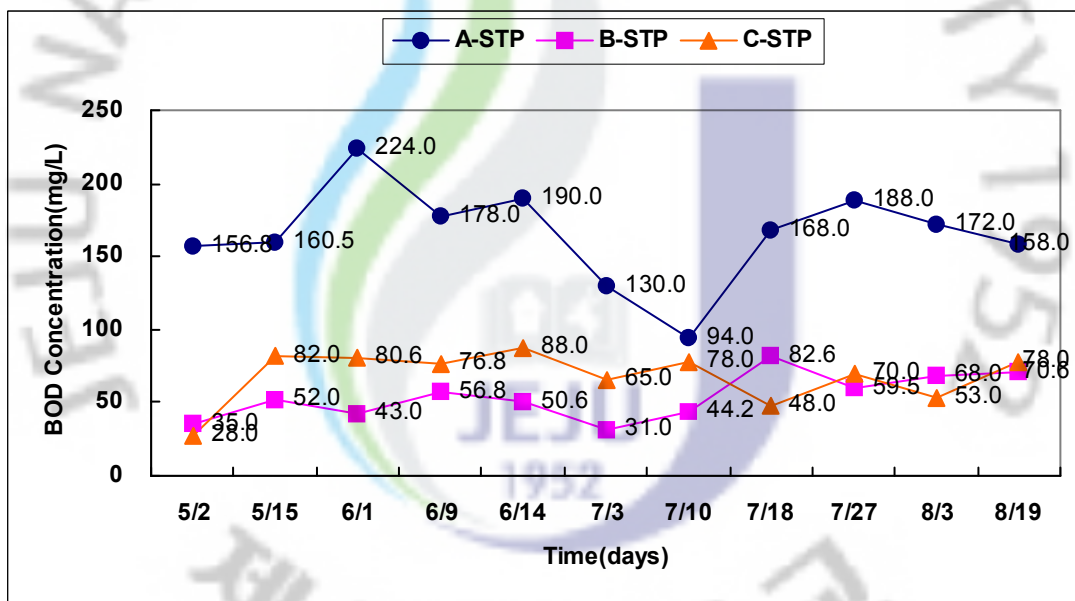


Fig. 17. The variation of BOD in the influent from the golf courses.

연구대상 하수처리시설별 유입하수 중 SS의 변화 역시 A-STP에서 평균 163.4 mg/L로 가장 높게, B-STP에서 평균 55.9 mg/L로 가장 낮게 나타났다. 이 또한 연구대상 하수처리시설의 유입 BOD농도가 높았던 원인과, 낮았던 원인에 기인하는 것으로 판단되었다.

연구대상 하수처리시설별 유입하수 중 SS변화를 Fig. 18 에 나타내었다.

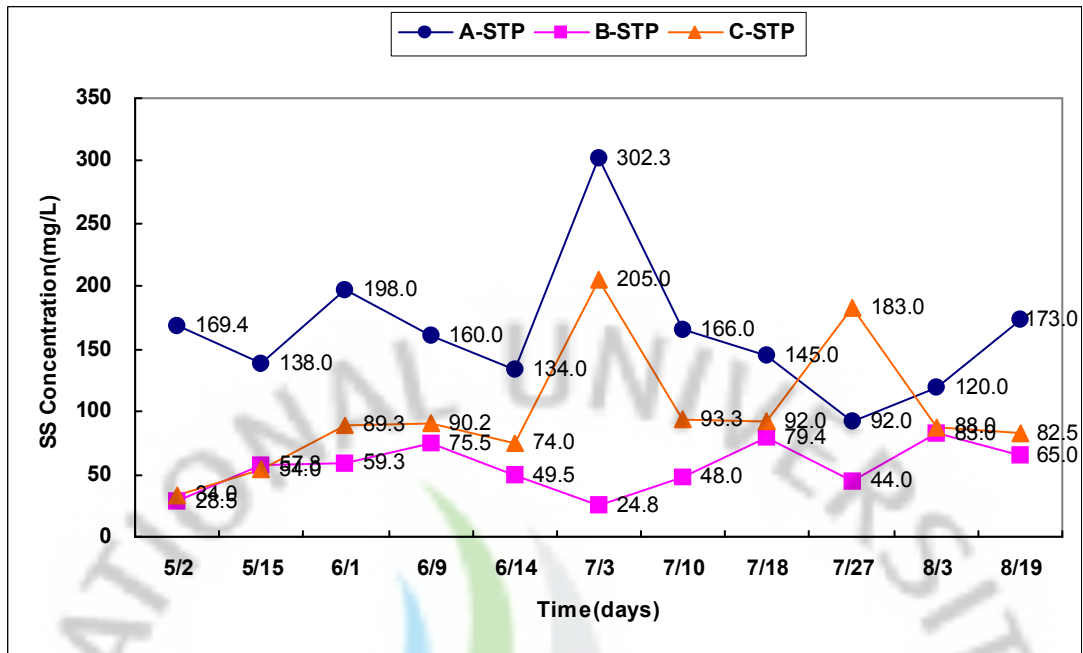


Fig. 18. The variation of SS in the influent from the golf courses.

Fig. 19 에는 연구대상 하수처리시설별 유입하수 중 T-N 변화를 나타내었다. 유입하수 중 T-N의 농도 역시 A-STP에서 평균 38.8 mg/L로 가장 높게 유입이 되고 있었고, C-STP에서 평균 22.3mg/L로 가장 낮게 유입이 되고 있었다. 그러나 B-STP에서는 평균 유입 BOD가 가장 낮게 유입되었던 것에 비해 유입하수 중 평균 T-N은 37.8 mg/L로 높게 유입이 되고 있었다. 연구대상 처리시설 3곳 모두 골프장으로 유입하수의 성상이 비슷할 것으로 판단되는 바 이에 대해 B-STP의 발생원 및 하수성상에 대해 좀 더 세부적인 조사가 필요할 것으로 보인다.

또한 3군데 처리시설에서의 유입되고 있는 T-N의 농도는 향후 2012년 1월 적용될 방류수 수질기준을 초과하여 유입되고 있는 것으로 조사 되었다.



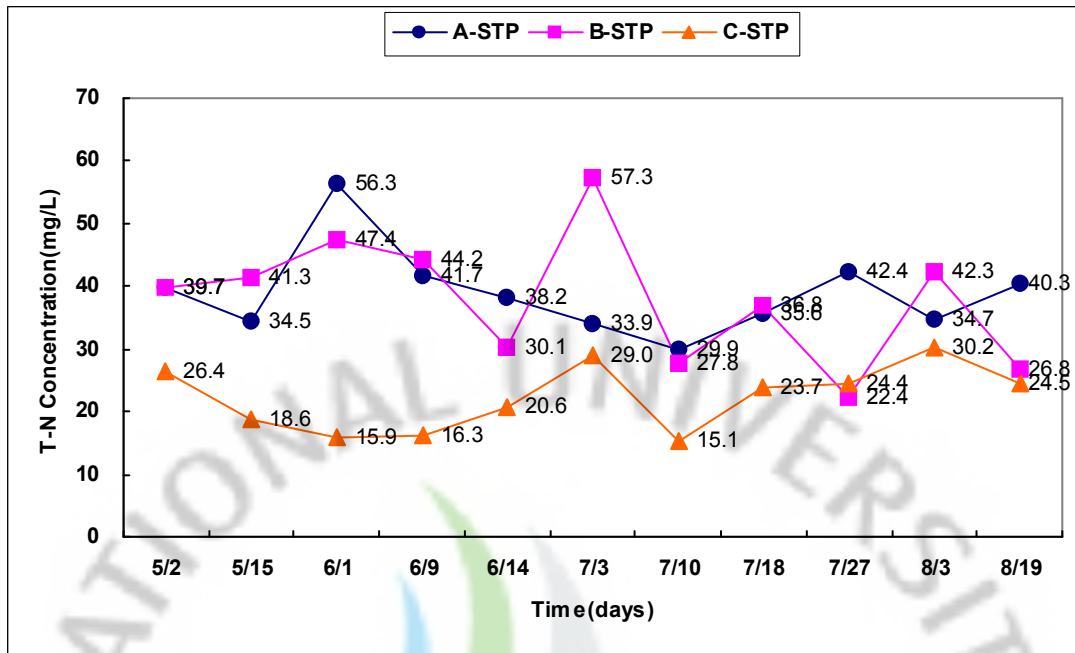


Fig. 19. The variation of T-N in the influent from the golf courses.

처리시설별 T-P의 유입 농도를 살펴보면 A-STP에서 3.9 mg/L ~ 6.2 mg/L 범위로 평균 4.8 mg/L로 가장 높게 유입되고 있었고, B-STP에서는 3.3 mg/L ~ 4.7 mg/L 범위로 평균 3.8 mg/L로 유입되고 있었다. C-STP에서는 2.1mg/L ~ 4.8 mg/L 범위에서 평균 3.1 mg/L로 가장 낮게 유입되었다. 3군데 처리시설 유입하수 중 T-P는 2012년 1월 적용될 방류수 수질기준을 모두 초과하여 유입 되는 것으로 조사되었다.

Fig. 20 에 연구대상 하수처리시설별 유입하수 중 T-P의 변화를 나타내었다.

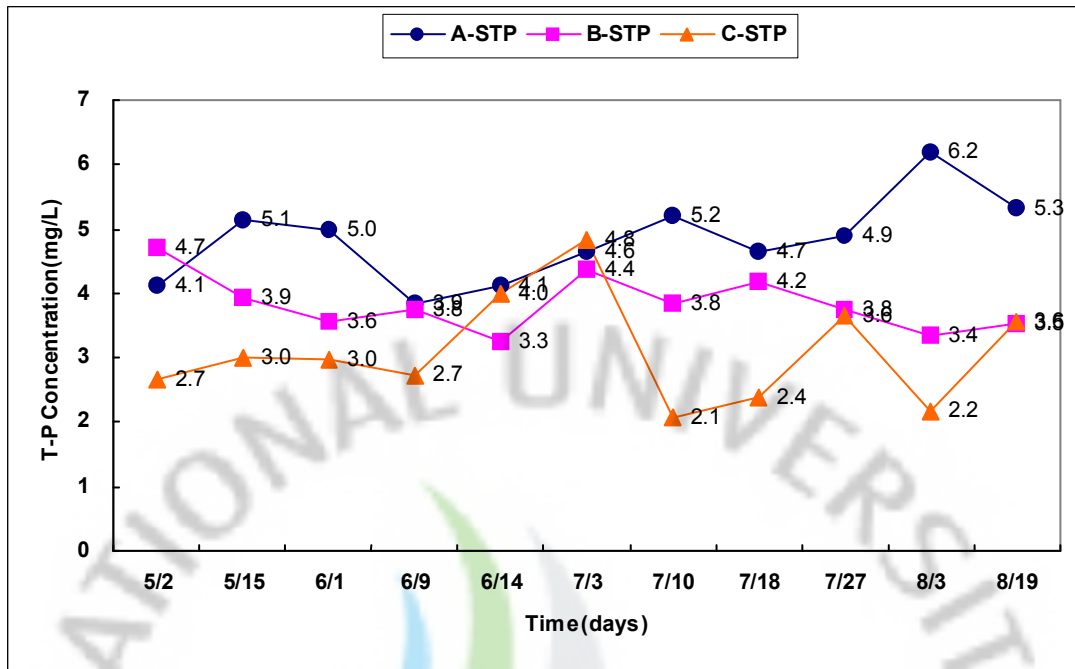


Fig. 20. The variation of T-P in the influent from the golf courses.

조사대상 처리시설 A-STP, B-STP, C-STP의 유입하수에 대하여 BOD, SS, T-N, T-P를 분석하여 본 결과 A-STP에서 BOD, SS, T-N, T-P가 가장 높게 유입이 되었고, B-STP에서는 BOD농도가 낮은 것에 비해 유입 평균 BOD 53.9 mg/L에 비해 T-N, T-P가 높게 유입이 되고 있었다. C-STP에서는 T-N, T-P가 가장 낮게 유입이 되고 있었다.

### 3. 골프장 개인하수처리시설별 방류수 수질특성

#### 1)A-STP의 방류수 수질특성

연구방법에 따라 2009년 5월~8월 동안 유입수질과 방류수질에 대하여 분석하여 처리효율에 대한 변화를 Fig. 21 에서 Fig. 24 까지 나타내었다.

유입원수의 BOD는 94.0~224.0 mg/L 범위의 분포를 보였고, SS 농도는 92.0~302.3 mg/L, T-N 농도는 29.9~56.3 mg/L, T-P 농도는 3.9~5.3 mg/L를 각각 나타내었다. 따라서 이들의 평균 농도는 BOD, SS, T-N, T-P가 각각 165.4 mg/L, 163.4 mg/L, 38.8 mg/L, 4.8 mg/L로 나타났다. 처리후의 유출수의 평균 농도는 BOD, SS, T-N, T-P가 각각 1.1 mg/L, 1.0 mg/L, 14.7 mg/L, 1.7 mg/L로 나타났으며, 평균 처리효율은 각각 99.3%, 99.4%, 62.8%, 64.7%로 나타났다. 이곳의 처리시설은 질소제거율이 제일 낮았으며, 유기물 및 고형물 처리효율은 상당히 양호한 것으로 나타났다.

T-N, T-P의 경우 2012년에 적용될 방류수 수질기준을 초과하는 경우도 나타났다. 이는 현재 방류수 수질기준이 BOD, SS에만 적용되고 있어 운전자가 T-N, T-P처리에 대한 고려를 하지 않았던 것으로 판단된다.

Bio-Net공법에서의 운전조건은 내부반송률은 유입수량대비 1Q~2Q로 운전하며, 슬러지반송(RAS)은 높은 MLSS농도를 유지하기 위해서 30%~50%로 설정한다. 내부반송률에 따른 T-N 제거효율은 100%에서 200% 증가 시 10~15% 정도 증가하는 것으로 나타났다(이영호, 2002). 따라서 향후 T-N제거율을 높이기 위한 적절한 내부반송율 및 슬러지반송을 조절할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 질소제거는 포기조내에서의 질산화반응을 거친 후 무산소조에서 탈질 반응을 통하여 최종적으로 질소가스로 제거되는데, 탈질반응이 잘 이루어지지 않는 경우에는 무산소조 말단의 질산성질소는 잔존하지 않지만 불충분한 경우에는 질산성질소가 잔존하여 인제거 등에 악영향을 미침으로 탈질속도를 이용하여 무산소조의 상태를 점검하고 문제발생시 내부반송량을 조정하여 완전 탈질소화를 유도하도록 하여야 한다.

또한 원수 분배 및 슬러지내부반송을 통하여 유기물농도를 조절함으로써

BOD/T-N, BOD/T-P비를 높이고, 원수분배를 증가시킴으로써 제거효율 향상을 위한 운전방법의 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

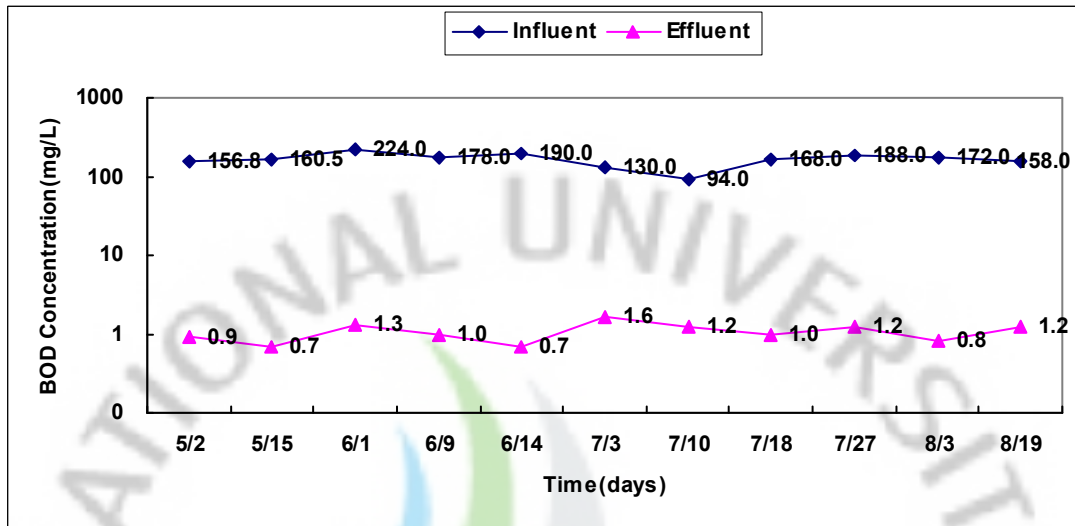


Fig. 21. The variation of BOD in the influent and effluent from A-STP.

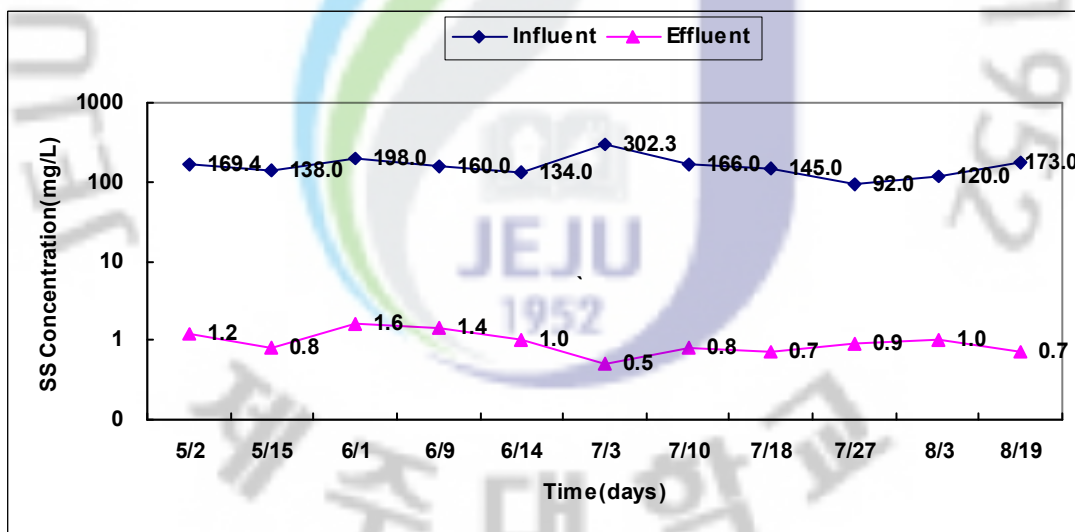


Fig. 22. The variation of SS in the influent and effluent from A-STP.

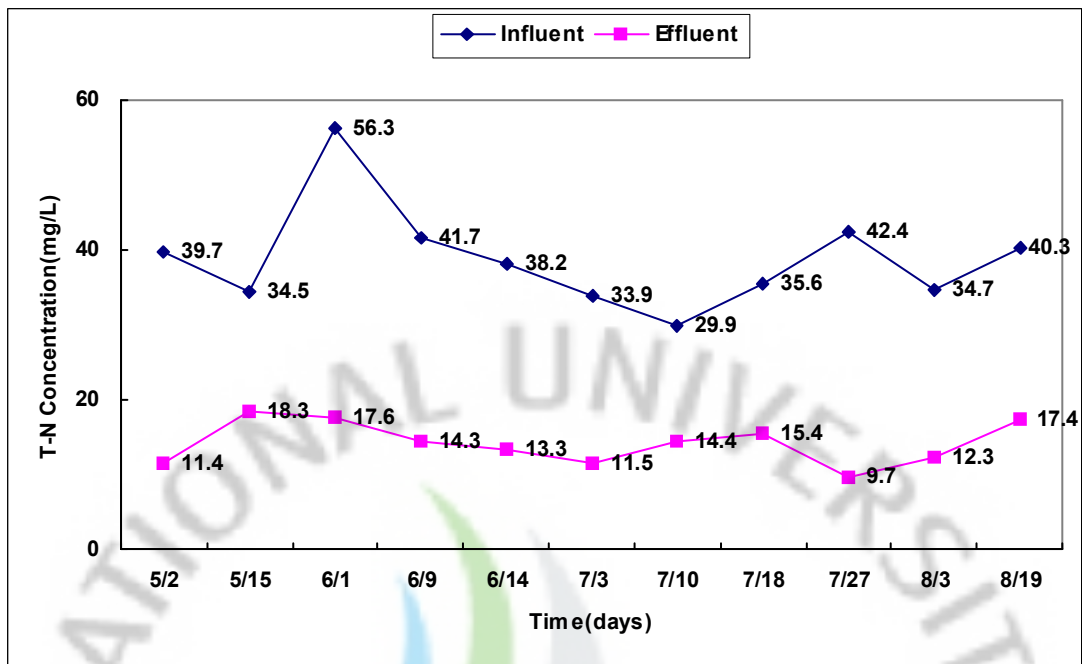


Fig. 23. The variation of T-N in the influent and effluent from A-STP.

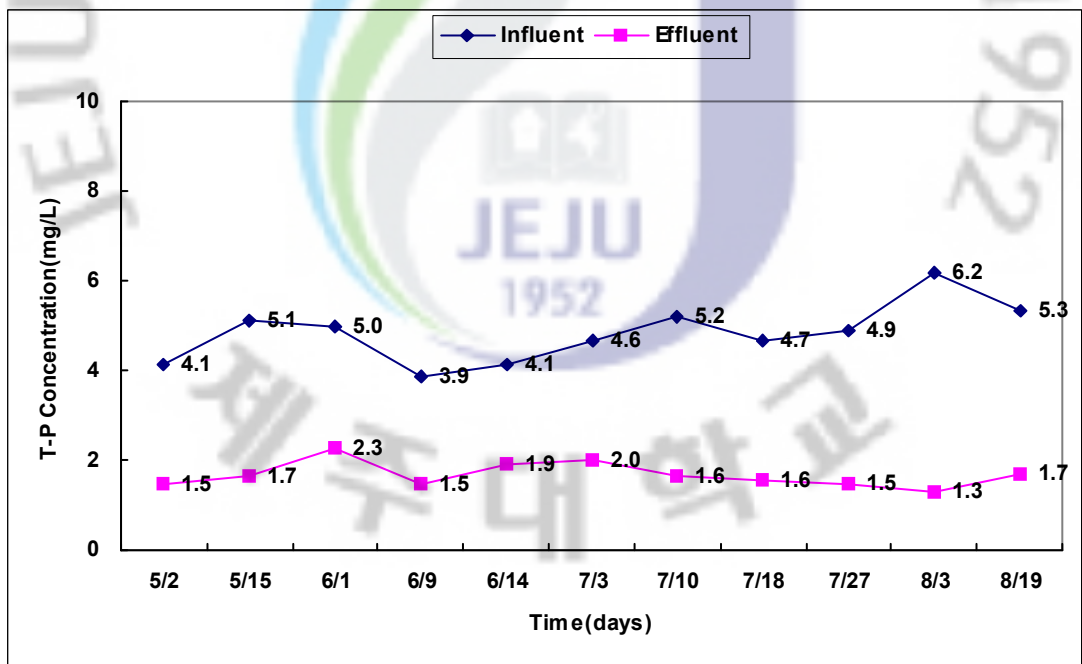


Fig. 24. The variation of T-P in the influent and effluent from A-STP.

## 2)B-STP의 방류수 수질특성

Fig. 25 에서 Fig. 28 까지 에는 장기폭기법을 적용한 처리시설에서 2009년 5월~8월 동안 유입수질과 방류수질에 대하여 분석하여 처리효율에 대한 변화를 나타내었다.

유입원수의 BOD 농도는 31.0mg/L~82.6mg/L의 범위를 보였고, SS 농도는 24.8mg/L~83.0mg/L, T-N 농도는 22.4mg/L~57.3mg/L, T-P 농도는 3.3mg/L~4.7mg/L를 각각 나타내었다. 이들의 평균 농도는 BOD 53.9mg/L, SS 55.9mg/L, T-N 37.8mg/L, T-P 3.8mg/L로 각각 나타났다. 처리 후 유출수 평균농도는 BOD 0.9mg/L, SS 0.8mg/L, T-N 14.1mg/L, T-P 1.5mg/L로 나타났으며, 평균 처리효율은 BOD 98.2%, SS 88.2%, T-N, 61.4%, T-P 59.8%로 나타났다. 이곳의 처리시설은 유기물 및 고형물에 처리에 있어 높은 제거효율을 나타냈으나, 인 제거율이 가장 낮게 나타나 인제거가 가장 안 되고 있는 것으로 나타났다. 처리 후의 수질을 보면 T-N의 경우 7.8mg/L ~ 18.7mg/L로 유입수의 농도에 따라 제거가 어려워지는 것으로 나타나고 있으며, T-P의 경우도 2012년 적용될 방류수 수질기준 2mg/L를 초과하는 경우도 나타나고 있어 T-N, T-P의 제거효율을 높일 수 있는 운전 개선이 요구된다. 문헌에서 원활한 질소제거를 위해서는 C/N(BOD/T-N)비가 8~12정도라는 일부 연구(Randall 등, 1992)와 비교하여 볼 때 이곳의 BOD/T-N비는 1.6으로 낮아 유입 BOD농도를 높여줌으로서 질소제거효율을 증가시킬 수 있는 방안도 고려하여 보아야 할 것으로 보여진다. 또한 질소의 경우 폭기량 감소에 따른 처리효율의 영향이 매우 큰 것으로 나타났는데(최명수, 2003) 이는 호기성 미생물인 질산화 박테리아가 폭기조내 용존산소의 농도에 의해 영향을 받기 때문이며, 용존산소의 감소는 결과적으로 질산화 효율을 현저하게 감소시켜 유출수내 암모니아성 질소를 비롯한 총질소의 농도가 매우 높게 나타난다. 따라서 폭기시간을 늘림으로 인한 제거효율 향상을 기대하여 불만도 하지만 폭기량의 증가는 동력비 상승을 초래함으로써 **장래** 바람직한 처리수질 향상을 위해서는 공정개선 등을 검토하여 보아야할 것으로 판단된다.

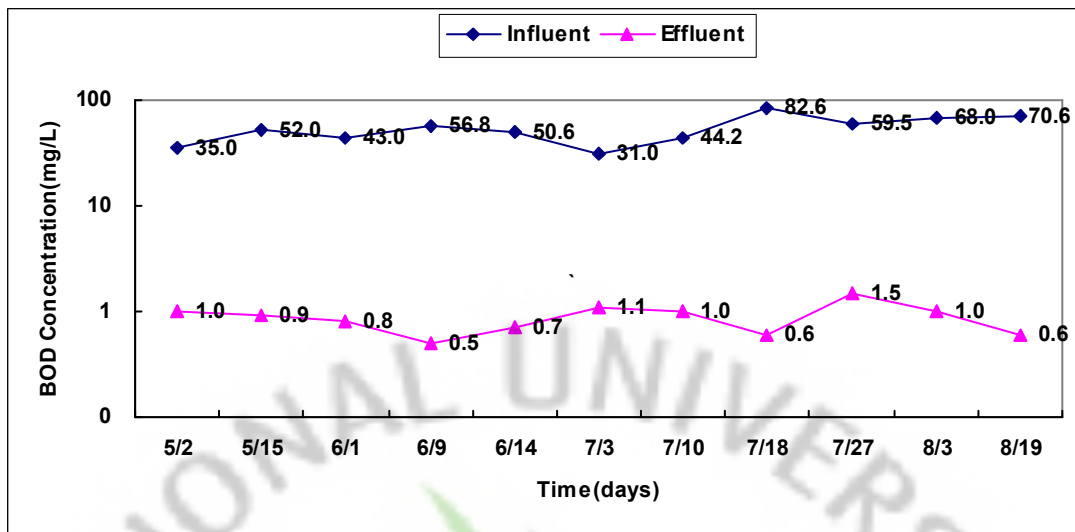


Fig. 25. The variation of BOD in the influent and effluent from B-STP.

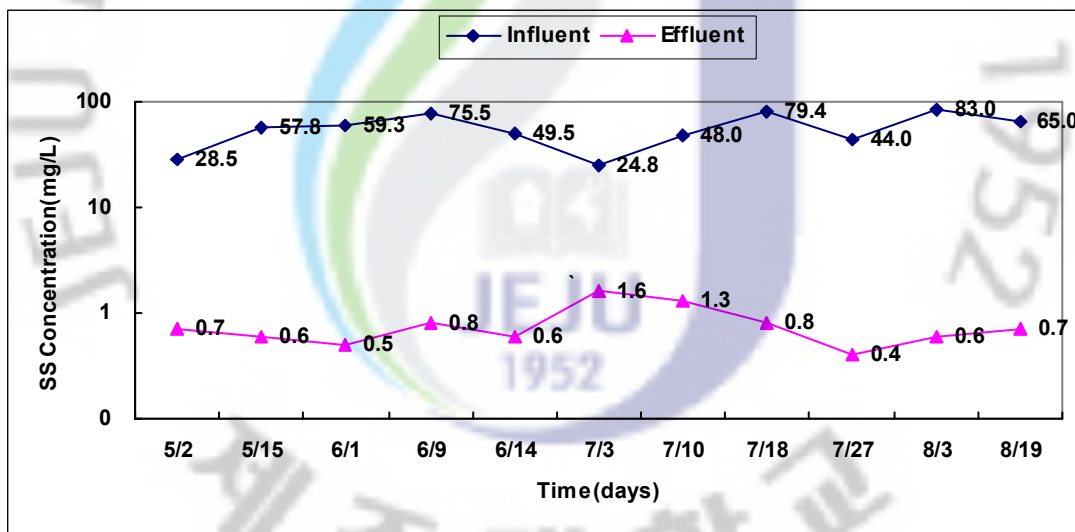


Fig. 26. The variation of SS in the influent and effluent from B-STP.

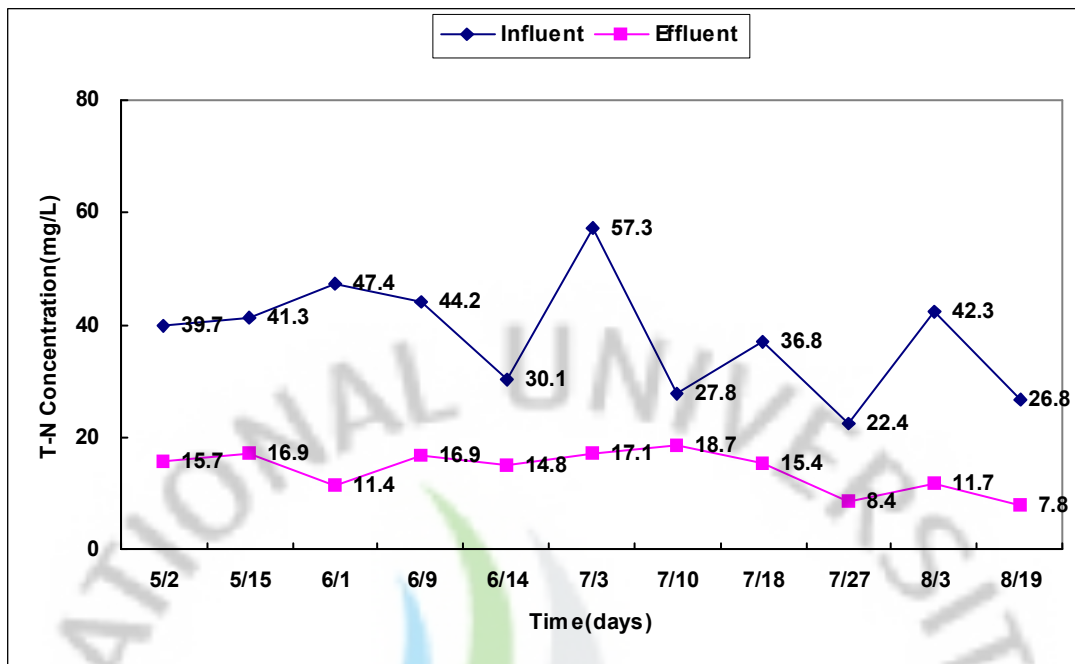


Fig. 27. The variation of T-N in the influent and effluent from B-STP.

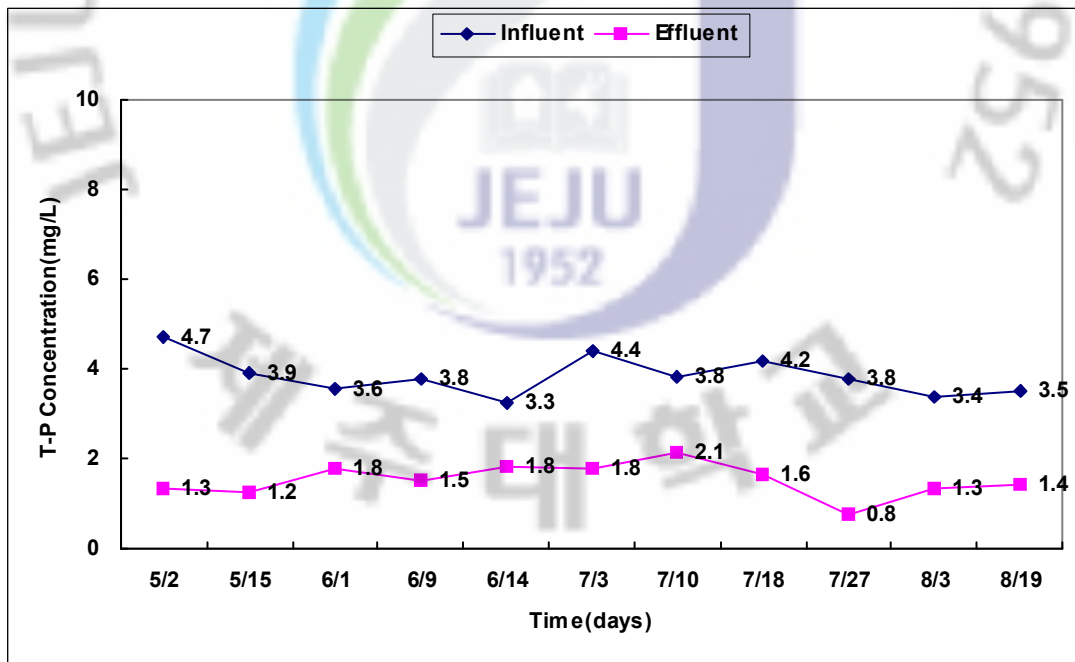


Fig. 28. The variation of T-P in the influent and effluent from B-STP.



### 3)C-STP의 방류수 수질특성

Fig. 29 에서 Fig. 32 까지 에는 접촉산화법을 적용한 처리시설에서 2009년 5월~8월 동안 유입수질과 방류수질에 대하여 분석하여 처리효율에 대한 변화를 나타내었다.

유입 원수의 BOD 농도는 28.0 mg/L ~ 88.0 mg/L 범위의 분포를 보였고, SS 농도는 34.0 mg/L ~ 205.0 mg/L, T-N 농도는 16.3 mg/L ~ 29.0 mg/L, T-P 농도는 2.1 mg/L ~ 4.8 mg/L 범위를 나타내었다. BOD, SS, T-N, T-P의 평균 유출수 농도는 각각 1.4 mg/L, 1.3 mg/L, 10.9 mg/L, 1.2 mg/L를 나타내었고, 제거효율은 BOD 98.0%, SS 98.3%, T-N 47.5%, T-P 58.1%를 나타내었다. 이곳의 처리시설은 BOD, SS에서 안정적으로 제거가 이루어지고 있었고 이는 담체에 부착된 미생물이 유입부하변동에 대한 강한 적응력이 유지되는 영향으로 판단된다.

질소의 제거율이 제일 낮은 것으로 나타났다. 질소의 경우는 폭기량 감소에 따른 처리효율의 영향이 매우 큰 것으로 나타났는데, 이는 호기성 미생물인 질산화 박테리아가 폭기조내 용존산소의 농도에 의해 영향을 받기 때문이며, 용존산소의 감소는 결과적으로 질산화 효율을 현저하게 감소시켜 유출수내 암모니아성 질소를 비롯한 총질소의 농도가 매우 높게 나타난다(최명수, 2003). 따라서 폭기 시간을 증가 시킴으로서 질소제거효율 향상을 기대하여 볼만도 하나, 이는 동력비 증가에 따른 유지관리비 상승을 초래하게 된다.

또한 생물학적 질소제거는 하수중의 암모니아를 호기상 상태에서  $\text{NO}_x^-$ (아질산, 질산)으로 산화하는 질화공정과 이  $\text{NO}_x^-$ 를 혐기성상태에서 환원하여 질소가스로 방산하는 탈질공정 등 두가지 공정으로 이루어져 있으며, 질산화는 암모니아가 독립영양미생물인 Nitrosomonas와 Nitrobacter에 의해 아질산성 질소를 거쳐 최종적으로 질산성질소로 산화되는데 이때 독립영양세균은 수중의 탄산가스에서 유기물을 합성해 증식하게 되고 증식속도가 느리기 때문에 활성슬러지 중에 상당량을 유지하기 위해서는 슬러지(고형물)의 체류시간(SRT)를 길게 하여 충분한 증식 시간을 확보해야 한다.

생물학적 인제거에서는 유입수중의 BOD/T-P비가 중요한 인자가 되는데 양호한인제거율을 위해서는 BOD/T-P비가 10이상이어야 하고, 일반적으로

BOD/T-P가 20이상인 되어야 양호한 생물학적인 인제거를 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 미국 EPA의 생물학적 인제거를 위한 설계보고서에는 BOD/T-P비가 20~25정도를 장려하는 것으로 보고 되어져 있다. C-STP에서의 BOD/T-P비는 10.5 ~ 37.4로 생물학적 인제거의 필요한 BOD성분은 충분한 것으로 조사되었다. 그러나 인의제거는 생물학적 처리에 있어서도 기본적으로는 슬러지에 농축된 인을 시스템 밖으로 배출하지 않으면 인의 제거는 이루어지지 않게 된다. 따라서 C-STP의 처리시설에서 포기조 내의 적정 MLSS농도 유지로 시스템 내에서 발생하는 슬러지를 시스템 밖으로 적절하게 인출함으로 인하여 인의 제거가 이루어진 것으로 판단된다.

유출수의 T-N, T-P의 경우는 2012년 적용될 방류수 수질기준 이내로 처리가 되는 것으로 나타났으며, 이는 T-N, T-P가 낮았기 때문인 것으로 보인다. 그러나 T-N, T-P의 경우 방류수 수질기준에 육박하는 경우도 자주 나타나 보다 안정적인 처리효율은 나타내기 위해서는 운전 및 시설개선이 필요할 것으로 보여진다.

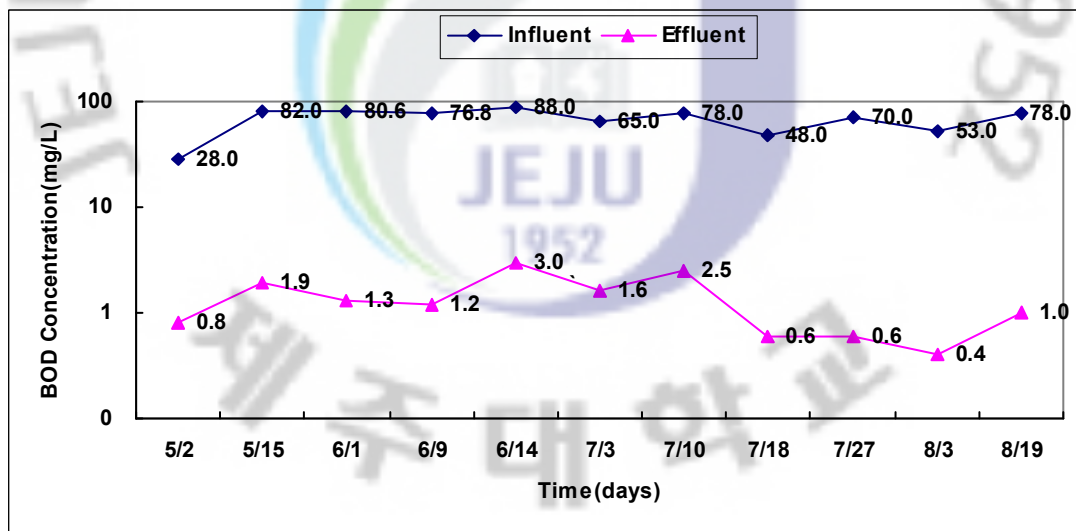


Fig. 29. The variation of BOD in the influent and effluent from C-STP.

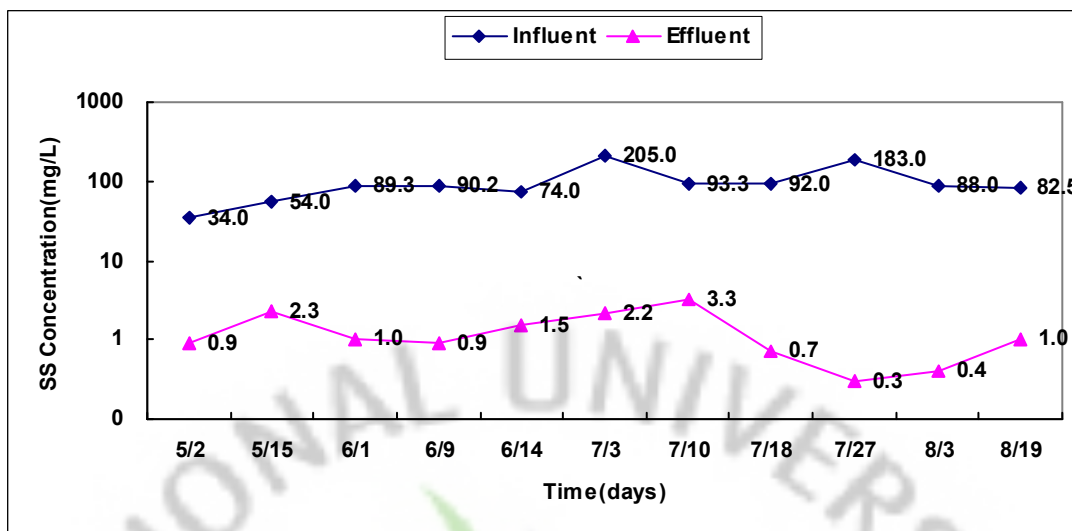


Fig. 30. The variation of SS in the influent and effluent from C-STP.

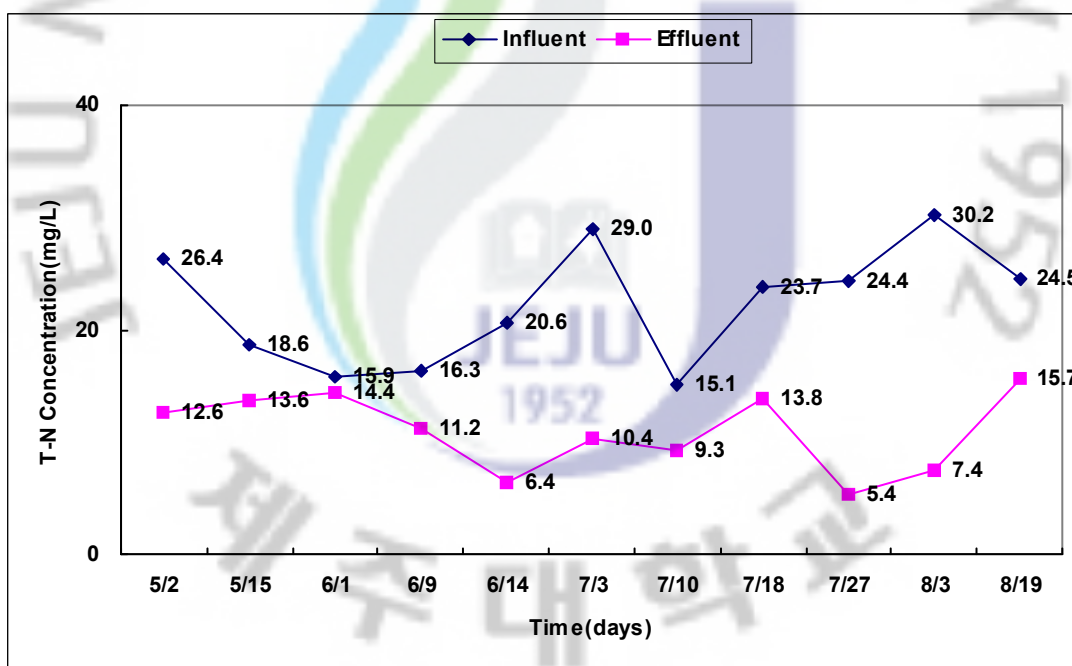


Fig. 31. The variation of T-N in the influent and effluent from C-STP.

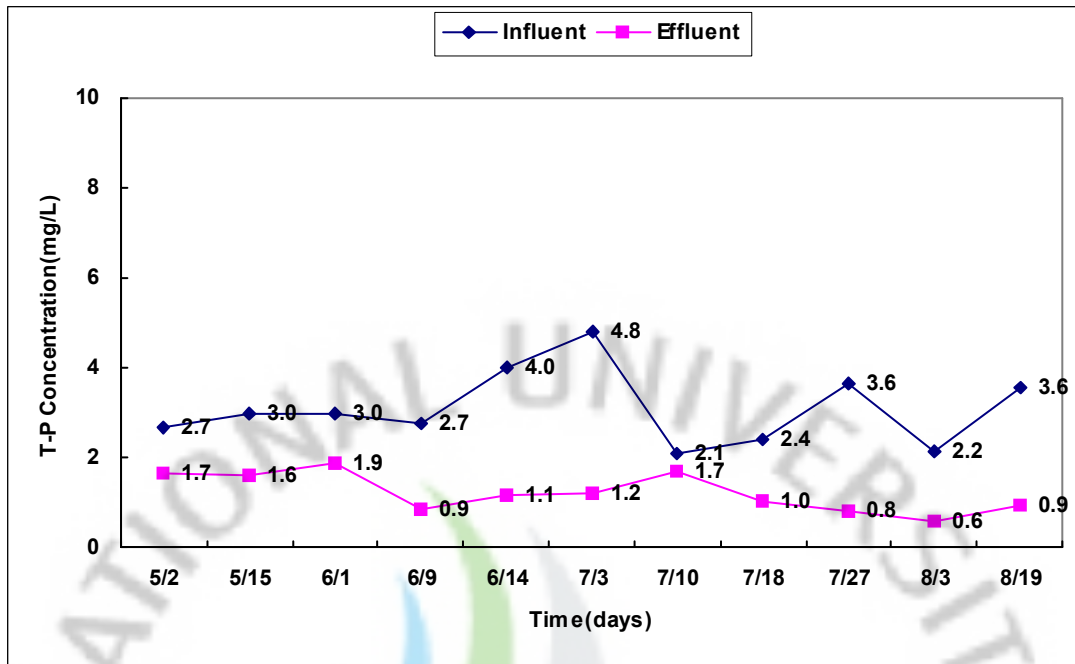


Fig. 32. The variation of T-P in the influent and effluent from C-STP.

#### 4. 골프장 개인하수처리시설의 공법별 처리효율 비교

2009년 5월~8월 4개월 동안 조사대상 처리시설의 3개 공법에 대하여 처리방법에 따른 항목별 제거효율을 Fig. 33 에 나타내었다.

A-STP의 Bio-NET공법, B-STP의 장기폭기법, C-STP의 접촉산화법에서의 제거효율을 비교하여 본 결과 BOD, SS에서는 고도처리공법이 적용된 시설이나, 재래식 공법이 적용된 시설에서 크게 차이 없이 매우 안정적인 제거효율을 나타내고 있었다. 그러나 BIO-NET의 고도처리공법이 적용된 A-STP에서 T-N, T-P의 제거효율은 각각 61.4%, 64.7%로 제일 높게 나타났으며, 재래식공법이 적용된 B-STP와 C-STP중 C-STP에서 T-N, T-P 제거효율이 각각 47.5%, 58.1%로 가장 낮게 나타났다.

자료에 의하면 충청남도내의 시, 군에 설치된 마을하수도의 장기폭기법에서 T-N, T-P의 제거율은 각각 58.2%, 66.% 정도 제거가 되는 것으로 조사 되었고.

집축산화공법에서는 T-N은 47.4%, T-P는 42.3%가 제거 되는 것으로 조사되기도 하였다(이상균, 2002).

현재 T-N, T-P의 방류수 수질에 대한 수질기준이 없어 운영자의 T-N, T-P의 제거에 대한 관심도 부족으로 처리시설별 정확한 제거효율의 비교가 되지는 못하지만 고도처리공법의 적용시설에서 T-N, T-P의 제거효율은 타 공법에서의 제거효율보다 다소 좋았다는 것은 본 연구결과 나타났다. A-STP에서의 T-N, T-P를 제거하기 위하여 내부슬러지 반송을 조정, 원수 분배 등을 통한 운전상의 조건은 다양하지만, B-STP, C-STP에서 T-N, T-P를 제거하기 위한 운전상의 조건은 매우 제한적이어서 향후 시설 운영자의 관리여건에 따라 T-N, T-P에 대한 제거효율의 차이는 더 커질 것으로 판단된다.

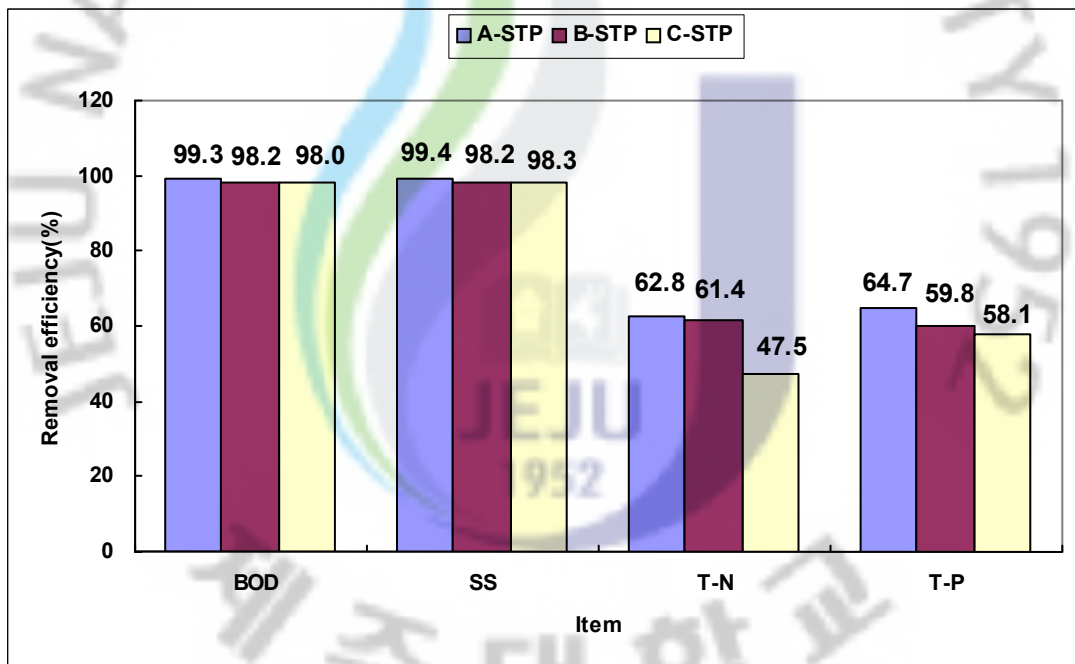


Fig. 33. The removal efficiency classified by treatment processes

## V. 결론

제주지역 골프장에 하수처리를 위하여 시설되어있는 개인하수처리시설 중 T-N, T-P 제거를 위한 고도처리공정이 도입된 1개소와 재래식공정이 도입된 2개소를 선정 2009년 5월~2009년 8월까지 방류수 수질특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내외 하수와 골프장 하수의 수질 특성을 비교 분석한 결과 골프장의 평균 BOD, T-N, T-P의 경우 각각 95.7 mg/L, 22.3 mg/L, 3.1 mg/L로 국내 합류식 하수관거의 수질과 비슷한 농도를 나타내었고, 특히 BOD의 경우는 미국, 유럽의 선진국보다는 50% 수준의 농도로 낮게 발생되고 있었고, 제주시 지역의 하수종말처리장 유입수의 평균 BOD 172.43 mg/L 보다도 50~60% 수준의 농도로 발생되고 있어 C : N : P비를 볼 때 영양염류 제거 면에서 불리한 조건으로 나타났다.

2. 골프장 내장객수에 따른 수질 변동특성을 살펴보면 내장객수가 증가할수록 하수발생량 및 BOD, T-N농도는 증가하는 것으로 나타났으며 SS 및 T-P의 경우는 미미한 농도 변화를 보였다. 또한 내장객수가 적은 경우 내장객 1인당 하수 발생량은 367 L/인·일 이상으로 높은 것을 알 수 있었다.

3. 숙박시설이 있는 골프장의 경우 원단위 산정을 한 결과 BOD는 56.0g/인·d~123.0g/인·d의 범위를 나타내었고, T-N은 16.2g/인·d~30.9 /인·d, T-P 는 2.2g/인·d~3.1g/인·d의 범위를 나타내었으며 BOD평균 원단위는 87.8g/인·d, T-N의 평균원단위는 20.7g/인·d, T-P의 평균 원단위는 2.6g/인·d로 BOD, T-N, T-P의 전국 발생원단위 가중평균치 58.0g/인·d, 16.0g/인·d, 1.6g/인·d (박명술, 2004)보다 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

4. 연구대상 개인하수처리시설 유입하수의 수질은 A-STP에서 평균 BOD 165.4 mg/L로 가장 높았고, B-STP에서 평균 BOD 53.9 mg/L로 가장 낮았다. C-STP의 유입수질 평균 BOD 67.9 mg/L로 나타났다. 유입수질의 SS 농도는 A-STP에서 평균 163.3 mg/L로 가장 높았고, B-STP에서 평균 55.9 mg/L로 가장 낮았으며, C-STP의 평균 SS농도는 98.7 mg/L로 나타났다. 이는 A-STP의 골프장의 내장객수가 가장 많았고, 또한 숙박시설에 의한 체류형 이용객들로 인한 것으로 판단되었고, 또한 B-STP와 C-STP에서 처리시설로 유입되기 전에 설치된 부패조에서 유기물의 일부가 분해되고, 부유물의 일부가 침전되어 처리시설로 유입되었기 때문인 것으로 조사되었다. 그리고 T-N, T-P의 경우 연구대상 처리시설 모두 2012년 적용될 방류수 기준치 T-N 20 mg/L, T-P 2 mg/L를 초과하여 유입되고 있는 것으로 조사되어 질소 및 인제거가 필요한 것으로 조사되었다.

5. 연구대상 개인하수처리시설의 방류수의 수질을 분석하여 본 결과 BOD, SS는 A-STP, B-STP, C-STP에서 모두 방류수 수질기준 5 mg/L이내인 것으로 조사되고, 제거율을 비교하여 본 결과 BOD의 평균제거율은 A-STP 99.3%, B-STP 98.2%, C-STP 98.2%로 A-STP에서 가장 높은 제거율을 나타내었고, SS의 평균 제거율은 A-STP에서 99.4%, B-STP 98.2%, C-STP 98.3%로 A-STP에서 가장 높게 나타났고, 유입하수의 유기물제거에 있어서는 고도처리공법인 Bio-NET공법과 장기폭기법, 접촉산화법에 있어 모두 안정적으로 제거가 되고 있는 것을 알 수 있었다.

5. 유입하수 중 T-N의 제거율을 비교하여 본 결과 A-STP공정에서 평균제거율 62.8%로 B-STP 61.4%, C-STP 47.5%로 보다 높게 나타났고 T-P의 제거율 역시 A-STP 공정이 평균제거율 64.7%로 B-STP 59.8%, C-STP 58.1%보다 높게 나타났다. 이는 A-STP의 Bio-NET공정의 경우 선단 무산소조를 설치한 영양소 제거 공정을 통하여 탈질소화에 의해 질소제거 효율을 높이고, NO<sub>x</sub>-N에 의한 용출 저해효과를 최소화하여 인제거 미생물이 인을 유입농도의 2~4배까지 용출 시키도록 하여 인제거 효율을 높이는 고도처리공법으로, 재래식공법이 적용

된 B-STP, C-STP 보다 제거 효율이 우수했던 것으로 나타났다.

6. 방류수 분석결과 T-N은 2012년 적용될 방류수 수질기준 T-N 20 mg/L이하로 처리가 되고 있었으나, 방류수 수질기준에 육박하는 경우도 자주 나타나, 제거율이 47.5%~61.4%로 만족할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다. T-P의 경우는 방류수 수질기준 2 mg/L를 초과하여 배출되는 경우도 나타나 T-N, T-P대하여 장래에 안정적인 처리를 위하여 효율적 운영관리 및 공정개선이 필요할 것으로 보이며 향후 고도처리공법 선정 시 T-P 제거에 주안점을 두고 공법을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

결과적으로 2012년 개인하수처리시설 방류수 수질기준이 현행보다 강화되어짐에 따라 영양염류의 제거가 반드시 필요하게 되었다. 따라서 BOD, SS 제거를 목적으로 설치된 기존 개인하수처리시설에 있어 지속적인 골프장 내장객 증가로 인한 하수발생량의 증가로 T-N, T-P의 제거는 갈수록 어려워질 것으로 판단된다. 또한 재래식 하수처리공법에서 운전자의 운전조건은 제한적이어서 영양염류 제거에 있어서 처리효율 개선을 기대하기는 힘들다. 따라서 각 공법별 처리효율에 대한 세부적인 고찰이 이루어져야 할 것이며 향후 골프장개인하수처리시설에 있어 고도처리공법의 도입은 질소, 인 제거에 있어 충분한 검토가 필요할 것으로 판단되어 졌다.

또한 정확한 원단위 산정을 위하여 클럽하우스, 콘도, 샤워장 등을 구분하여 하수 발생량 및 수질특성을 파악할 필요가 있고 질소 및 인이 존재형태를 구체적으로 분석해야 할 것으로 판단되어 졌다.



## 참 고 문 헌

- 김영규, 2000, “기존하수처리장의 분뇨투입에 의한 질소, 인의 제거에 미치는 영향”, 용인대학교자연과학연구소논문지, pp. 63~70
- 김일관, 2003, “고도처리에 따른 하수처리 효율검토에 관한 연구:서부하수처리장 고도처리 중심으로”, 영남대 환경대학원 석사학위논문, pp. 11~17
- 김정호, 2006, “A<sup>2</sup>O공정을 이용한 하,폐수의 질소인제거에 관한 연구”, 금오공과대학산업대학원 석사학위논문, pp. 13
- 민진희, 2003, “BNR공정의 무산소조에서 질산성질소에 의한 인의방출과 흡수”, 중앙대건설대학원 석사학위논문, pp. 11~14
- 박명술, 2008, “국내 하수처리시설 설계 및 운영자료 분석을 통한 효율적 하수고도처리의 기술 정책적 연구”, 건국대학교대학원 박사학위논문, p75, pp. 81~82
- 박수명, 2004, “오수처리시설 처리능력 향상에 관한 연구”, 영남대환경보건대학원 석사학위논문
- 박종환, 2007, “생물학적 하수고도처리 주요 공법별 운영특성 비교분석을 통한 공정평가 연구”, 건국대학교대학원, 박사학위논문, pp. 7~89
- 배태호, 2004, “장기폭기법을 접촉산화법으로 변경에 따른 오수처리효율의 개선 효과”, 영남대환경보건대학원 석사학위논문, pp. 35~36
- 상하수도협회, 2003, “하수처리장의 운영관리 및 고도처리기술”
- 양상현, 1991, “상하수도공학”, 동화기술, pp. 445~446
- 이영호 외, 2002, “BIO-NET 공법의 오수처리장 적용에 관한 연구”, 대한상하수도학회, 한국물환경공학회 공동추계발표학술논문집, pp. B25~B28
- 장재문, 2005, “소규모오수처리시설에 대한 문제점 및 개선방안에 관한 연구” 전북대학교환경대학원 석사학위논문, pp. 5~13
- 장효주, 2008, “개인하수처리시설의 효율적인 운영에 관한 연구”, 광운대학교 석사학위논문, pp.4~10, pp. 11~14
- 제주특별자치도, 2007, “2025년 제주광역도시계획”, pp. 191~192

- 제주특별자치도 도시계획과, 2009, “제주지역골프장현황”
- 제주특별자치도, “2008 환경백서”
- 제주특별자치도, 2009, “광역하수도정비기본계획 보고서(부록)”, pp. 6-54~6-57
- 최명수의, 2003, “합류식하수처리구역내 오수처리시설별 운영개선방안연구”, 건설교통부
- 최지용 외 1997, “지역특성별 수처리설비의 최적시스템 도출”, 한국환경정책평가연구원, pp. 124~125
- Bitton, G. Wastewater Microbiology, Wiley-Liss, Inc., 1994, pp. 47~150
- Buchan, L., 1983, Possible biological mechanism of phosphorus removal, Water Science and Technology, Vol. 15, pp. 87~103
- Burdick, C.R., Refling, D.R., and Stentel, H.D., 1982, Advanced biological treatment to achieve nutrient removal. Journal of Water Pollution Control Federation, Vol.54, No. 7, pp. 1078~1086
- Ekama. G.A., Marais, G.V.R., and Siebritz, I.P., 1984, Biological excess phosphorus removal. Water Research Commission, Pretoria, South Africa
- Gaudy, A.F. and Gaudy, E.T., 1980, Microbiology for Environmental Scientists and Engineers, McGraw-Hill Inc., New York, U.S.A
- Halling, S.B. and Jorgensen, S.E., 1993, The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater, Elsevier Science Publishers, pp. 245~252
- Lee, S.E., Kim, K.S., Ahn, J.H., and Kim, C.W., 1987, Comparison of Phosphorus removal characteristics between various biological nutrient removal processes, Water Science and Technology, Vol. 12, pp. 61~68
- Metcalf and Eddy, 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc., 3rd ed, Singapore
- Metcalf and Eddy, 2003, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc., 4th ed, Singapore

## 감사의 글

어느덧 짧지 않은 대학원 생활을 마무리하며 지난 시간들을 돌이켜보니 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 학업적 성취에 있어서의 아쉬움만이 아닌, 고마운 많은 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못했기에 더욱 그러한 것 같습니다. 제가 이렇게 성장하기까지 오랜 시간이 걸렸지만 그 세월 속에서 직·간접적으로 힘이 되고 방향을 잡아주셨던 많은 분들께 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 소중한 결실을 맺을 수 있도록 인내와 사랑으로 이끌어 주신 환경공학과 교수님들께 진심으로 감사를 드립니다. 특히 바쁘신 와중에 많은 시간을 할애 하면서 논문의 방향을 잡아 주시고, 논문이 완성되기까지 이끌어 주신 조은일 교수님께 진심으로 감사드립니다. 논문의 마지막까지 미진한 부분들을 예리하게 지적해 주시고 꼼꼼하게 심사해 주신 허목 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이기호 교수님, 이용두 교수님께 감사를 드립니다. 심사해 주신 교수님들의 채찍과 지적이 있었기에 자료를 정리하며 노트북을 켜놓고 지새웠던 밤들이 더욱 값지고 소중한 결실을 맺을 수 있었습니다. 감사합니다.

실험 과정에서 마치 자신의 일처럼 도와준 후배 오동훈, 참으로 고맙게 생각한다. 학교생활 중에 많은 추억과 보람을 함께 나누었던 학우들에게도 고마움을 전합니다. 특히 함께 입학하여 서로 연구하는데 많은 도움과 힘이 되어준 곽창암 후배, 그리고 일반대학원 백동명 선생님 그리고 바쁜 업무 중에도 많은 시간을 배려하여 주신 직장 상사 및 동료들에게 고마움과 미안함을 함께 전하고 싶습니다. 앞으로 하고자 하는 분야에서 최고가 될 수 있도록 기원하겠습니다.

### 사랑하는 가족들

이 논문이 마무리될 때까지 뒷바라지를 해 준 아내 박영미 여사에게 미안하고 고마운 마음을, 사랑하는 마음을 이 지면을 빌어 전하고 싶습니다. 사랑하는 아들 지웅이도 논문을 준비하는 동안 힘이 되고 격려가 되었습니다. 언제나 뒤에서 많은 도움을 주신 장인, 장모님, 그리고 항상 위로가 되어주는 처제들에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 삶에 많은 도움을 준 형님, 그리고 하나뿐인 여동생에게도 고마움을 전합니다. 그리고 항상 사랑으로 키워주시고 부족한 자식을 믿어주신 부모님께 감사의 말씀을 드립니다. 언제나 제 편이 되어 힘을 주시고 바르게 생각하고 행동할 수 있도록 가르쳐주신 부모님께 누가 되지 않는 아들이 되기 위해 더욱 성장하도록 노력 하겠습니다.