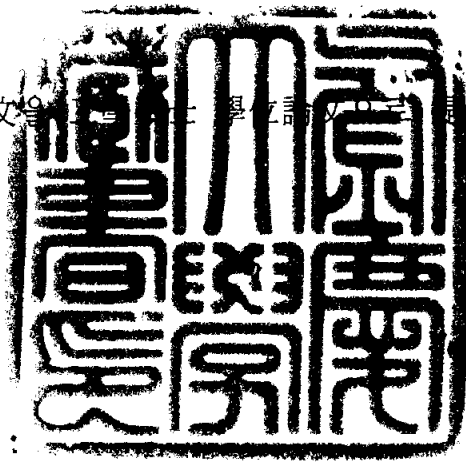


工學碩士 學位論文

메디아가 포함된 연속유입식 SBR
공정에 의한 고도 하수 처리

指導教授 李 柄 憲

이 論文을 爲한 工學 碩士 學位 論文 出 發 出 發



2003年 8月




釜慶大學校 大學院

環境工學科

曹 允 植

曹允植의 工學碩士學位를 認准함

2003年6月26日

主	審	工學博士	李錫謀	
委	員	工學博士	李柄憲	
委	員	工學博士	姜壬錫	

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	v
제1장 서론	1
제2장 문헌연구	3
2.1 생물학적 영양염류 제거	3
2.1.1 생물학적 질소 제거	3
2.1.2 생물학적 인 제거	11
2.2 SBR 공법의 비교	13
2.2.1 KIDEA	13
2.2.2 PSBR	13
2.2.3 BioGest-SBR	14
2.2.4 OMNIFLO SBR	14
2.2.5 CBT SBR	15
2.2.6 Oxi-Sequencer	15
2.2.7 AquaSBR	16
2.2.8 AquaMSBR	16
2.2.9 CASS	16
2.2.10 SBR 공법의 비교	17
제3장 실험장치 및 실험방법	20
3.1 실험장치	20
3.2 실험방법	22
3.2.1 시료의 조성	22
3.2.2 실험방법	22
3.3 분석방법	24
3.4 매디아 특성	25
3.5 자동제어 구성	26
3.5.1 하드웨어	26
3.5.2 소프트웨어	27

제4장 결과 및 고찰	30
4.1 연속유입식 SBR의 수질특성	30
4.1.1 운전기간중의 SBR 반응조 내 MLSS 변화	30
4.1.2 운전조건에 따른 유기물질 제거 특성	32
4.1.3 운전조건에 따른 총질소 제거 특성	33
4.1.4 운전조건에 따른 암모니아성 질소 제거 특성	34
4.1.5 운전조건에 따른 총인 제거 특성	35
4.1.6 운전조건별 처리수의 제거효율 비교	36
4.2 각 운전조건 변화에 따른 반응조 내 수질 변화 특성	37
4.2.1 초기 30분 무산소 구간 유무에 따른 처리수질 비교	37
4.2.2 침전시 유입 및 반송 유무에 따른 처리수질 비교	40
4.3 매디아 충전율별 실험결과	44
4.3.1 매디아 충전율에 따른 유기물질 제거 특성	45
4.3.2 매디아 충전율에 따른 총질소 제거 특성	46
4.3.3 매디아 충전율에 따른 총인 제거 특성	47
4.3.4 매디아 충전율별 성분 거동	48
4.4 원격 모니터링 시스템	51
제5장 결론	55
참고문헌	56

List of Tables

Table 2.1 Comparison of SBR system (1/3)	17
Table 2.1 Comparison of SBR system (2/3)	18
Table 2.1 Comparison of SBR system (3/3)	19
Table 3.1 Composition of synthetic wastewater	22
Table 3.2 Analytical item and methods	24
Table 3.3 Media specification	25
Table 4.1 Average removal efficiencies of operating conditions	36
Table 4.2 Variation of operating condition in settle time	41
Table 4.3 Variation during 45min in settle time	41
Table 4.4 Analog tag of SBR system	52
Table 4.5 Digital tag of SBR system	53

List of Figures

Fig. 3.1 Schematic diagram of continuous inflow SBR process	20
Fig. 3.2 Operating condition of continuous inflow SBR process(Phase1) 22	
Fig. 3.3 Operating condition of continuous inflow SBR process(Phase2) 23	
Fig. 3.4 Operating condition of continuous inflow SBR process(Phase3) 23	
Fig. 3.5 Control system	26
Fig. 3.6 SBR automatic control system	27
Fig. 3.7 SBR operating condition set up page	28
Fig. 3.8 Stand-Alone system	29
Fig. 4.1 Variation of MLSS during operating periods	30
Fig. 4.2 Variation of COD _{Cr} during operating periods	32
Fig. 4.3 Removal efficiency COD _{Cr} during operating periods	32
Fig. 4.4 Variation of TN during operating periods	33
Fig. 4.5 Removal efficiency TN during operating periods	33
Fig. 4.6 Variation of NH ₄ ⁺ -N during operating periods	34
Fig. 4.7 Removal efficiency NH ₄ ⁺ -N during operating periods	34
Fig. 4.8 Variation of TP during operating periods	35
Fig. 4.9 Removal efficiency TP during operating periods	35
Fig. 4.10 Variation of PO ₄ ³⁻ -P concentration in initial 30min(R1)	38
Fig. 4.11 Variation of PO ₄ ³⁻ -P concentration in initial 30min(R2)	38
Fig. 4.12 Variation of NO ₃ ⁻ -N concentration in initial 30min(R2)	39
Fig. 4.13 Variation of NO ₃ ⁻ -N concentration in settle time(R2)	42
Fig. 4.14 Variation of NH ₄ ⁺ -N concentration in settle time(R2)	42
Fig. 4.15 Variation of PO ₄ ³⁻ -P concentration in settle time(R2)	43
Fig. 4.16 COD _{Cr} removal rate according to media packed rate(R2)	45
Fig. 4.17 Nitrification of TN according to media packed rate(R2)	46
Fig. 4.18 TP removal rate according to media packed rate(R2)	47
Fig. 4.19 Variation of NH ₄ ⁺ -N according to media packed rate	49
Fig. 4.20 Variation of NO ₃ ⁻ -N according to media packed rate	49
Fig. 4.21 Variation of PO ₄ ³⁻ -P according to media packed rate	50
Fig. 4.22 Variation of DO according to media packed rate	50
Fig. 4.23 SBR network system	51

Advanced Sewage Treatment by Continuous Inflow SBR with Media

Yoon-Sik Cho

*Department of Environmental Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

SBR(Sequencing batch Reactor) process has many merits in a wastewater treatment process such as the effective removal of the organics and nutrients, the smaller ground, the easier maintenance and operation. And nowadays the modified SBR is on a increasing trends for the development of automatic control system.

This study was conducted to improve the efficiency of removal rate of TN and TP in adding anoxic reactor to basic SBR process. This reactor consists of 2 reactors, anoxic reactor and basic SBR. influent water and return sludge were flowed in anoxic reactor. It takes 4 hours in a cycle.

This study was conducted with various conditions such as reactor 2 initial condition change, settle condition change, media packed rate change, etc. The average influent concentration of COD_{Cr}, TN, TP were 250mg/L, 45mg/L, 4.5mg/L.

The removal efficiency COD_{Cr} was above 90%, in all case. TN, TP were removed 80% and 82% in condition of media packed rate 20%.

And we constructed remote monitoring system on this reactor as a part of automatic control system.

제1장 서론

SBR(Sequencing Batch Reactor) 공법은 회분식 반응조를 연속적으로 운전할 수 있도록 변형한 것으로서 간헐적(intermittent) 반응조 또는 주입·배출(fill and draw) 반응조라고 부르기도 한다. 1개의 회분조에 반응조와 침전지 기능을 갖게 하여 반응과 혼합액의 침전, 상정수 배수, 슬러지 배출 공정을 단일조 내에서 시간순으로 처리하는 방식이다.

활성슬러지 공법은 20세기 초 영국에서 개발되어 현재 전 세계적으로 하수처리 및 산업 폐수 처리에 가장 널리 보급되어 사용 중인 생물학적인 하수처리공법으로서, 초기 활성슬러지 공법은 회분식(Batch type)으로 운영되었으나, 회분식 활성슬러지 공법은 그 처리효율이 우수함에도 불구하고 시스템제어를 위한 주변기기가 뒷받침되지 못함은 물론, 기계장치(산기관의 폐쇄 등) 및 유지관리의 어려움 등으로 일반 연속식 활성슬러지 공법이 널리 사용되어왔다.

실제 SBR 공법은 상당히 오래전부터 개발되어 있었으나 실용화되지 못하고 있다가 최근에 운전기술의 발달로 모든 System이 자동화됨으로써 새로이 각광받고 있다. Computer와 Microprocessor가 일반화된 현재, 포기과 슬러지 반응 등에 대한 자동제어기술의 진보로 용존산소계, ORP(산화환원전위계) 및 수위계 등의 Process monitoring에 필요한 경제적이고 신뢰성이 높은 Sensor가 개발되어, 결과적으로 개발초기에 거론되었던 SBR의 운전 결점이 해결되었고 질소, 인 제거라는 부가적인 효과도 창출되었다.

SBR을 최적화하는 공정의 특징은 적당한 산기방법, 완전한 침전, 선택적인 미생물의 환경조성(혐기 또는 호기상태) 및 영양염류의 제거조건 등을 주기적으로 제어하는 것이며, 최근의 SBR 공법의 비약적인 발전에는 각종 PLC에 MMI SYSTEM을 이용한 PC 제어 방법을 빼놓을 수 없다. 이로 말미암아 무인 자동 운전과 자동 제어 운전 및 유연한 운전 방법 등이 가능하게 되었다. 마이크로프로세서, control system, PLC, SCADA system, 자동밸브 및 산기장치 등은 회분식 운전엔 실용적이며, 실제로도 적용되어 이제는 SBR에 없어서는 안 될 부분들이다. 또한 상정수 배출장치(Decanter) 등의 기술적인 문제의 해결은 최근에서야 이루어지고 있다.

질소와 인의 동시 제거, 저렴한 건설비, 효율적인 설비 및 유지, 간편한 운전 등의 여러 가지 SBR의 장점과 자동화 운전 기술의 발달로 요즘은 갖가지 SBR의 변형 공법이 나오고 있는 추세이다. KIDEA, PSBR, BioGest, OMNIFLO, CBT, Oxi-Sequencer, AquaSBR, AquaMSBR, CASS, ICEAS, CAST, Fluidyne 등등 SBR의 FILL, REACT, SETTLE, DRAW, IDLE의 기본공정에 단점은 빼고 저마다의 장점을 추가하여 각기 다른 특징들을 가지고 있다.

본 연구는 최근의 흐름인 연속유입식 SBR 공정으로서, 이는 기존 SBR 공정의 회분식 처리 특성과 일반 활성슬러지의 연속흐름식 폐수 처리의 특징을 조합한 공정이다. 연속유입식 SBR 공정의 운전주기는 포기, 침전, 배출로 전형적 SBR 공정과 동일하나 여러 주기에서 연속적으로 폐수가 유입된다. 또한 폐수의 연속유입이 가능하므로 전형적인 SBR 공정에 비해 반응조의 처리용량을 증가시킬 수 있으며 질소와 같은 영양소 물질까지 제거될 수 있는 특징 등이 있다(Chung 2000, Yu 1997, Ouyang 1995, Schleypen 1997).

현재 자동제어는 산업의 모든 부분과 맞물려 있다고 해도 과언이 아니며, 환경부문도 또한 예외일수가 없다. 수질의 고급화를 위한 고도정수처리와 하,폐수 처리도 급진전된 자동제어기술이 빠질 수 없으며, 특히 그 중에서도 SBR 운전과 같은 경우에 자동제어는 필수 불가결한 요소이다.

본 연구는 자동제어에 의한 2단 연속유입식 SBR 공법으로서 다양한 운전 변화로 최적의 운전 방법을 찾고자 도모 하였다. 또한 유기물, 질소, 인의 제거효율을 증대시키기 위하여 미생물의 부착성이 강한 매디아(Saran-1000D)를 첨가하여 충진율 별로 비교하였으며, 현재 각광받고 있는 원격 모니터링 시스템도 본 반응조에 구축하여 운전하였다.

제2장 문헌연구

2.1 생물학적 영양염류 제거

2.1.1 생물학적 질소 제거

생물학적 질소제거를 위한 기작들은 2가지로 나뉘어진다. 첫째는 미생물이 암모니아성 질소를 동화(assimilation)하여 세포 합성으로 제거되는 부분이고, 둘째는 유입 하·폐수내의 암모니아와 유기질소등이 일정조건하에서 질산성 질소와 아질산성 질소로 변화(질산화)되어 탈질 미생물에 의해 질산성 질소를 질소가스로 변화(탈질화 과정)시키는 것이다.

(1) 생물학적 질산화 과정

Winogradsky(1891)의 고전적 실험에서 암모니아를 아질산성 질소로 전환하는 *Nitrosomonas*와 아질산성 질소를 질산성 질소로 전환하는 *Nitrobacter*가 분리되었다. Painter(1970)의 경우 *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosocycits*, *Nitrosoglea* 등의 암모니아를 산화하여 에너지를 얻는 미생물종과 아질산성 질소를 산화하는 *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*에 의해 진행된다. Painter(1970)는 아질산성 질소와 질산성 질소를 생산 할수 있는 수많은 종의 종속영양미생물을 밝혔다. Eylar와 Schmidt(1959)의 연구에 의하면 토양으로부터 1000종류의 종속영양미생을 분리할 수 있으나, 이들 중 질산화 능력을 가지고 있는 미생물은 약 15% 정도이다.

Focht와 Chang(1975)은 종속영양성의 질산화는 bacteria, fungi, *actinomyccetes*등의 여러종류의 미생물에 의해서도 진행될수 있다고 지적하였으나 독립영양성 질산화율이 종속영양성보다 10배정도 크기 때문에 종속영양미생물에 의한 질산화율의 정도는 의문이다. 종속영양성 질산화는 일반적인 자연환경에서 alkalinity나 pH에 더 영향을 받는다. Bock 등(1988)은 유기물 기질로 acetate, pyruvate, glucerine을 이용하여 *Nitrobacter*의 성장능력을 보고한 바 있는데 이들은 호기/혐기 조건에서 아질산성 질소가 *Nitrobacter*의 성장을 제한한다고 밝혔으나 폐수처리에 있어서 이것은 더 많은 연구가 필요하다.

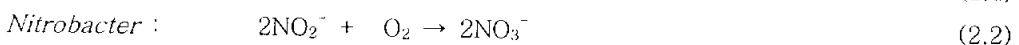
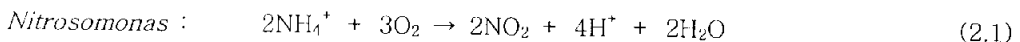
가) 생물학적 질산화의 원리

ㄱ) 미생물

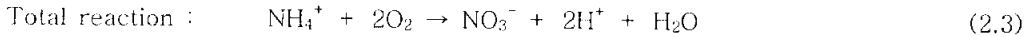
Nitrosomonas, 예를 들어 *europaea*, *N. oligocarbogenes*가 암모니아를 hydroxil-amine(NH_2OH)를 거쳐 아질산염(nitrite)으로 산화시킨다. 다른 종류의 암모니아 세균으로는 *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*가 있다(Focht and Verstrate, 1977).

ㄴ) 산화와 합성

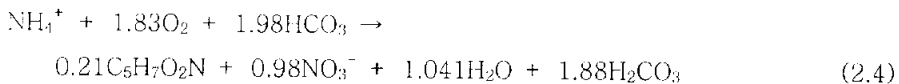
암모니아가 질산성 질소로 전환 될 때의 에너지 생성은 다음 식으로 표시된다.



암모니아 산화와 관련된 표준자유에너지 방출은 암모니아 1 mol당 66~84 kcal이며 아질산염 산화는 17.5 kcal로 측정되어 진다 (Painter, 1970). *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter* 는 이들 반응에서 생산된 에너지를 세포성장과 유지에 이용한다. 만약 세포 생산량이 방출된 에너지와 비례한다면 아질산염을 질산염으로 산화시키는 것보다 암모니아를 아질산염으로 산화 시키는 것이 더 많은 생물량을 형성시킨다. 총괄적인 에너지 반응은 식(2.3)과 같다.



앞의 식에서, 암모니아의 완전한 산화를 위해 요구되는 산소량은 4.57 g/g-N oxidized 이고, 이 중 아질산염 생산을 위해 3.43 g/g과 질산염 생산을 위해 1.14 g/g이 각각 사용되어 진다. 이산화탄소와 질소를 세포량으로 고정시키는데 얻어지는 산소에 의한 산화에 더하여 합성까지 고려하면 요구되는 산소의 양은 4.57 g/g-N보다 적다. Wezernak과 Gannon(1967)은 실제적인 총산소 소비는 암모니아 산화를 위해 사용되는 3.22 g/g-N과 아질산염 산화를 위해 사용되는 1.11 g/g-N을 포함, 4.33 g/g-N이었다는 것을 알아냈다. 미국 EPA에서 발행된 Nitrogen Control Manual(1975)의 아래 식은 합성과 산화를 동시에 설명하고 4.2 g/g-N의 산소요구량을 나타낸다. 이 식은 0.15 gVSS/g NH_4^+ -N oxidized와 0.02 gVSS/g NO_2^- -N oxidized 의 세포생산계수를 사용하여 세워졌다.



식 (2.4)는 암모니아가 산화되는 동안 많은 양의 alkalinity가 소모되는 것을 보여준다. 단위 mgNH_4^+ -N이 산화될 때 약 7.14 mg/L(as CaCO_3)의 alkalinity가 소모되는 것으로 알려져 있다. 도시하수의 유입수에 암모니아 농도가 25 mg/L이며, 모두 산화된다면 유출수 alkalinity를 80 mg/L(as CaCO_3)로 유지하기 위해서는 260 mg/L의 alkalinity가 필요하다.

ㄷ) 생물학적 질산화 kinetics

질산화 시스템의 설계방법은 적정 SRT를 유지하기 위한 포기조 용량을 산정하는 것이며, 중요한 운전조건인 온도, 용존산소, pH 등을 감안하여 한다. 설계 SRT는 Monod의 증식속도와 최대 암모니아 부하를 수용할 수 있는 안전 계수를 곱하여 구한다. 동력학적 모델과 실험실에서 연구를 토대로 Poduska(1973)은 유출수의 암모니아 농도를 설계치 혹은 그 이하로 유지하기 위한 안전계수는 최대농도/평균농도로 제안하였다.

$$\text{SRT}_d = S_F \times (\text{SRT}) \quad (2.5)$$

$$V = [Y_{\text{NH}}(S_o - S) + X_i + Y_{\text{NH}}(\text{NO}_x)]Q(\text{SRT}_d)/X \quad (2.6)$$

식 (2.6)은 SRT가 포기조의용량을 산정하는 여러 가지 인자중의 하나임을 보여준다. 포기조내의 MLSS의 농도는 결정적인 인자이며, 슬러지의 침전성과 침전조의 설계에 영향을 받는다(Metcalf and Eddy, 1991). BOD나 유입 SS농도로 표현되는 폐수의 성장도 매우 중요하다. SRT는 질산화 미생물의 비증식 속도의 역수로 계산할 수 있다.

$$SRT = \frac{1}{(\mu_n - K_{nd})} \quad (2.7)$$

실험에 의한 순비증식율은 내생호흡을 고려하지 않거나 중요한 인자로 간주하지않고 계산되었다. 내생호흡 계수를 실제적으로 계측하기 어려우므로 무시되고 Monod식에 산정된 비증식율의 역수로 SRT를 구할 수 있다.

$$\mu_n = \frac{(\mu_{n,max})N}{K_n + N} \quad (2.8)$$

반응조내의 암모니아성 질소의 농도를 낮게 유지해야 할 경우 식 (2.7)과 (2.8)에서의 비증식율은 낮아지고 상대적으로 SRT는 길어지게 된다. 생물학적 질산화 과정에서 *Nitrobacter*에 의한 아질산의 산화율이 *Nitrosomonas*에 의한 암모니아 산화율 보다 크기 때문에 아질산의 농도는 암모니아의 농도에 비해 낮다.

나) 생물학적 질산화에 미치는 영향

1) pH

낮은 pH에서 순치된 미생물은 이전의 최대 증식율을 극복할 수 있다(Stankewich, 1972; Haug and McCarty, 1972). Hall(1974)은 pH 7.0~9.4의 범위에서는 완전한 질산화가 일어나고, 6.3이하에서는 전혀 질산화가 일어나지 않음을 보고하였다. pH 7.2이하의 범위에서는 비증식율에 대한 다음과 같은 식이 EPA에 의해 제한된다.

$$\mu_{n,pH} = (\mu_{n,7.2})[1 - 0.833^{(7.2-pH)}] \quad (2.9)$$

University of capetown(1984)에서 제안된 식은 다음과 같다.

$$\mu_{n,pH} = (\mu_{n,7.2})(2.35)^{pH-7.2} \quad (2.10)$$

두 식에서 pH 6.5에서의 질산화율은 pH 7.2의 42%와 55%로 감소한다. pH 6.5에서의 *Nitrobacter*의 질산화율은 pH 7.5의 60%정도이다(Blum, 1991). 최근의 연구에서는 순치되지않는 미생물을 이용한 연구에서 20℃, pH 6.9일 경우 질산화율은 pH 7.0에서의 84% 정도인 것으로 보고되었다(Antoniou, 1990). 15℃에서의 pH 6.8의 질산화율은 pH 7.8의

42%인 것으로 밝혀졌으며, 낮은 온도에서는 pH의 영향이 큰 것으로 밝혀졌다. 순치된 미생물은 위에서 언급된 영향보다 pH의 영향을 덜 받는다.

ㄴ) 용존산소

Downing(1964)은 용존산소 0.3 mg/L 이상의 농도를 최소한 유지시켜야 질산화가 일어난다고 하였으며, Schoberl과 Engel(1964)의 실험에서는 1.0 mg/L이상의 농도에서는 *Nitrosomonas*에 의한 아질산화에 영향이 없었고 2.0 mg/L이상의 농도에서는 *Nitrobacter*의 질산화에 영향을 주지 않았다. 또한 1.0 mg/L의 DO농도와 25℃ ~ 35℃의 포화농도에서 *Nitrobacter winogradski*의 증식율에 대한 연구도 이루어 졌다. 1.0 mg/L의 농도에서는 20, 23.7, 29, 35℃의 포화농도 증식율의 79, 80, 70, 58%정도의 값을 나타내었다.

활성슬러지를 이용한 실험에서는 DO가 1.0 mg/L이상이면 질산화율의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Downing *et al.*, 1964; Wild *et al.*, 1971). Whurman(1963)의 연구에서는 DO농도가 4.0에서 7.0 mg/L으로 변할 때 질산화율은 변화가 없었으나, 1.0 mg/L에서는 이보다 높은 90%정도의 질산화율을 보였다. Negel과 Haworth(1969)는 DO농도가 1.0 mg/L에서 3.0 mg/L으로 높아지면 질산화율은 두배로 증가하는 것으로 보고하였다. DO의 영향을 나타내는 데는 암모니아농도와 DO농도를 함수로 하는 double Monod kinetics 식이 일반적으로 이용되고 있다.

$$\mu_n = \frac{(\mu_{n,max})N}{K_n + N} \times \frac{DO}{K_o + DO} \quad (2.11)$$

ㄷ) 온도

질산화미생물은 탄소계 종속영양 미생물에 비해 활성이 약하며, 특히 몇몇 중금속 및 합성유기화학물질에 민감하다. 독성물질이 질산화미생물에 미치는 영향에 대한 평가는 특정 독성물질이 존재하는 조건과 농도 및 미생물과의 접촉시간이 매우 중요하다.

온도에 따른 질산화의 속도는 온도가 증가할수록 빨라지는 경향을 일반적으로 나타낸다. 많은 연구자들이 온도에 의한 $\mu_{n,max}$ 를 산정하기 위하여 실험을 수행하였다. 다른 인자들로는 교반정도, 미생물의 플러크기, pH, 용존산소의 농도 등이다. Downing 등(1964)에 의해 연구된 값들은 테임즈강에서 얻어진 순수 미생물을 이용하여 조사한 값들이다. 미국 EPA의 Nitrogen Control manual(1975)에서는 20℃의 비증식율은 0.3 ~ 0.5 d⁻¹의 범위로 제안하고 있다.

질산화미생물의 반포화 상수(K_n)는 일반적인 종속영양미생물의 반포화 상수보다 낮은 것으로 알려져 있다. Knowles 등(1965)은 온도와 K_n 의 관계식을 다음과 같이 제안하고 있다.

$$K_n = 10^{0.051T - 1.148} \quad (2.12)$$

이 식을 이용하면 10℃, 15℃, 20℃에서의 K_n 은 0.23, 0.41, 0.74 mg/L라고 보고하였다.

ㄹ) 질산화작용의 방해

아질산염 산화가 자유 암모니아농도 0.1~1.0 mg/L에서 방해를 받으며, 암모니아 산화는 자유암모니아 농도 5~20.0 mg/L에서 억제된다. 낮은 pH에서 암모니아의 아질산염으로의 산화는 아질산염의 질산염으로의 산화보다 더 많이 방해를 받는다.

ㄱ) COD/TN비

하수에 있어서 우리나라의 경우는 유기물에 비해 TN농도가 비교적 높아 COD/TN비를 낮게 하고 있어 질소 제거율이 외국의 경우보다 상당히 낮다. BOD₅/TKN비율이 증가함에 따라 질산화 세균은 감소한다. 탄소산화와 질산화 작용의 복합공정에서 이 비율은 5보다 큰 데 단계분리 질산화 공정에서는 3보다 작다(Metcalf and Eddy,1991).

(2) 생물학적 탈질

가) 생물학적 탈질의 원리

생물학적인 질산의 환원은 두 개의 모드를 가지는데, 동화는 세포합성을 위해 질산을 암모니아로 환원하는 것이며 DO와는 관련없이 일어나며 사용가능한 암모니아가 존재하지 않을 때 일어난다. 반면에 이화는 호흡의 전자 체인과 관련이 있으며, $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ 의 순서를 따른다. 탈질과정은 산소가 없는 혐기성 조건에서 진행되며 유기물 혹은 유기전자공여체가 필요하다. 그러나, 용존산소가 존재할 경우에는 박테리아가 이용하는 전자수용체는 에너지(APT) 생성이 높은 산소를 이용하게 되므로 탈질반응이 크게 저해된다.

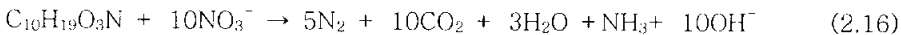
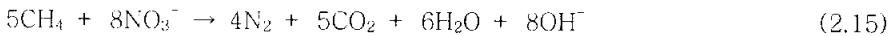
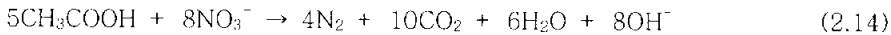
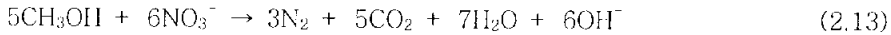
ㄱ) 미생물

탈질은 1800년대 토양에서 질소성분이 빠져나가는 것을 설명하기 위해 관심을 끌기 시작했다. 1976년에 Meusel은 토양과 수중에서 질산이 감소하는 것을 미생물 때문이라고 주장하였으며, 1882년에 Gayon과 Dupeit는 혐기성조건에서 가스가 발생하는 것을 설명하기 위해 탈질이라는 말을 쓰기 시작했다. 탈질에 관여하는 미생물은 많은 종이 있으나 fungi나 algae는 탈질능이 없다. 탈질은 종속영양이나 독립영양 미생물에 의해 일어날 수 있다. 종속영양 미생물로는 *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alicalicogenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Hypobacterium*, *Rhodopseudomonas*, *Spirillum*, *Vibrio* 등이 있으며, 이들 중 대부분은 질산 뿐 만 아니라 산소도 이용할 수 있으며, 질산과 산소가 없을 경우 발효를 일으킬 수 있다. 독립영양미생물은 탄소원으로 유기탄소 대신 이산화탄소나 중탄산염을 이용한다. *Paracoccus denitrifier*와 *Thiobacillus denitrificans*는 각각 수소와 황화물을 전자공여체로 이용한다. 유기 탄소원이 존재한다면 이들 둘은 종속 영양성으로 바뀔 수 있다.

*Hyphomicrobium*은 특이한 구조와 복제능력으로 유명하다. 이들은 수면 아래에 부착되어서 관형의 prosthesis를 뻗어 받아들인다. 이들은 탄소원으로 탄산, 중탄산, 알콜을 이용한다.

ㄴ) 산화-환원 반응

탈질반응조의 설계에 관여하는 인자는 산화질소를 소모시키는데 필요한 기질의 양과 탈질율이다. 산화-환원 평가와 미생물 증식계수가 필요한 기질의 양을 결정하는 데 필요하다. 폐수처리에 탈질을 위한 기질로 사용되는 물질의 산화-환원 반응을 다음과 같이 나타내었다.



위의 식은 중속영양 탈질과정이며, 단위 mg의 질산성 질소가 환원될 때 3.57 mg/L의 alkalinity가 생성된다. BOD/NO₃-N의 비는 4.0이며, 메탄올이 슬러지 생산량과 비용면에서 외부탄소원으로 가장 적합하다. 질산성 질소를 제거하기 위한 메탄올의 요구량은 다음과 같다.

$$M = 2.47(\text{No}) + 1.53\text{Ni} + 0.87\text{DO}_n \quad (2.17)$$

위 식을 이용하여 계산한 COD요구량은 3.71이며 Stensel 등(1973)은 실험실에서 3.45의 값을 얻었으며, 이것은 SRT에 영향을 받는 것으로 나타났다. SRT가 길어지면 순 세포 생산은 감소하고 단위 질산성 질소를 환원하기 위하여 필요한 COD의 양도 감소한다. COD/N 비는 소모된 COD는 세포합성과 에너지 생산에 사용되었다고 가정하며 다음 식에 의해 산정한다.

$$\text{COD} = \text{COD}_{\text{sy}} + \text{COD}_{\text{E}} \quad (2.18)$$

$$\text{COD}_{\text{E}} = 2.86\text{N}_{\text{E}} \quad (2.19)$$

$$\text{COD}_{\text{sy}} = 1.42\text{m} \quad (2.20)$$

순 증식계수 Y_n과 COD의 곱은 VSS생산량이며

$$m = Y_n\text{COD} \quad (2.21)$$

Y_n은 합성계수와 내생호흡계수 SRT와의 함수이다.

$$Y_n = \frac{Y}{1 + K_d SRT} \quad (2.22)$$

식 (2.18)과 식 (2.21)를 합하면

$$COD = 1.42(Y_n)COD + 2.86N_E \quad (2.23)$$

COD/N으로 에너지 생산을 위한 산화-환원 반응에 사용된 COD와 세포합성에 사용된 COD 양을 산출할 수 있다. VSS에 10%의 질소가 함유되어 있다고 가정하면 COD/N비는 다음과 같다.

$$COD/N = COD/(N_E + N_{sy}) \quad (2.24)$$

$$COD/N = COD/(N_E + 0.10Y_n COD) \quad (2.25)$$

식 (2.23)의 N_E 를 식 (2.25)에 대입하면 탈질에 필요한 COD/N비를 구할 수 있다.

$$\frac{COD}{N} = \frac{2.86}{-1.134Y_n} \quad (2.26)$$

나) 생물학적 탈질에 미치는 영향

ㄱ) pH

탈질이 진행되는 동안 alkalinity는 생성되고 pH가 서서히 올라가게 된다. 질산화 미생물과는 달리 질산화율에 대한 pH의 영향은 적은 것으로 보이며, 최적 pH는 7.0정도이다. pH 6.0과 8.0에서의 탈질율은 pH 7.0에서의 50% 정도이다. pH를 7.0에서 4.0, 8.0에서 9.5로 변화시켰을 때 비례적으로 탈질률은 감소하고 중성에서 알칼리성의 pH조건에서 N_2O 가 질소가스로의 전환이 잘되는 것으로 나타났다.

ㄴ) DO

도시하수 처리에서 DO가 0.2 mg/L이상일 때 *Pseudomonas*의 탈질은 억제된다(Skerman *et al.* 1957). 생물학적 탈질에서 DO농도문제는 액체의 DO농도가 실제 미생물 플럭의 DO농도를 나타내지 않는다는 것이다. DO가 0인 상태나 무산소 조건에 있는 미생물의 분율은 액체의 DO농도, 플럭의 크기 산소 호흡율에 영향을 주는 유기물이나 암모니아 부하에 의해 좌우된다. 4-channel 산화기에서는 0.3 ~ 0.8 mg/L, 활성슬러지공법에서는 0.5 mg/L,

batch test에서는 0.3 ~ 0.5 mg/L 정도의 DO 농도에서 탈질이 관찰되었다. DO는 탈질을 억제할 뿐 만 아니라 탈질율에도 영향을 끼친다. DO 농도가 0.2 mg/L 일 때 탈질율은 0일 때의 약 절반 정도이며 해수의 영향에 있어서도 마찬가지이다. 2.0 mg/L 까지 농도가 올라가면 탈질율은 10% 정도 떨어진다. Batchelor (1982)는 DO가 탈질율을 억제하는 것을 감안하여 Multiple Monod Kinetic Model을 이용하였고, IAWPRC에서도 무산소조건에서의 미생물 증식을 산정하기 위한 모델에서도 이것을 이용하였다. Batchelor(1982)는 속도상수 K_0 를 0.25 mg/L로 IAWPRC에서는 0.10 mg/L로 하였다.

$$R_{\text{N}} = \mu_m (E_{\text{DN}})(X_{\text{H}}) \times \frac{S}{K_s + S} \times \frac{K_0}{K_0 + O} \times \frac{\text{NO}}{\text{NO}_s + \text{NO}} \quad (2.41)$$

생물학적 질소 제거 공법의 대부분은 미생물을 호기조건과 무산소조건으로 번갈아 반응시킨다. 실제나 운전에 있어서 가장 중요한 것은 탈질미생물의 질산 환원효소의 비활성화와 비활성화에 필요한 시간이다. 이에 대한 자료는 별로 없는 편이다. Nelson과 Knowles(1978)는 *Azospirillum*이 질소 제거를 위한 시간은 2시간 이상 필요하다고 밝힌 바 있으며, Payne(1981)와 Rayne(1969)은 호기성 조건에서 성장한 미생물이 무산소 조건에서 최대 활성을 가지기 위해서는 40분이 필요하다고 밝혔다. 모든 미생물이 호기호흡에서 질산 환원 호흡으로 바뀌지 않으며, 무산소 조건에서도 호기호흡의 능력을 갖고 있는 것으로 나타났다. 탈질효소가 생산되면 무산소 조건이 끝난 이후에도 그들의 기능을 어느 정도 가지고 있다. NO는 DO의 영향을 막아주는 것으로 파악된다.

ㄷ) 유기물질

탈질화 세균은 탈질화 작용을 수행하기 위해 전자공여체를 가져야만 한다. 전자공여체는 여러 가지 이용될 수 있는데 아세트산, 구연산, 메탄올 같은 순수 화합물, 미처리 생활하수, 식품산업 폐기물(양조 폐기물, 당밀)과 슬러지 등이 포함된다. 선호하는 전자공여체는 약간 비싸지만 메탄올이 탈질을 일으키는 좋은 탄소원이 되며 약 60%의 메탄올 함유하는 biogas도 탈질화의 유일 탄소원으로 이용될 수 있다. 메탄올 이용 세균들이 메탄올로 사용되기 때문에 메탄이 탈질화의 탄소원이 이용될 수 있다는 것이 오래전부터 알려져 왔다 (Harremoës and Christensen, 1971).

2.1.2 생물학적 인 제거

(1) 생물학적 인 제거의 개념

아세테이트는 세포내에 poly- β -hydroxybutyrate(PHB)의 형태로 저장되고 호기지역에 도달하면 PHB는 대사되어 orthophosphate를 섭취하기 위한 에너지원으로 사용된다. 활성 슬러지의 세포내 인은 1.5~2.0%로서 동화에 의한 인 제거율은 도시하수의 경우 10~30%에 불과하다. 그러나, 인을 함유한 폐수의 혐기조건과 호기조건을 부여하면 인을 과잉 섭취하는 미생물이 선별되어 혐기조건에서는 슬러지 내의 인을 용출시키고, 호기조건에서는 인을 과잉 섭취하게 된다. 이렇게 생성된 슬러지의 인 함유량은 3~8%까지 이르며, 인 제거율을 90% 이상까지 얻을 수 있다. 활성슬러지의 인 과잉 축적현상이 생물학적 기작에 기인하고 있다는 것을 최초로 밝힌 것은 Levin와 Shapiro(1965)에 의해서였다. Fuhs와 Chen(1975)은 *Acinetobacte*가 영양분으로서 acetate같은 단쇄지방산(short chain fatty acids, SCFAs)이 존재할때, 세포내로 인을 과잉섭취하는 미생물임을 확인했다. Osborn와 Nicholls(1978)은 *Acinetobacter*가 선택적으로 아세테이트를 세포내로 섭취하고 저장된 다중인산염을 에너지원으로 사용해서 phosphate를 액체상으로 방출하는데 Barnard에 의해 제안된 nitrate가 없는 혐기성 단계가 필요하다고 하였다.

(2) 인 제거 모델

Comeau 등(1986)은 *Acinetobacter*에 의한 생물학적 인제거에 대한 종합적인 모델을 최초로 제안하였는데 혐기성 조건에서는 세포내 축적된 poly-P의 가수분해 결과 생성된 에너지를 공급받아 용액중 acetate와 H⁺과 함께 세포막을 통과하여 acetate는 acetyl-CoA로 전환되는 것으로 나타났다. 이 과정에서 미생물 체내의 금속이온과 ortho-P가 방출되며, acetyl-CoA는 TCA cycle에서 생성된 NADH를 공급받아 저장성 유기물인 PHB로 전환된다. 그리고 호기성 조건에서 저장된 PHB의 산화로 양성자 구동력을 갖게 되고, 이러한 구동력이 용액 중 양이온인 금속이온과 ortho-P의 세포내 섭취와 poly-P축적이 가능하게 된다는 것이다. 그 후 Comeau 모델은 Wentzel과 Mino에 의해 수정 보완되었다. Wentzel 모델(1992)은 ATP/ADP비와 NADH/NAD비가 poly-P와 PHB의 합성과 분해를 조절하며, 전자수용체의 결핍으로 인한 혐기조건에서 NADH/NAD비의 증가가 산화적 인산화 반응을 억제하여 ATP/ADP비의 감소를 초래한다고 하였다. 호기조건에서 PHB의 분해는 세포의 에너지를 공급하고, 그 결과 증가된 ATP/ADP비는 poly-P 합성에 이용된다.

Mino 모델(1987)은 혐기성상태에서 glycogen의 분해와 acetate가 PHB로 저장되면서 인을 방출하며, 이때 2 mol이 acetate로부터 1 mol의 인이 방출하게 된다. 후속되는 호기성 상태에서 기작은 Wentzel의 모델에서와 비슷하지만 PHB로부터 탄수화물이 다시 생산되어야만 계속되는 다음 혐기성 단계에서 반응을 진행할 수 있다는 점이 다르다. Mino 모델은 *Acinetobacter*가 EMP 경로를 거칠 수 없다는 사실에도 불구하고 혐기성 상태에서 EMP 경로가 필요하게 되는 모순점이 있다. 따라서, 이러한 모순을 해결하기 위해 EMP 경로가

아닌 Enter-Doudorff(ED) 경로를 거친다는 가정하에 변형된 Mino 모델이 Mino와 Arun (1989)에 의해 제안되었다.

상기와 같이 인 제거의 경로에 대해서는 확실한 이론이 정립되지 못하고 여러 가지 이론이 대립되어 있는 실정이다. *Acinetobacter*가 중요한 역할을 하고, 혐기성 상태에서 유기물의 PIIB로 저장과 poly-P가 ortho-P로 전환되어 방출되면, 후속되는 호기성 상태에서 축적된 유기물의 산화반응이 진행되면서 인을 과잉 섭취한다는 기본원리는 일치한다.

(3) 생물학적 인 제거에 미치는 영향인자

생물학적 인 제거에는 pH, 온도, 유입기질의 종류, SRT와 방해물질의 존재 등이 영향을 미친다. 혐기조건에서 질산염 존재는 redox potential을 증가시키고, 혐기 stress를 감소시켜 인 방출을 저해하는 것으로 알려져 있다. 혐기조건에 1 g의 질산염은 인 제거에 필요한 유기물을 5g정도 감소시키는 것으로 알려져 있다(Randall *et al.*, 1992). Wentzel 등(1986)과 Comeau 등(1986)은 혐기조건으로 유입된 질산염이 최종 전자수용체로 작용하여 발효반응을 제한하기 때문에 acetate와 같은 VFA 물질이 형성을 방해한다고 하였다.

Levin과 Shapiro(1965)는 효과적인 인 방출과 섭취를 위한 pH는 7~8이라고 하였으며, Tracy와 Flammino(1987)는 호기조건에서 인 섭취에 대한 미생물의 활동은 pH 6.5~7.0에서 거의 영향을 받지 않는다고 보고하였다. Groenetiijn과 Deinema(1992)의 순수배양 실험 결과 pH 7.5~8.0에서 효과적인 인 제거가 이루어졌으며, *Acinetobacter*의 최대 비성장율은 pH 7.0에서보다 pH 8.5에서 42%정도 상승하였다고 하였다.

이러한 결과를 종합해 볼 때, 효과적인 인 제거를 위한 적정 pH는 7~8이라는 사실을 알 수 있다. 생물학적 영양염 제거공정은 폐수의 특성에 크게 영향을 받으며(Ekama *et al.*, 1983; Siebritz *et al.*, 1983; Ekama and Marais, 1984), 생물학적 분해 가능한 유기물의 존재가 필수적이다. Ekama와 Marais (1983)는 1 mg/L의 인이 제거되는데 50~59 mg/L의 COD가 소비된다고 하였으며, Randall (1992)등은 50 mg/L의 COD가 소비된다고 보고하였다. 혐기조건에서 이용되는 유기물의 종류에 따라 생물학적 인 제거 효율에 영향을 받는다. Abu-Ghararah와 Randall(1991)은 생물학적 인 제거에 acetate가 가장 효과적이라고 보고하였으며, Tam 등(1994)은 SBR 시스템에서 sodium acetate와 methanol 및 glucose가 인 제거에 미치는 영향을 조사한 결과 sodium acetate가 가장 높은 인 제거율을 나타내었다고 보고하였으며, Potgieter과 Evans(1993)는 acetate가 glucose보다 인 방출에 효과적이라고 하였는데, 이는 acetate는 전처리 없이도 세포에 의해 활용되는 반면, glucose는 세포에 활용되기 전에 이용 가능한 형태로 발효되어야함을 의미한다.

2.2 SBR 공법의 비교

2.2.1 KIDEA (간헐 방류식 장기 포기 공정,

Kumho & KIST Intermittently Decanted Extended Aeration)

SBR 공법과 유사하나 하수가 연속적으로 유입되는 상태에서 포기, 침전, 처리수 배출의 3단계 과정을 하나의 Cycle로 하여 무산소, 혐기성 상태에서 호기성 상태로 미생물들이 작용하는데 소요되는 Lag-Time을 이용하여 질소 및 인을 제거한다.

이 공법은 (주)금호산업과 KIST가 1995년 과학기술부 엔지니어링 핵심공통기반기술 개발사업에 참여하여 호주 NSW주의 공공기관인 DPWS에서 개발되어 실 가동되고 있는 처리 공정을 국내에 맞게 개량한 기술이다. 전 공정의 운전자동화 및 각종 장치류의 국산화와 기존의 다단계 공정을 단일 생물반응조로 축소시켰으며 유입하수의 유기물 농도가 낮고 사계절 온도변화가 심한 국내 하수성상을 고려하여 개발하였다.

특징은 단일반응조로 단순화시켰으며, 반응조 하부를 통해 연속유입되는 하수를 포기-침전-방류의 3단계, 주기적인 반복 순환을 통해 유기물의 생물학적 산화와 고형물의 분리가 이어진다.

2.2.2 PSBR(승강커튼월식 SBR, 범양 SBR, Pumyang SBR)

단일 반응조에서 유입, 혐기, 호기, 침전, 방류 및 슬러지 이송 공정이 주기적으로 이루어지며, 슬러지 계면높이에 따라 상징수 배출장치인 승강커튼월의 높이를 조절하여 상징수중에 부유물질이 월류되지 않도록 하며, 배출 예비실에서 슬러지 이송 및 잉여슬러지를 인발한 후 상징수를 배출하는 하수 고도처리기술이다.

단일반응조의 침전공정시 슬러지 계면높이에 따라 상징수 배출장치인 승강커튼월 높이를 조절하고, 배출 예비실을 이용하여 상징수를 안정적으로 배출하는 하수고도처리기술이다.

종래의 decanter는 배출범위가 고정되어 배출비의 조절이 곤란하나, PSBR은 유입수량이 증가했을때나 처리수질의 개선으로 배출비를 크게 하려 할 때 커튼월을 하강시켜 주기당 배출량의 증가가 가능하다. 이는 일일 처리용량의 증가를 의미한다.

겨울철에 슬러지 침강성이 악화되었을때 PSBR은 커튼월을 상승시켜 침전슬러지층의 높이에 대응함으로써 침강성 악화시에도 항상 안정된 배출수질과 배출비를 얻을 수 있게끔 고안되었다.

2.2.3 BioGest-SBR(선회와류식 SBR)

단일 반응조에서 유입, 부산소, 호기, 침전 및 방류 공정이 주기적으로 이루어지며, 호기조건에서는 속도가변 부유식 포기장치의 회전수를 용존산소농도와 비례 제어하여 공기를 공급하고 부산소 조건에서는 교반만을 실시하여 하수를 고도 처리하는 기술로서, Air Vent식 배출장치를 이용하여 처리수를 원활하게 방류하는 기술이다.

속도가변 부유식 포기·교반 일체형 장치를 적용하여 하수의 질소·인을 생물학적으로 처리하는 기술로서, 터빈을 반응조 중앙에 부유시켜 용존산소계 등 센서와 연동시킨 자동화시스템이다. 반응조 내 사각지대가 없어 충분한 산소전달과 완전혼합으로 수질과 수량 변동에 강하며, 포기강도의 자동조절로 전력비 절감이 가능하다.

또한, Air Vent식 배출장치를 적용하여 처리수를 안정적으로 배출시킬 수 있다.

2.2.4 OMNIFLO SBR

미국 U.S.Filter(사)의 자회사인 Jet Tech(사)에서 개발된 SBR system으로, omniflo process piping, IDSC(Influent Distribution & Sludge Collection) Manifold, Multiflo Pump Column 및 고형물 배출 Decanter 등으로 구성되어 있다.

유량에 따른 비례제어 산기방법과 유입수질변화가 큰 경우 DO control에 의한 산기방법이 있으며, 두 가지 모두 BOD, 질소, 인 및 벌킹 현상 등의 제어에 선택적으로 적용시킬 수 있다.

한대의 펌프로 폭기, 교반, 슬러지 배출, 상징수 배출 및 aerator 역세척 등이 순차적으로 가능하도록 배관 구성되어 있으며, 대용량의 경우도 1조에 1식의 배관 세트론 운전 가능하다. 젯트 에어레이터로 물과 공기를 배관내에서 혼합하여 분출시켜 매우 높은 산소 전달효율을 가진다. 폭기와 교반의 두 가지 기능을 1개의 기기로 수행한다. Decanter는 부유형으로 flexible joint에 의해 수직으로 Decanter의 수위가 조절되고, 내부의 압축 스프링에 의해 on/off되며 교형물의 유입을 막을 수 있는 구조이다.

조의 바닥에 길이방향으로 배열된 배출장치(IDSC)를 통하여 인출되며, 조내 여러곳에서 동시에 배출이 진행되므로 슬러지 농축효율이 증가하고 있을때 인출에 따른 dead zone이 형성되지 않는다. 슬러지 반송이 필요 없이 초기 하수유입분배 및 슬러지 수집을 동일배관으로 하므로 유지관리가 쉽다.

처리유량이 적을 때는 회분식 비례제어 프로그램으로 운전하고, 평균유량 이상은 유량비례제어 프로그램으로 가동한다. Aerator의 가동율은 최소 15%, 최고 50%까지 전력소비를 줄이기 위해 가감할 수 있으며, 유량 증가시 IDSC manifold를 통한 유입과 배출이 동시에 이루어짐으로서 전체 Cycle의 처리시간을 단축시킬 수 있다.

2.2.5 C.B.T SBR(Cyclic Biological Treatment SBR)

- ICEAS(Intermittent Cycle Extended Aeration System)

C.B.T SBR 시스템은 하수가 24시간 연속적으로 유입되면서도 각기 다른 조건(부산소, 호기, 혐기)하에서 미생물의 선택적 배양을 시키면서 생물학적 처리와 고액분리를 이루어 내는 연속유입 회분식 활성슬러지 공정으로서, 기존의 SBR 공법과 간헐 장기포기법(ICEAS)의 문제점을 개선 보완한 공법이다.

CBT는 서로 유량적 관계가 있는 2개의 zone, biological selector control조와 주 반응조인 complete mix reactor로 구성되어 있으며 선택 반응조는 유입수의 완충조건 및 준산소 조건을 유지한다. 이는 CBT만의 처리기술로서 별도의 fill-ratio 설정과 anoxic/anaerobic mix조가 없어도 질소와 인을 처리할 수 있으며, 유량증가로 인한 고, 저부하, 독성물질 유입으로 인한 biomass의 충격을 완화시키며 수질의 균질화가 이루어지게 된다. IHG(Influent Housing Gate)와 ISP(Influent Stabilization Partition)이 있어 유입 유량을 균등하게 하는 저류조 역할 및 미생물 충격 부하를 줄여준다.

2.2.6 Oxi-Sequencer

2개의 SBR 운전을 기본으로 하는 슬러지 무배출 시스템이다.

첫 반응조(Bio-Separator)는 처음으로 유입되는 곳으로 혐기성 상태이며, 완속-유입간헐-배출 모드로 운전된다. 유량 조정 및 혐기성 슬러지 소화조 역할을 한다. 두 번째 반응조(Bio-Sequencer)는 급속-유입/완전 배치의 운전 모드로서 oxic SBR이다. 두개의 반응조는 모든 슬러지 생성물을 혐기적으로 소화시키고 저장하는 모든 기능을 수행하도록 상호 연결되어 있다.

하수의 물리학적, 생물학적 전 처리는 Bio-Separator(부패조)에서 이루어진다. 여기서는 슬러지의 소화, 농축 그리고 상등액의 형성이 모두 동시에 이루어져 소화가 진행됨에 따라 수면에 스크럼층을 형성하고 유기물 성분은 줄어들고 중력에 의해서 슬러지는 농축된다. 또한 유량조정 기능과 처리용량 증가의 이점도 가진다.

최종처리는 모든 처리 단계를 가진 Bio-Sequencer(반응조)로 가능하다. 이것은 통상적인 SBR 공정과 같이 시간별로 처리과정이 제어되는 방법으로 유기물의 생물학적 분해, 질산화, 탈질, 탈인, 고액분리가 동일 반응조 내에서 이루어진다. 이와 같은 운전으로 주입 모드, 바이오매스 상태, 생물학적 반응 시간, 유기물과 수리화적인 변동, 반응조의 자기유입 능력 등의 제어가 가능하다. Bio-Sequencer 자체만으로도 하수 및 폐수 처리가 가능하다.

2.2.7 AquaSBR (Aqua-Aerobic SBR)

반응조 하나로 유량 조정조, 폭기조 및 침전조의 역할을 하며, 반응조 안으로 폐수를 유입시킨 다음 직질한 시간을 반응시킨 후 배출시키는 간단한 개념으로 운전된다. 부하 변동 대처가 용이하고, 침전시 조 내 원수 유입이 전혀 없으며, 유입 단계에서 무산소, 혐기 상태를 유지하여 사상균 성장을 억제한다. 산기관에 의한 선회식과 DDMA 교반기에 의한 와류 폭기를 병행할 수 있다.

폭기, 교반, 상등액 분리 장치를 하나로 패키지화한 AquaCAM-D를 AquaSBR에 적용할 수도 있다.

2.2.8 AquaMSBR (Aqua-Aerobic Modified SBR)

기존의 연속유입식 활성슬러지 공정과 SBR의 장점을 채택하여 개발한 개량식 활성슬러지 공정으로 중대용량의 하폐수를 처리할 수 있다. 원수 연속유입, 처리수 연속배출 및 조내의 일정수면유지가 가능하고 하나의 반응조를 5-9개의 셀로 나누며 각 셀은 유기물, 질소, 인을 제거하도록 독립된 기능을 가진다.

무산소-혐기-호기-회분반응조로 구성되어 있으며, 하수의 유입은 무산소 25%, 혐기 75%로 유입시키며 회분반응조에서는 무산소-호기-침강-배출의 SBR의 반응이 이루어진다. 회분반응조의 마지막 단계에서 무산소조로 반응이 이루어지며 반응슬러지 중의 질산성질소가 유입하수를 기질로 하여 탈질 제거되며 혐기조에서는 인방출의 최적조건이 된다. 호기조에서는 하수중 유기물 질산화와 유기질소의 질산화가 이루어지며 혐기조에서 인을 방출한 미생물에 의해 인의 과잉섭취가 진행된다. 처리효율이 안정적이고 교반+포기로 산소전달율이 높으며, 회분반응조에 의해 추질변동에 대응할 수 있다. 또한 반응슬러지의 탈질로 인방출효율이 높으며, 연속주입, 연속배출이 가능하다.

2.2.9 CASS(변동유량식 SBR, Cyclic Activated Sludge System)

단일 반응조에서 오폐수의 유입 및 처리수의 유출이 일어나는 공정으로 정해진 시간의 배열에 따라 각 단위공정이 연속적으로 일어난다. 하나의 공정 내에서 미생물의 선택적 배양과 조내 유량 변동을 혼합시킨 개념으로, 호기성 부유성장 처리공법이다.

혐기조 및 완충조 설치로 질소, 인제거 효율이 높으며 미생물 선택조의 설치 및 슬러지 반송으로 반응조에서 슬러지 별킹을 방지할 수 있다. 디센터에 가이드가 설치되어 있어 스크럼등의 유출이 배제되며, 처리수 방류시 유입수가 차단되므로 안정적인 수질확보가 가능하다. 그러나, 슬러지 반송 및 선택조가 설치되어야 한다.

2.2.10 SBR 공법의 비교

Table 2.1 Comparison of SBR system (1/3)

		SBR	KIDEA	PSBR	BioGest	OMNIFLO
공정명		Sequencing Batch Reactor	간헐 방류식 장기 포기 공정, Kumho & KIST Intermittently Decanted Extended Aeration	범양 SBR, Pumyang SBR	선회와류식SBR	OMNIFLO SBR
Manufacturer			한국, 금호건설, KIST	한국, 범양건설	한국, 상원EnC	U.S.A, Jet Tech. Inc/ U.S.Filter
기원			호주, DPWS(1965)의 IDEA	-	-	-
공정구성		(간헐유입) 유입-폭기-침전-방류	(연속유입) (연속유입) 포기-침전-방류	(간헐유입) 유입-헤파-호기-침전-슬러지이송-배출	(간헐유입) 유입-반응-침전-방류-휴지	(간헐유입) 유입-포기-침전-방류-휴지
Cycle		3~24hr	150~210분	4~8hr	240~360분	240~360분
반응조 구성/디켄터		단일반응조	단일반응조 /전동식	단일반응조	단일반응조 /Air-Vent식	단일반응조 /부유식
설계 인자	HRT(hr)	18	12~18	10~32	15~22	15~40
	SRT(day)	20~40	25~35	20~42	20~42	20~40
	F/M (kg·BOD ₅ /kg·MLSS·day)	0.04~0.3	0.03~0.06	0.07~0.27	0.07~0.27	0.05~0.2
	MLSS(mg/L)	3,000~9,000	2,500~6,500	2,000~4,000	2,000~4,000	2,500~5,000
특징		설비간단, 운전간단, 운영용이	블로워수저감효과, 운전간단	승강커튼월	선회와류식폭기, 전력비감소	Process(BAAS) Decanter 자동화SYS Aerator 유입분배 Dry pit pump
단점		영양염류 제거 신뢰도 미약, 방류시 침전 슬러지 유출용이	침전에도계속유입으로효율저하, 별도수중교반필요	국내적용적음	유량조정조필요, 국내적용적음	처리수 배출밸브 필요, 디켄터 정박지대 필요

Table 2.1 Comparison of SBR system (2/3)

	CBT	Bio-Sequencer	AquaSBR	AquaMSBR	CASS	
공정명	순환식 장기 폭기법, Cyclic Biological Treatment SBR	ECO SBR	Aqua Aerobic System SBR	Aqua Aerobic System Modified SBR	연속활성슬러지 공정, 변동유량식 SBR, Cyclic Activated Sludge System	
Manufacturer	퍼텍코리아	한성크린텍	Aqua Aerobic System	Aqua Aerobic System	Babcock King-Wilkinson, L. P. Transenviro	
기원	U.S.A, ABJ in WPCC의 ICEAS	Canada, ECO Process & Equipment. Inc				
공정구성	(연속유입) 유입-폭기-침전-방류	(간헐유입) 유입-유입반응-반응-교반-반응-침전-배출	(간헐유입) 교반유입-폭기 유입-폭기반응-침강-상등액분리-휴지	(연속유입) 무산소-호기-침강-배출	(연속유입) 포기-교반-포기-침전-방류	
Cycle	4hr	6hr	4.8hr	3hr	240~360분	
반응조 구성/디켄터	단일반응조	단일반응조(Oxi는 2단)/선정자유	단일반응조/원형부유식	농축조-무산소조-혐기조-호기조-SBR/원형부유식	두개의 반응조/전동식	
설계인자	HRT(hr)	10~18	18~32	18~30	18~36	15~40
	SRT(day)	20~30	10~20			20~35
	F/M (kg·BOD ₅ /kg·MLSS·day)	0.05~0.3	0.05~0.1	0.15~0.4	0.05~0.2	0.05~0.2
	MLSS(mg/L)	3,000~8,000	2,500~6,500	2,000~5,000	2,000~3,000	2,500~5,000
특징	Influent Housing Gate, Pre React Director	유입과 산기 방식변경가능	DDMA교반기, 적은 투자비와 운영비, 수심에 제한을 적게 받음	일정수위유지로 반응공간이 큼, 연속처리가능	슬러지반송으로 유기물조정,블로워효율적사용	
단점	바닥배관설비복잡, 국내 실적 적음	스킵발생우려	디켄터유지보수, 유량균등조필요, 연속처리불가능	유출수배출제어 장치필요, 최종Cell에 별도폭기필요, 운전복잡	슬러지반송장비 필요, 유량균등조 필요, 연속운전불가능	

Table 2.1 Comparison of SBR system (3/3)

	ICEAS	CAST	Fluidyne		
공정명	간헐주기장기 포기공정, Intermittent Cycle Extended Aeration System	연속활성 슬러지 공정, Cyclic Activated Sludge Technology			
Manufacturer	U.S.A. Austgen Biojet System(ABJ) in WPCC(1976)	Austria, S & F.C.(1995)	클린월드eng		
기원	-	-	U.S.A.(1984) Fluidyne Corp.		
공정구성	(연속유입)포기- 무포기-포기-무 포기-포기-무포 기-포기-침전- 방류	(간헐유입)휴지- 무산소-교반-포 기-교반-포기 (유입중단)-혼합 -포기-침전- 방류	유입-반응-침전 -방류-휴지		
Cycle	240~300분	240~360분	5.9hr		
반응조 구성/디켄터	단일반응조 /전동식		반응조정조+ 반응조		
설계 인자	HRT(hr)	16	15~40	18~32	
	SRT(day)	20~30	20~35	20~30	
	F/M (kg·BOD ₅ /kg ·MLSS·day)	0.04~0.06	0.05~0.2	0.05~0.1	
	MLSS(mg/L)	4,000~5,000	2,500~5,000	2,500~5,000	
특징	국내 적용실적많음, 다양한 운전방식, 적용력 양호	미생물선택조 내 무동력교반벽설 치, 병렬운전	운전간단		
단점	전처리를 위한 토목구조 필요, 산기관 막힐 우려가 있음, 간헐포기에 따른 동력비과다소요		연속운전불가, 하수부하에 적응 이약함		

제3장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 SBR 반응조는 두개의 Reactor로 구성되어 있으며, 유효용적 11L인 Reactor 1과 33L인 Reactor 2로 설계되어 있다. 미생물은 J 하수처리장의 반송 슬러지를 식중하여 약 30일간 steady state 상태에 이를 때까지 순치하였으며, 약 90일이 지난 후부터 SRT 30-40day로 운전하였다.

반응기 외부에는 항온수조를 설치하여 내부의 온도가 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 수 있도록 하였으며, 각 Reactor마다 완전혼합을 위해서 자동제어장치가 부착된 교반기를 설치하여 교반속도를 일정하게 유지할 수 있도록 만들었다. Reactor 1은 무산소 상태로 운전하였으며, Reactor 2 내부에는 폭기를 위한 Blower와 무산소 기간을 위한 교반기를 두었다.

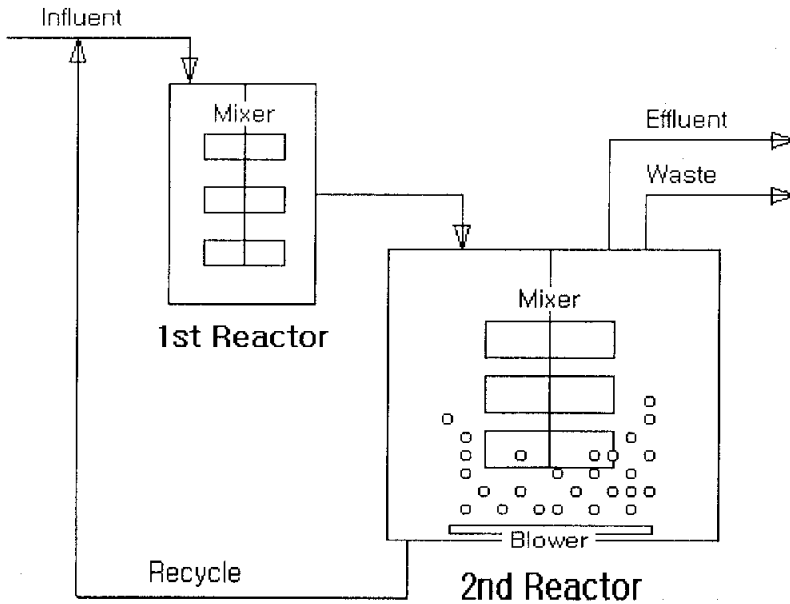


Fig. 3.1 Schematic diagram of continuous inflow SBR process.

운전모드는 4시간을 한주기로 하여, Reactor 1은 무산소조, Reactor 2는 programming에 따라 모드를 변환하며 운전하였다. Reactor 2의 최고 DO는 3-4mg O₂/L가 되도록 하였으며, pH는 7 근처로 유지하여 반응에 장애가 일어나지 않는 범위에서 운전하였다. Reactor 1로 유입된 원수와 반응수가 반응 후 유입된 양만큼 Reactor 2로 자연유하로 유입되도록 설치하였다.

Control Panel과 연결된 컴퓨터에 의해 pH, ORP, DO 등이 연속적으로 monitoring 됨으로써 반응기 내 최적의 조건을 지속적으로 유지할 수 있도록 하였다. SBR 공정의 운전상태를 측정할 수 있는 계측기로는 용존산소 농도를 측정하는 DO meter, 호기-무산소 상태의 조건 변화에 따라 민감하게 변화하는 것으로 알려진 pH meter, 산화환원전위차(ORP)계 등이 있다.

본 연구에서 사용한 센서는 pH meter(pH-6000), ORP meter(US Filter Strantrol 880), DO meter(DO-600) 3종류를 장착하였으며, 80C320KC, 통신모듈과 각종 Relay, Control panel을 사용하였다.

제어 프로그램은 MMI(Man Machine Interface) PROGRAM인 CIMON, 제어 시스템은 STD SYSTEM으로 구성되어 있으며, 본 실험에 자동제어를 위해 사용된 컴퓨터는 IBM 호환기종 PC(Pentium MMX 200)이었다.

3.2 실험방법

3.2.1 시료의 조성

본 실험에 사용된 폐수의 성상은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Composition of synthetic wastewater

Item	using reagent	Concentraion
COD _{Cr}	C ₆ H ₁₂ O ₆	150-280 mgCOD/ℓ
Phosphorus	KH ₂ PO ₄	4-5 mgP/ℓ
Nitrogen	NH ₄ Cl	40-50 mgN/ℓ
Alkalinity	NaHCO ₃	220-280 mgCaCO ₃ /ℓ

3.2.2 실험방법

연속유입식 SBR 공정의 하수 고도처리를 위한 실험 방법을 Fig. 3.2 ~ Fig. 3.4 그리고 Fig. 3.4에 메디아를 충전시켜, 다음과 같은 4가지로 진행하였다.

Phase 1의 경우 유입시간을 195분으로 Reactor 1에 주입하고, Reactor 2의 초기 30분을 무산소 구간으로 두어 초기 30분간은 두 Reactor 모두 무산소 구간으로 돔으로서, Reactor 2의 무산소 구간 30분 추가에 따른 처리특성을 비교하였다.

Time(min)	0-30	30-150	150-195	195-240
Reactor				
Reactor 1	Influent 195			
	Anoxic 240			
Reactor 2	Anoxic 30	Oxic 120	Settle 45	draw 45
R2→R1	Recycle 195			

Fig. 3.2 Operating condition of continuous inflow SBR process (Phase 1).

Phase 2의 경우 Phase 1과 동일한 운전조건에서 Reactor 2의 초기 30분을 호기 및 반송하지 않는 구간으로 두어 Phase 1과 Phase 2의 처리특성을 비교하여 보았다.

Time(min)	0-30	30-150	150-195	195-240
Reactor				
Reactor 1	Influent 195			
	Anoxic 240			
Reactor 2		Oxic 150	Settle 45	draw 45
R2→R1		Recycle 165		

Fig. 3.3 Operating condition of continuous inflow SBR process (Phase 2).

Phase 3의 경우 앞의 운전조건 Phase 2에 덧붙여 침전시 Reactor 1로 유입, 반송을 하지 않는 경우의 처리특성을 살펴보았다.

Time(min)	0-30	30-150	150-195	195-240
Reactor				
Reactor 1	Influent 150			
	Anoxic 240			
Reactor 2		Oxic 150	Settle 45	draw 45
R2→R1		Recycle 120		

Fig. 3.4 Operating condition of continuous inflow SBR process (Phase 3).

Phase 4의 경우는 Phase 3의 운전조건에 메디아(Saran-1000D)를 10%, 20%의 충진율 별로 투입한 경우의 처리특성을 살펴보았다.

3.3 분석방법

연속유입식 SBR 공정에 의한 처리수의 수질특성을 조사하기 위해 SS, COD_{Cr}, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, PO₄³⁻-P, TN, TP 등을 분석하였으며, 분석방법은 아래의 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Analytical item and methods (Standard Method 20th, 1998)

Items	Experimental methods
NH ₄ ⁺ -N	Ammonia-selective electrode method
TN	UV adsorption method
TP	Ascorbic acid method
NO ₃ ⁻ -N	Ion Chromatography (Dionex co. ltd. DX-100)
NO ₂ ⁻ -N	Ion Chromatography (Dionex co. ltd. DX-100)
PO ₄ ³⁻ -P	Ion Chromatography (Dionex co. ltd. DX-100)
COD _{Cr}	Potassium Dichromate Reflux method
SS	Total solid dried at 103 ~ 105°C
Alkalinity	Titration method
pH	Electrode method
DO	Electrode method

3.4 미디어 특성

본 실험에 사용한 미디어는 망상형인 Saran 미디어로서 특성은 Table 3.3과 같다.

Table 3.3 Media specification

Character \ Media type	Saran-1000D
unit weight (kg/m^3)	55
porosity (%)	97
specific surface area(m^2/m^3)	400
packed rate (m^3/m^3)	0.3
specific gravity(kg/m^3)	0.08

3.5 자동제어 구성

3.5.1 하드웨어

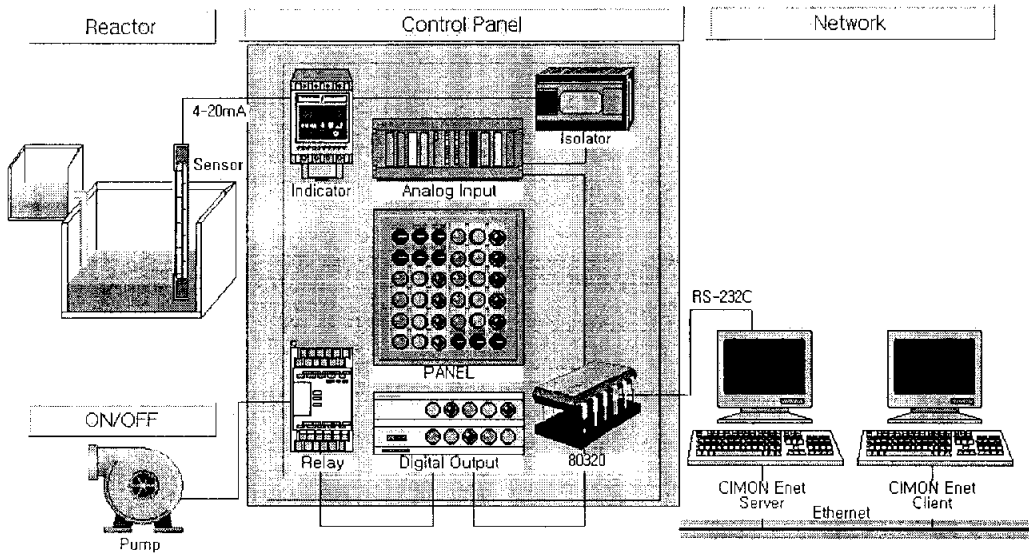


Fig. 3.5 Control system.

본 실험에 설치된 제어시스템의 모식도를 Fig. 3.5에 나타내었다.

Sensor에 의해 측정된 반응조의 Sensor값은 Sensor Indicator(pH-meter, ORP-meter, DO-meter)에 의해 우리가 읽을 수 있는 값으로 표시된 후 각각의 isolator를 거쳐 AI(Analog Input) Card에 의해 측정된다. 마이크로프로세서(80320)에서 측정된 Sensor DATA는 RS-232C 통신으로 PC에 전달된다. 제어용 PC는 Sensor Data를 실시간적으로 모니터링하며 펌프와 블로어를 ON/OFF하는 명령을 역시 RS-232C 통신으로 마이크로프로세서에 내리게 된다. 마이크로프로세서는 펌프의 ON/OFF 명령을 받아 릴레이를 구동하여 펌프와 블로어 및 각종 장치들을 구동하게 된다.

제어 시스템으로는 PLC(Programmable Logic Controller)가 아닌 STD system으로 구축되어 있다. 이는 MPU(Microprocessor Unit) 응용제품 개발장비로서 PLC를 대체하여 DCS(Distribution Control System) 및 SCADA(Supervisory Control & Data Acquisition) 구축을 할 수 있어, 산업전반의 자동화 시스템으로 적용 가능한 시스템이다.

3.5.2 소프트웨어

1) MMI

본 연구에서는 반응조의 모니터링과 컨트롤을 위해 PC에 MMI(Man Machine Interface) tool인 CIMON을 사용하였으며, 이는 개방형 구조(Open System Architecture), 네트워크, ACS(Automatic Calling System) 등이 가능한 SCADA(Supervisory Control & Data Acquisition) solution이다. 내부 연산자 프로그래밍에 있어서는 Visual Basic Script로 구성되어 있다.

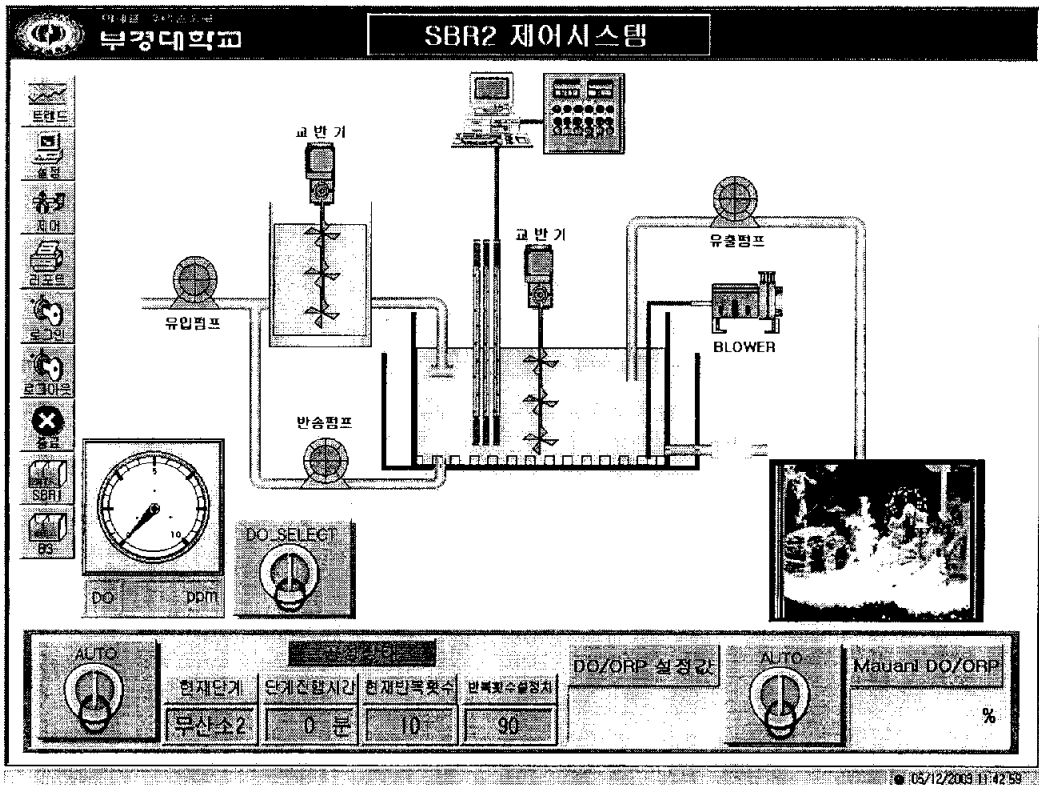


Fig. 3.6 SBR automatic control system.

SBR2 설정 화면

현재단계	호기1	단계진행시간	0 분		현재반복횟수	10 회		SAVE_TIME	165 분		
단계설정	호기1	호기2	침전	유출	유출	유출	유출	유출	유출	유출	
시간설정	30 분	120 분	45 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	45 분	
가동시간	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	0 분	
경계치설정	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	
제어상태설정	<input checked="" type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input checked="" type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어	<input type="checkbox"/> 유입 <input checked="" type="checkbox"/> 교반(X) <input type="checkbox"/> 유출 <input type="checkbox"/> 반송 <input checked="" type="checkbox"/> 블로어
START	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input type="checkbox"/> 유출	<input checked="" type="checkbox"/> 유출	
STOP	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	<input type="checkbox"/> 반송	
AUTO	<input type="checkbox"/> 없음	<input type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	<input checked="" type="checkbox"/> 없음	
유입시간 설정	150 분		반송시간 설정	100 분		호기1 일때 무시시간	0 분		반복횟수 설정	90 회	

Fig. 3.7 SBR operating condition set up page.

Fig. 3.7은 SBR의 운전조건을 설정할 수 있는 화면이다. 단계설정 탭은 호기, 무산소, 침전, 유출, 없음 등을 Pull-Down 방식으로 결정할 수 있으며, 시간설정 탭에서는 각 단계별로 운전시간을 설정할 수 있다. 제어설정 탭에서는 유입펌프, 교반기, 유출펌프, 반송펌프, 블로어 등의 각 반응조에 설치되어 있는 장치들을 구동할 수 있게끔 되어 있다. 가동시간 탭과 경계치설정 탭은 자동으로 컨트롤할 항목이 있을 경우 Basic Script에 의한 프로그램 수정으로 자동제어가 가능하게끔 되어 있다.

2) 네트워크

CIMON은 시스템의 Client-Server 및 이중화 구성을 위하여 사용되는 CIMON-CSNet과 다른 시스템과의 자료연계를 위한 CIMON-Net의 두 가지의 자체 네트워크 프로토콜을 내장하고 있다. 이들 중, CIMON-CSNet은 Ethernet(TCP/IP)만을 지원하는 프로토콜이며, CIMON-Net은 Ethernet(ENET)과 RS232C/MODEM(CNET)을 지원한다.

다음은 CIMON-Enet을 사용한 시스템인데, Client #1 CIMON은 하위의 Server #1/#2 CIMON을 일종의 하위 I/O 디바이스로 간주하며, 두 곳의 데이터를 취합할 수 있는 구성이다. 또한, Server #1 및 #2 CIMON은 CIMON-Enet Server(FEP)로 설정되어 각각의 데이터를 상위의 CIMON Client #1에게 전송하는 기능을 수행한다. Client #1 CIMON이 없더라도 자신이 상대방의 CIMON-Enet Client이면서 동시에 Server로 설정하는 경우 Server #1 및 #2 CIMON 상호간의 데이터 교환(Peer-To-Peer)이 가능하다.

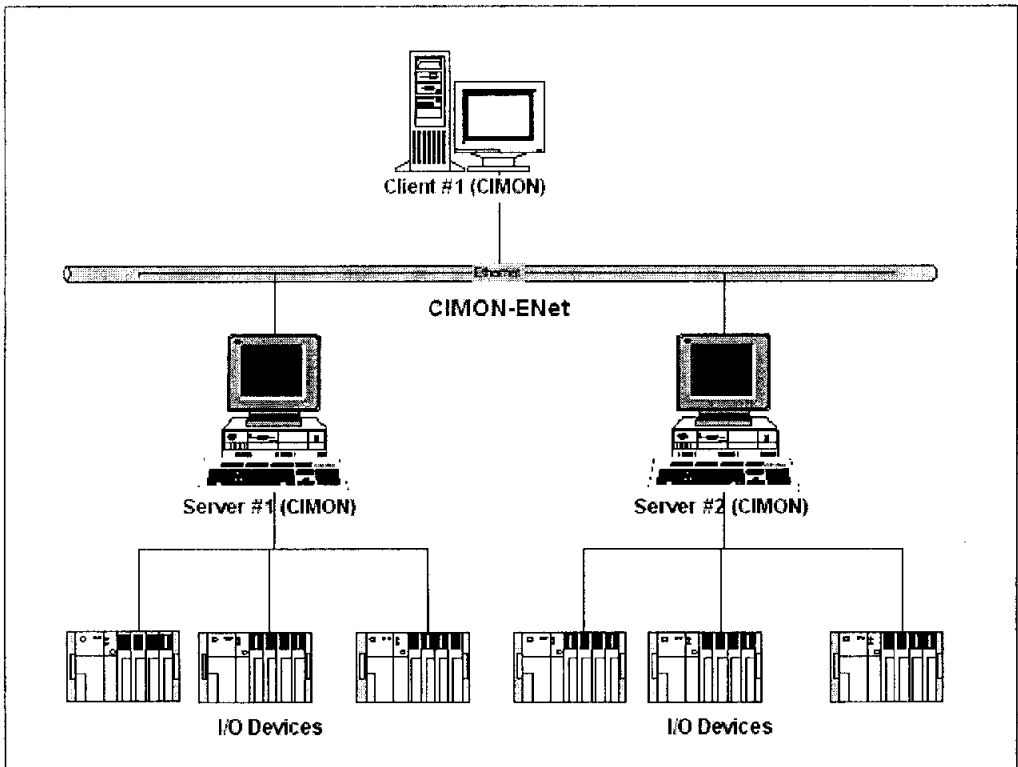


Fig. 3.8 Stand-Alone system.

네트워크 시스템 구축 방식에는 Stand-Alone System, 분산 시스템, 이중화 시스템 등이 있는데, 본 반응조는 CIMON-Enet(Ethernet)을 이용한 STAND-ALONE 시스템을 채용하여 ServerPC와 ClientPC에 각각 설치되어 있는 두 CIMON 사이의 TAG값을 공유시켜 놓아, 반응조에 설치되어 있는 Sensor 값들을 언제라도 ClientPC에서 모니터링 할 수 있게 하였다.

제4장 결과 및 고찰

4.1 연속유입식 SBR의 수질특성

4.1.1 운전기간중의 SBR 반응조내 MLSS 변화

9/10부터 반응조 운전을 시작하여 운전초기에서 90일간은 슬러지 폐기를 시키지 않고, 그 이후부터는 SRT를 30-40일로 운전하였다.

Goronszy(1996)에 의하면 SRT가 길어질수록 안정적인 질산화가 이루어지고, Rodrigo(1996)는 SRT가 짧을수록 인 제거를 위한 VFA 섭취가 많아져 인 제거 효율이 증가한다고 하였다. 본 반응조는 현행 여러 SBR 공법들의 운전 SRT에서 모형을 가져왔다.

Reactor 1은 4000~5000mg/L, Reactor 2는 6000~7000mg/L으로 유지하였으며, 유기물 부하는 0.5kgCOD_{Cr}/m³/day 이었다. Pak & Jung(1995)의 미생물 농도 영향에 의하면 1.24kg/m³/day까지의 유기물 부하 조건에서 MLSS 농도가 높을수록 유기물, 암모니아성 질소, 질산성 질소의 제거효율이 좋아지는 것으로 관찰되었다. 그리고, 현 SBR 공법들 중에서 몇 가지는 최대 MLSS 7000mg/L로 유지되고 있는 등의 이유로 본 반응조 또한 그렇게 유지하였다.

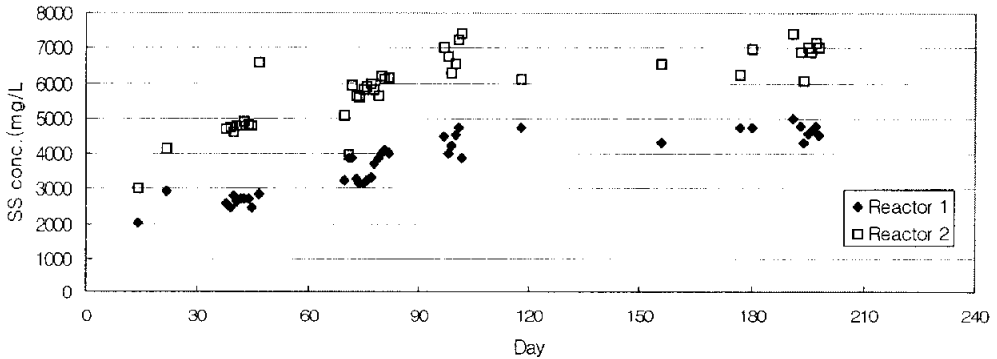


Fig. 4.1 Variation of MLSS during operating periods.

MLVSS 함량은 80%, SVI는 90-100을 유지하였다. 대부분의 연속유입식 SBR이 MLVSS 함량 70%, SVI 150, SRT 30일 내외인 점을 감안하면 좀더 고효율에서 운전되었다.

COD:N:P의 비율은 56:10:1이었다. TCOD:TN 비는 5.6으로 유기물 부하를 더 올려서 제거효율을 상승시킬 수 있지만, 우리나라의 낮은 C/N비 사정을 감안, 이대로 유지하기로 하였다. 또한 Chui(1996)의 경우는 유입수의 COD/N가 5일때 질소제거가 높다고 하였다. Shin(1996)에 의하면 최소 COD/P비는 20으로 이 이상 유지될 때 혐기/호기 조건에서 높은 인제거 효율을 유지할 수 있었다.

F/M비는 0.1kgCOD_{Cd}/kgMLSS/day이다. Pak & Jung(1995)에 의하면 이 F/M비에서 최적의 유기물 제거율을 보였다.

운전기간동안의 온도는 Reactor 1, Reactor 2 각각 항온수조를 설치하여 25℃ 내외로 유지하였으며, 폭기시 DO는 최대 4mg/L 정도였다. 질산화 및 인 침취를 위한 호기시간을 충분히 하기 위해 Reactor 2의 호기시간은 150분으로 운전하였으며, 1 Cycle time은 4시간, HRT는 12hr이었다.

4.1.2 운전조건에 따른 유기물질 제거 특성

운전기간 및 운전조건(Phase 1, 2, 3)에 따른 COD_{Cr} 농도 및 제거율은 Fig. 4.2, Fig. 4.3에 각각 나타내었다. 처리수는 운전경과 약 15일 정도부터 안정적인 수질을 보였으며, 130일경 이후는 Phase2의 조건으로 약 40일간 운전하였다. 그 이후 60일간은 Phase 3의 조건으로 운전하여 처리수질을 비교하여 보았다. Phase1, Phase2, Phase3의 COD_{Cr} 평균 제거효율은 90%, 90%, 93%로 여러 가지 운전 조건에서 항상 90%이상의 제거효율을 보이고 있으며, Phase3이 다소 높은 제거효율을 보인 것은, Phase3이 침전시 유입, 반송을 하지 않음으로서 유출시까지 미생물에 의한 유기물 소모에 따른 결과로 생각된다.

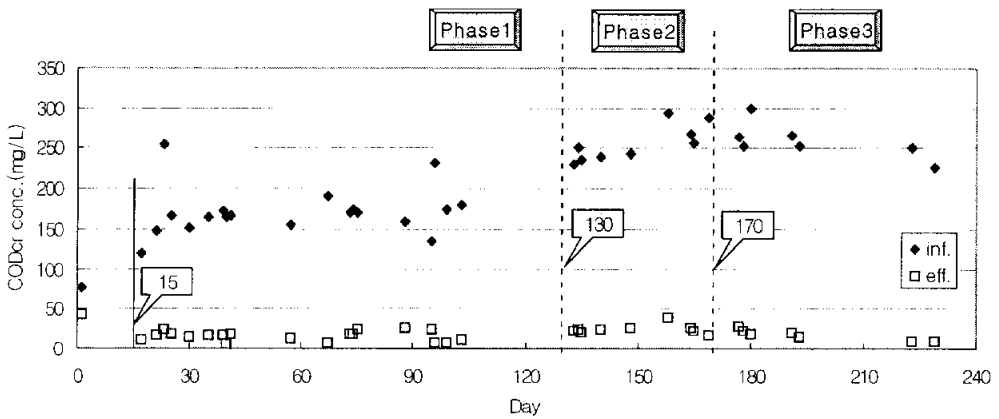


Fig. 4.2 Variation of COD_{Cr} during operating periods.

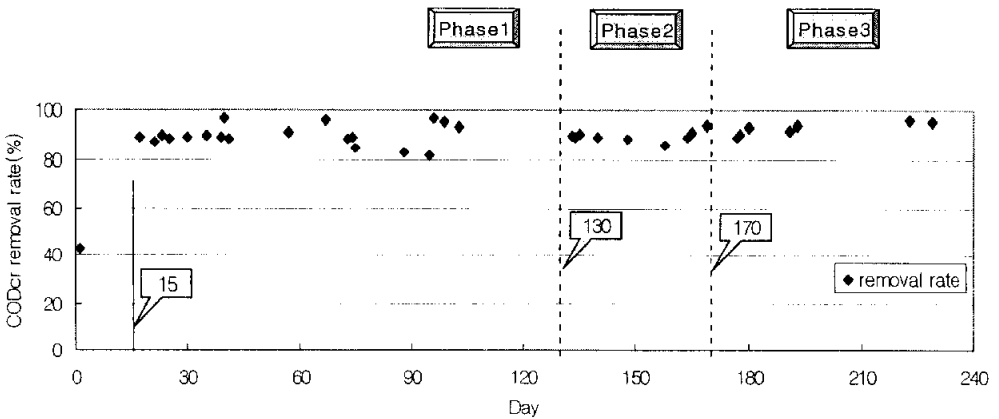


Fig. 4.3 Removal efficiency COD_{Cr} during operating periods.

4.1.3 운전조건에 따른 총질소 제거 특성

운전기간 및 운전조건(Phase 1, 2, 3)에 따른 TN 농도 및 제거율은 Fig. 4.4, Fig. 4.5에 각각 나타내었다. 처리수는 운전경과 약 30일 정도부터 안정적인 수질을 보였으며, Phase1은 130일간, Phase2는 40일간, Phase3은 60일간 운전하여 처리수질을 비교하여 보았다. Phase1, Phase2, Phase3의 TN 평균제거효율은 72%, 65%, 75%로 Phase2의 총질소 제거효율이 가장 좋지 않았는데, 이는 Reactor 2의 초기 30분을 호기 및 반송하지 않는 구간으로 돕으로서 탈질효율을 저하, 침전시 유입 및 반송에 따른 암모니아성 질소의 증가에 기인하는 것으로 생각된다.

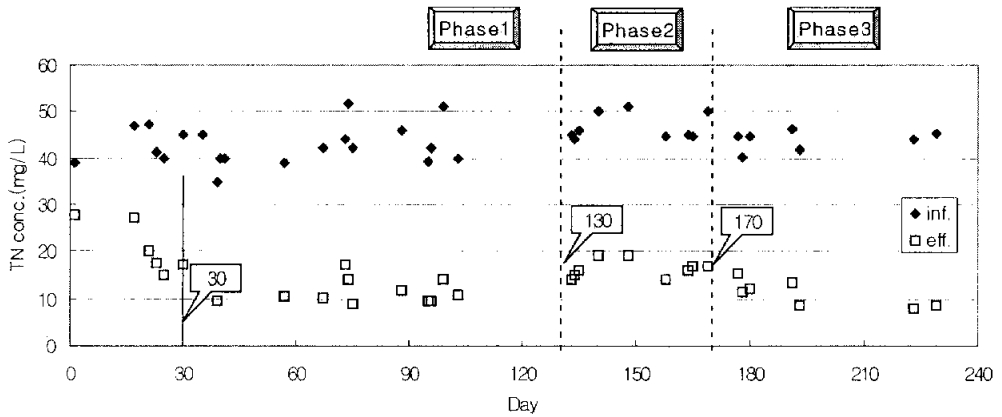


Fig. 4.4 Variation of TN during operating periods.

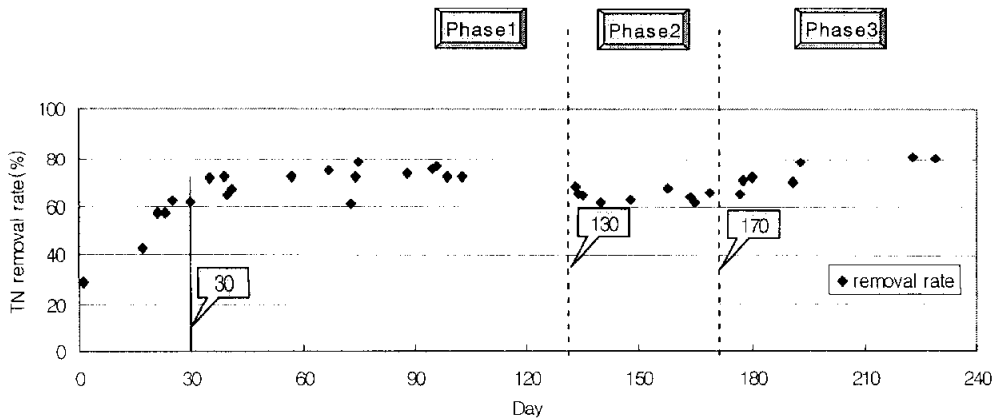


Fig. 4.5 Removal efficiency TN during operating periods.

4.1.4 운전조건에 따른 암모니아성 질소 제거 특성

운전기간 및 운전조건(Phase 1, 2, 3)에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도 및 제거율은 Fig. 4.6, Fig. 4.7에 각각 나타내었다. 처리수는 운전경과 약 30일 정도부터 안정적인 수질을 보였으며, Phase1은 130일간, Phase2는 40일간, Phase3은 60일간 운전하여 처리수질을 비교하여 보았다. Phase1, Phase2, Phase3의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 평균제거효율은 88%, 90%, 100%로 Phase3의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거효율이 가장 좋았다. 이는 Phase3에서 침전시 유입 및 반송을 하지 않음으로서 호기 마지막부분에 거의 고갈된 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 유출시까지 유지된 결과로 본다.

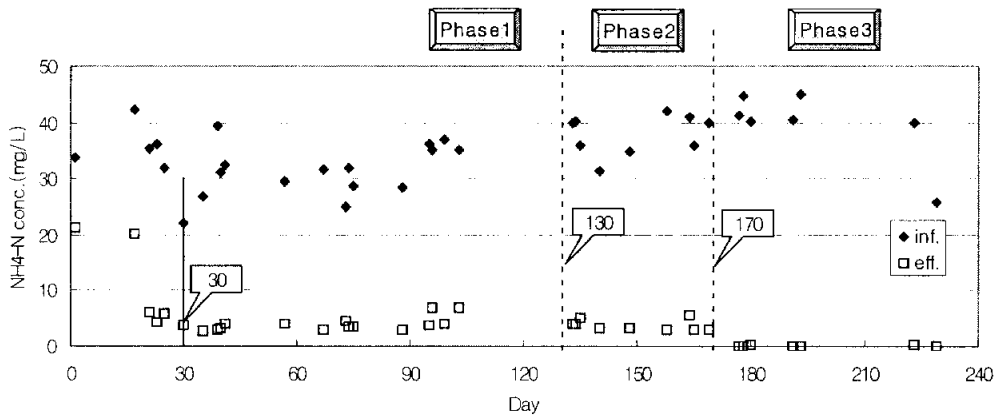


Fig. 4.6 Variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ during operating periods.

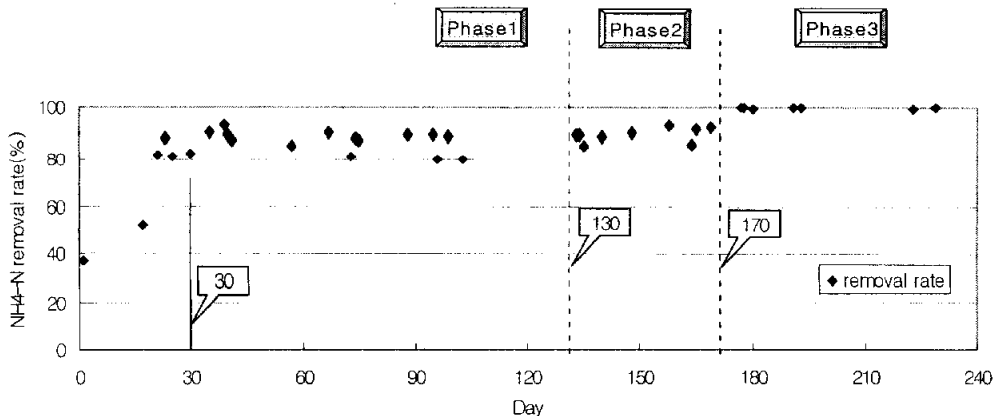


Fig. 4.7 Removal efficiency $\text{NH}_4^+\text{-N}$ during operating periods.

4.1.5 운전조건에 따른 총인 제거 특성

운전기간 및 운전조건(Phase 1, 2, 3)에 따른 TP 농도 및 제거율은 Fig. 4.8, Fig. 4.9에 각각 나타내었다. 처리수는 운전경과 약 80일 정도부터 안정적인 수질을 보였으며, Phase1, Phase2, Phase3의 TP 평균제거효율은 50%, 64%, 80%로 Phase3의 TP 제거효율이 가장 좋았다. 이는 Phase3에서 침전시 유입 및 반송을 하지 않음으로서 호기 마지막 부분까지 P uptake로 인해 저장된 TP가 유출시까지 유지된 결과로 본다.

Lee(1993)에 따르면 슬러지 내의 인 함유율이 정상상태가 되는 데는 슬러지 내의 저장 유기물의 정상상태 소요 시간보다 더 길다. 이는 유기물에 관련하는 저장 및 산화 분해반응이 인의 방출 및 과잉섭취에 관련하는 반응보다 더 빠르게 일어나기 때문이다.

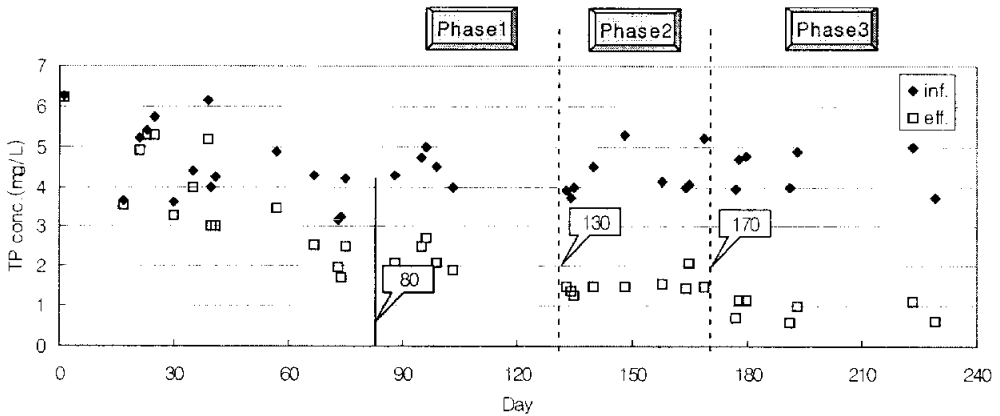


Fig. 4.8 Variation of TP during operating periods.

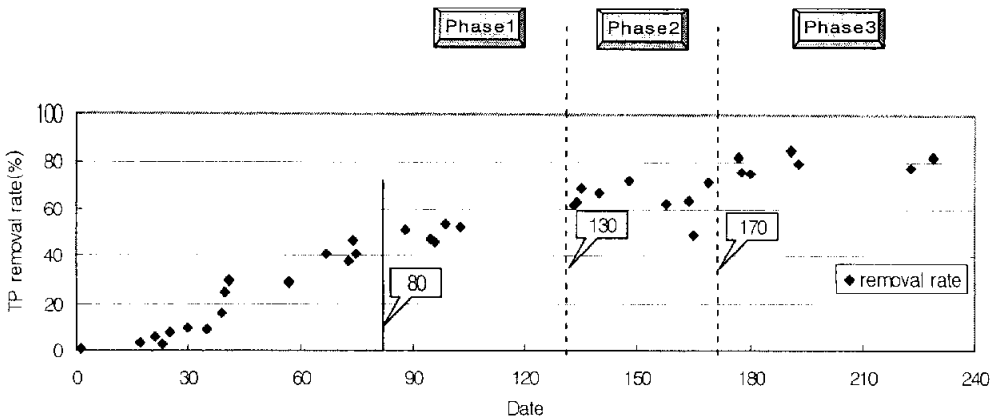


Fig. 4.9 Removal efficiency TP during operating periods.

4.1.6 운전조건별 처리수의 제거효율 비교

연속유입으로 운전한 SBR의 각 운전조건에 따른 처리수의 평균 제거율을 Table 4.1에 비교하였다. 각 처리수의 평균값으로서 정상 상태로 판단되는 날부터 평균값에 포함시켜 계산을 하였다.

유기물질 제거는 90% 이상으로 나타났으며, 각 운전조건에 큰 차이를 보이지 않았다. 질소 제거는 Phase 1, 3은 72% 이상으로 나타났는데 비해, Phase 2는 65%로 다소 낮은 제거율을 보였다. 이는 Reactor 2의 초기 30분을 호기 및 반송하지 않는 구간으로 됨으로서 탈질효율저하, 침전시 유입 및 반송에 따른 암모니아성 질소의 증가에 의해 결국 TN 제거효율이 낮아진 것으로 생각된다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우에는 Phase3에서 침전시 유입 및 반송을 하지 않음으로서 호기 마지막 부분에 거의 고갈된 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 유출시까지 유지되어 거의 100%에 가까운 제거 효율을 보인다.

TP의 경우에도 Phase3에서 침전시 유입 및 반송을 하지 않음으로서 호기 마지막 부분까지 P uptake로 인해 저감된 TP가 유출시까지 유지되어 80%의 높은 제거 효율을 보이고 있다.

Table 4.1 Average removal efficiencies of operating conditions

Operating condition	Operating Days	CODcr	TN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TP
Phase 1	130day	90.39%	72.15%	87.55%	50.03%
Phase 2	40day	90.28%	65.06%	89.94%	64.20%
Phase 3	60day	93.33%	74.57%	99.72%	79.73%

4.2. 각 운전조건 변화에 따른 반응조 내 수질 변화 특성

4.2.1 초기 30분 무산소 구간 유무에 따른 처리수질 비교

Phase 1과 Phase 2의 조건변화에 따른 초기 30분간의 P 성분 거동을 Fig. 4.10, Fig. 4.11에 나타내었다. 두 조건 모두 Reactor 1의 NO_3^- -N은 0.7mg/L 이하를 유지한다.

Fig. 4.12를 보면 Phase 1로 운전시 Reactor 2에 남아있는 NO_3^- -N은 탈질 및 반송에 의한 희석의 효과로 농도가 낮아진다. 그러나, Reactor 2의 NO_3^- -N 농도는 1mg/L 이하까지는 떨어지지 않는다.

Lee & Chung(1997)에 의하면 외부탄소원을 사용할 경우의 일반적인 비탈질율이 7~20g NO_3^- -N/(kgVSS.h)인데 반해, Reactor 2의 비탈질율은 0.62g NO_3^- -N/(kgVSS.h)로서 아주 낮은 값을 나타낸다. 이는 Reactor 1을 경유하여 자연 유하되어 유입되는 탄소원이 Reactor 2에서 30분 동안 탈질하기에는 모자란 것으로 판단된다. Reactor 2의 초기 30분간 COD_{Cr} 실험치는 10mg/L 내외였다. 따라서 Reactor 1로만 유입되고 있는 원수를 Reactor 1, Reactor 2 각각 분할 주입을 할 경우에는 30분 안에 탈질효율의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, PO_4^{3-} -P의 경우에는 Fig. 4.10을 보면 무산소 구간인 Reactor 1로 원수가 유입되어 유기물이 풍부함에도 불구하고, NO_3^- -N의 영향과 반송에 의한 희석의 영향으로 P release의 효과가 그래프에 나타나지 않는다. 뿐만 아니라 Fig. 4.11에서는 무산소 구간인 Reactor 2에서도 P release의 효과는 보이지 않는다. 아직까지 탈질이 진행 중인 NO_3^- -N의 남아있는 농도 때문이라고 볼 수 있겠다.

Phase 2로 운전시 반송을 하지 않으므로 초기 30분간 각 Reactor는 유입과 자연유하유량만이 존재한다. Reactor 2는 유입 NH_4^+ -N가 Reactor 1에서 희석되어 들어옴으로서 NH_4^+ -N의 농도가 0점대이다. 호기구간임에도 질산화가 잘 일어나지 않아 NO_3^- -N의 농도는 별 변화를 보이지 않는다.

PO_4^{3-} -P의 경우에는 무산소 구간인 Reactor 1에서는 P release가, 호기 구간인 Reactor 2에서는 P uptake가 발생하여 결과적으로 유출수에서 더 나은 탈인 효과를 볼 수가 있었다.

두 조건을 비교시, Phase 1의 운전조건은 더 나은 탈질 효과, Phase 2는 더 나은 탈인 효과를 보였으나, Phase 1에서 50%인 인제거효율을 상승시킬 수 있는 Phase 2의 운전조건이 더 효과적이다. Phase2로 운전시 64%로 더 나은 인 제거효율을 보였다.

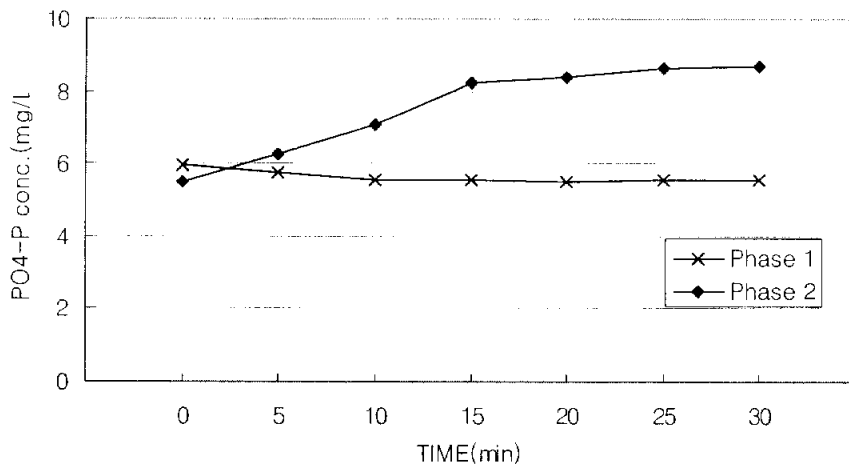


Fig. 4.10 Variation of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration in initial 30min (Reactor 1).

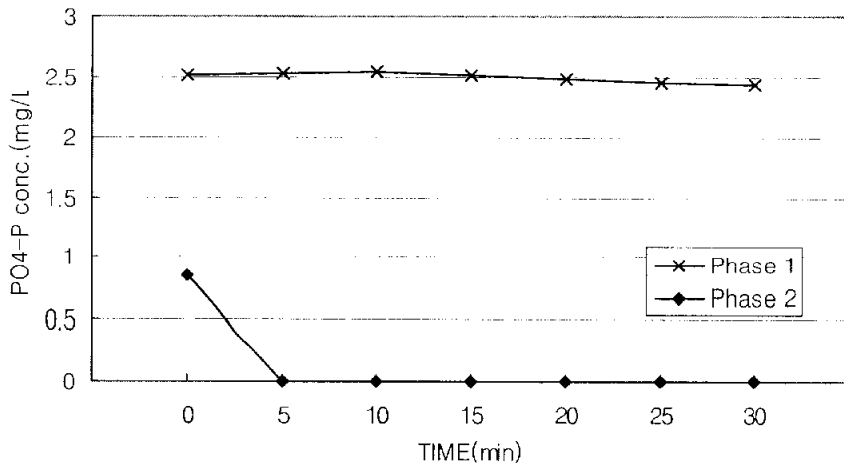


Fig. 4.11 Variation of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration in initial 30min (Reactor 2).

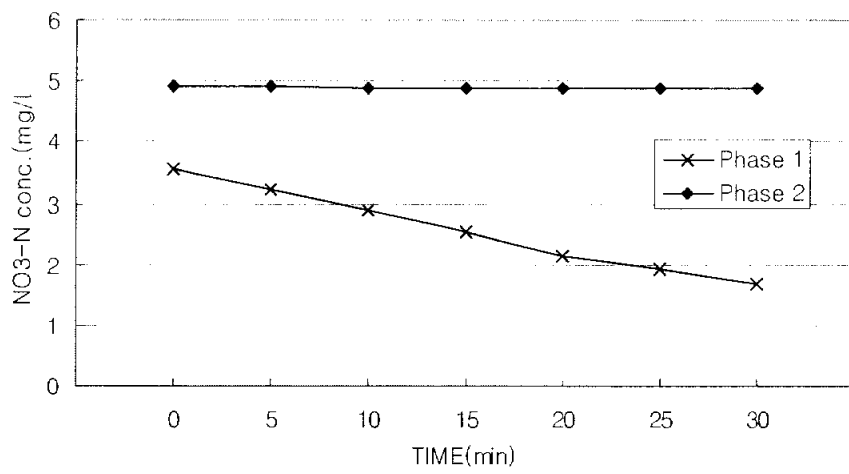


Fig. 4.12 Variation of NO₃⁻-N concentration in initial 30min (Reactor 2).

4.2.2 침전시 유입 및 반송 유무에 따른 처리수질 비교

침전시 유입, 반송을 하는 경우와 하지 않는 경우의 비교를 통해 최적의 운전 효율을 살펴 보았다. 최근의 연속유입식 SBR 공법들은 침전 혹은 유출시에도 계속하여 유입을 하는 공법들이 있다.

전형적인 SBR 공정에서는 침전기에는 폐수의 유입이 없고 반응조 내에는 일체의 흐름이 없으므로 최적의 침전조건을 형성할 수 있는 장점이 있으나, 침전기에 탄소원 공급의 차단으로 탈질을 위한 탄소원의 공급이 부족할 수도 있다. 만약, 탄소원만 충분하다면 침전 및 배출기에도 탈질을 위한 환원반응과 인 release가 발생할 것이다. 침전주기와 배출기에도 연속적으로 폐수가 유입되면 탈질과정에서 적절한 탄소원이 공급된다는 특징이 있다. 물론 연속적인 폐수주입으로 인해 반응조 내에 최적의 침전조건을 제공할 수 없고, 처리수와 원수가 혼합되지 않도록 해야 한다는 단점이 있다.

본 반응조의 경우에는 연속유입식이지만, 2단인 관계로 유입뿐만 아니라 반송의 효과까지도 고려를 하여야 한다. 본 실험에서는 유입, 반송을 묶어서 하는 경우와 하지 않는 경우를 고려하였으나, 유입만 하는 경우와 반송만 하는 경우에 대한 고찰의 여지가 있다고 사료된다. Table. 4.2와 침전구간 45분간을 조사한 Table. 4.3을 살펴보면 침전시 유입 및 반송을 하지 않는 Phase 3의 경우가 모든 항목에서 더 높은 처리효율을 보인다.

Phase 2의 경우를 살펴보면, 침전시 유입에 의해서는 충분한 탄소원 공급에 의한 탈질효과, 반송에 의해서는 무산소조인 Reactor 1에서 또 한번의 탈질 및 회색의 효과로 NO_3^- -N의 저감에는 성공하였지만, 계속되는 유입에 의한 NH_4^+ -N의 증가로 TN 제거율은 좋지 않았다. TP 제거율에 있어서도 침전 초기에는 반송의 효과로 PO_4^{3-} -P가 감소하였으나 유입 및 Reactor 1에서의 p release로 오히려 PO_4^{3-} -P가 증가하였다. COD_{Cr} 의 경우도 충분한 탄소원 공급의 효과는 있었지만 결국엔 Reactor 2에 계속적인 유입에 의한 처리가 안된 잔존 유기물이 생김으로서 제거율은 좋지 않았다.

Phase 3을 살펴보면, 침전시 잔존 DO에 의한 NH_4^+ -N 소비, 소량의 탈질, 이에 따른 유기물의 소모, 더 이상 생성되지 않은 PO_4^{3-} -P등의 이유로 모든 항목에서 제거효율 향상의 효과가 있었다.

M.Henze 등은 외부탄소원을 사용하는 경우 비탈질율이 $7\sim 20\text{gNO}_3^-$ -N/(kgVSS·h)이며, 내생호흡탈질의 경우 $0.2\sim 0.5\text{gNO}_3^-$ -N/(kgVSS·h)이라고 하였으며, Phase 3의 침전시 비탈질율은 0.2gNO_3^- -N/(kgVSS·h)이었다. 또한, Lee(1993)에 따르면 인 제거 미생물의 경우에 폭기 정지하에서 단시간 내에 기질 공급을 종료하게 되면 조 내에 큰 농도구배가 형성되어 미생물 내에 많은 기질이 저장되고, 또 기질을 저장할 수 있는 능력이 큰 미생물종이 우점종으로 형성된다. 즉, 인 제거 효율은 폭기가 정지된 상태에서 기질 공급이 종료되는 시간을 짧게 하여 운전하는 것이 효과적이라는 실험결과와 Phase 3은 맥락을 같이 한다.

Table 4.2 Variation of operating condition in settle time

	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP	COD _{Cr} 제거율	NH ₄ ⁺ -N 제거율	TN 제거율	TP 제거율
	unit(mg/L)				unit(%)			
Phase 2 (침전시 유입, 반응을 하는 경우)								
inf.	256.28	34.87	44.78	4.57	90.4%	89.9%	65.4%	62.4%
eff.	24.53	3.52	15.5	1.72				
Phase 3 (침전시 유입, 반응을 하지 않는 경우)								
inf.	255.96	31.52	44.80	4.69	93.1%	99.7%	68.3%	79.5%
eff.	17.74	0.10	14.22	0.96				

Table 4.3 Variation during 45min in settle time

	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P	COD _{Cr} 변화량	NH ₄ ⁺ -N 변화량	NO ₃ ⁻ -N 변화량	PO ₄ ³⁻ -P 변화량
	unit(mg/L)				unit(mg/L)			
Phase 2 (침전시 유입, 반응을 하는 경우)								
150min	35.62	0.17	9.53	0	-2.46	+2.53	-2.11	+1.43
195min	33.16	2.7	7.42	1.43				
Phase 3 (침전시 유입, 반응을 하지 않는 경우)								
150min	36.25	0.09	12.22	1.04	-11.28	-0.04	-0.72	0
195min	24.97	0.05	11.50	1.04				

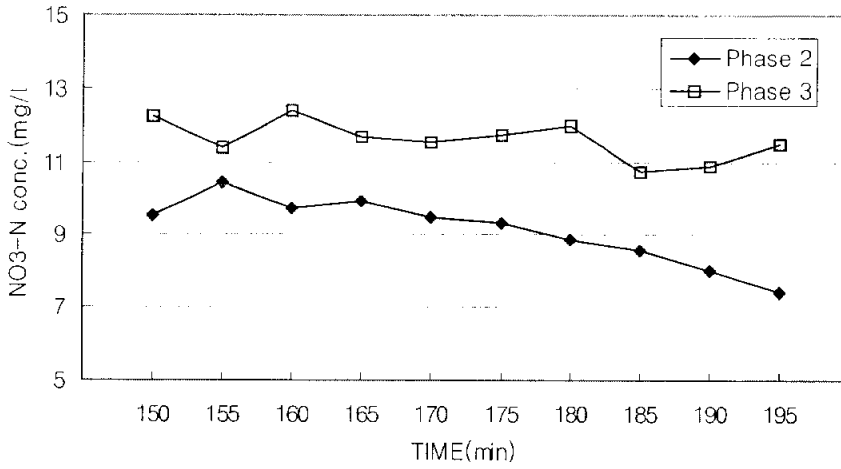


Fig. 4.13 Variation of NO₃ -N concentration in settle time (Reactor 2).

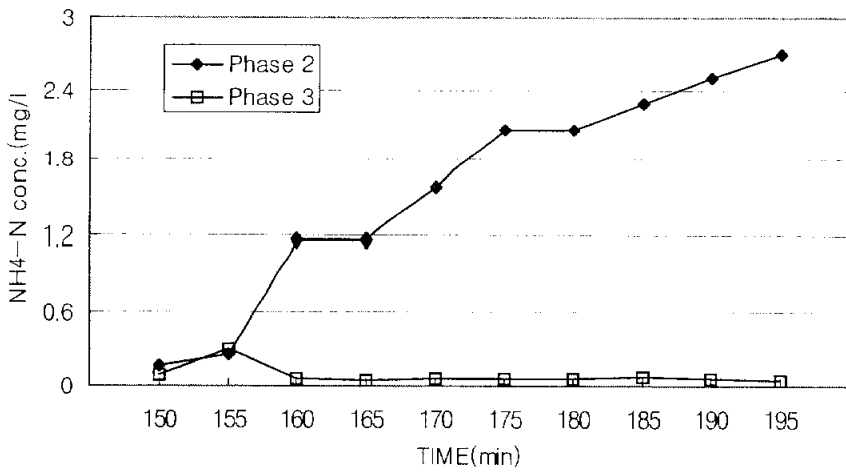


Fig. 4.14 Variation of NH₄'-N concentration in settle time (Reactor 2).

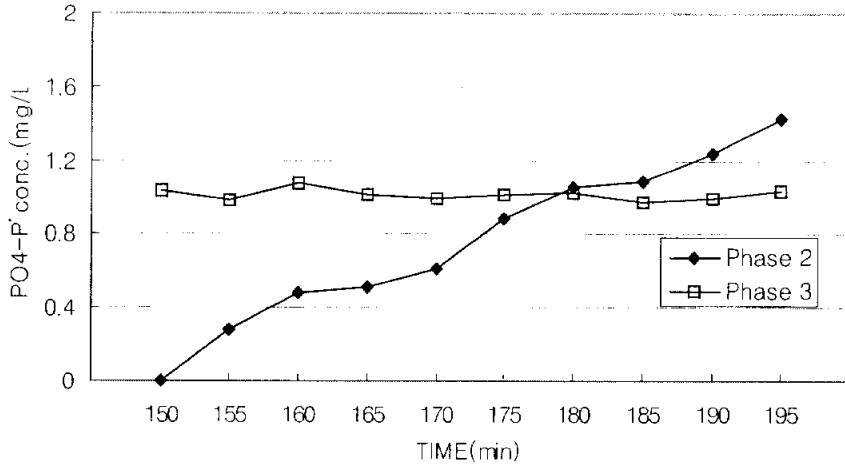


Fig. 4.15 Variation of PO₄³⁻-P concentration in settle time (Reactor 2).

4.3 매니아 충전율별 실험결과 (Phase 4)

부유성장 활성슬러지 공법은 반응조 내에 부유성장상태의 미생물에 의해 기질 분해 및 세포포함성이 이루어지나, 고정 생물막 공법은 매디아 표면에 부착된 미생물에 의해 이루어진다. 이는 매질의 표면에 미생물이 고정되어 긴 SRT를 가지므로 단위 유기물질 소모당 미생물 생산량이 작으며, 높은 MLVSS로 난위부피당 처리용량이 커지는 이점이 있다. 또한, 슬러지들이 생물막 내의 상위단계의 미생물에 의해 제거되어 슬러지 발생이 작다(McKinney, 1984). 그러나, 매질에 미생물의 과도한 부착은 공급폐쇄현상으로 수질악화나, 높은 탁도를 유발할 수도 있다(Sagberg, 1992).

본 실험은 Saran 매디아를 Reactor 2에 부피비로 10%, 20%씩 첨가하였다. 또한, 앞서의 실험결과에 의해 도출된 가장 적절한 조건인 Phase3의 운전조건에 매디아를 충전함으로써 더 나은 제거효율을 도출하고자 하였다.

공극률이 큰 Saran 매디아는 운전초기 부착성이 매우 좋아 매디아를 첨가한지 일주일 후부터 높은 유기물 제거효율을 보였으며, 정상상태의 운전 중 Saran 매디아의 반응조는 거의 부착미생물이 주류를 이루었다. COD_{Cr} 제거효율에 있어서 매디아 충전율 0%, 10%, 20%에 따라 90%, 93%, 95%의 결과가 나타나 꾸준히 제거효율이 높아지고 있다. 이는 부착증식에 의한 고농도의 미생물량의 유지에 기인한다.

TN 탈질효율은 68%, 75%, 80%로 탈질효율이 상승하여 가장 큰 폭으로 효율이 좋아지고 있다. 이는 탈질효과보다는 탈인효과를 위해 Phase1 대신 Phase2를 선택한 후, 매디아 충전에 의한 고농도 미생물량 유지를 통해, 결과적으로 탈질과 탈인의 두가지 제거효율 상승의 이점을 찾아낼 수 있었다.

TP 제거효율 역시 79%, 80%, 82%로 제거효율이 상승하였다. 이는 Phase2 선택으로 탈인의 효율을 상승시킨 후, Phase3의 효과로 uptake된 P를 침전시에도 계속 농도를 유지시키고, 충전율에 따른 고농도의 미생물에 의해 점점 더 나은 제거효율을 볼 수 있었다.

4.3.1 미디어 충전율에 따른 유기물질 제거 특성

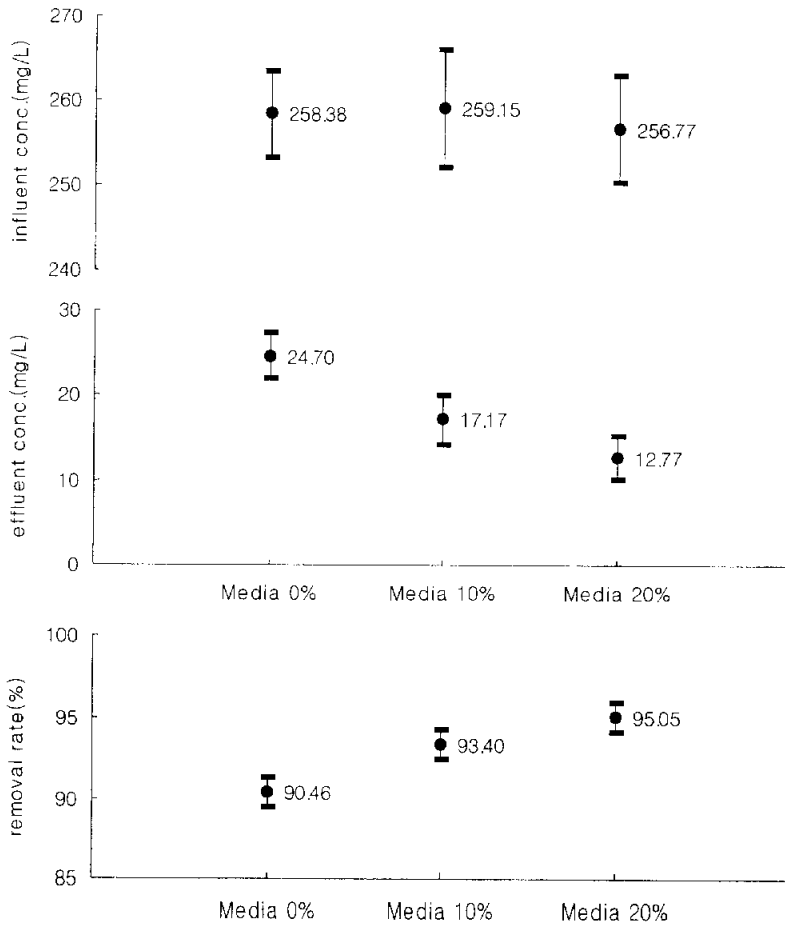


Fig. 4.16 COD_{Cr} removal rate according to media packed rate (Reactor 2).

4.3.2 매디아 충전율에 따른 총질소 제거 특성

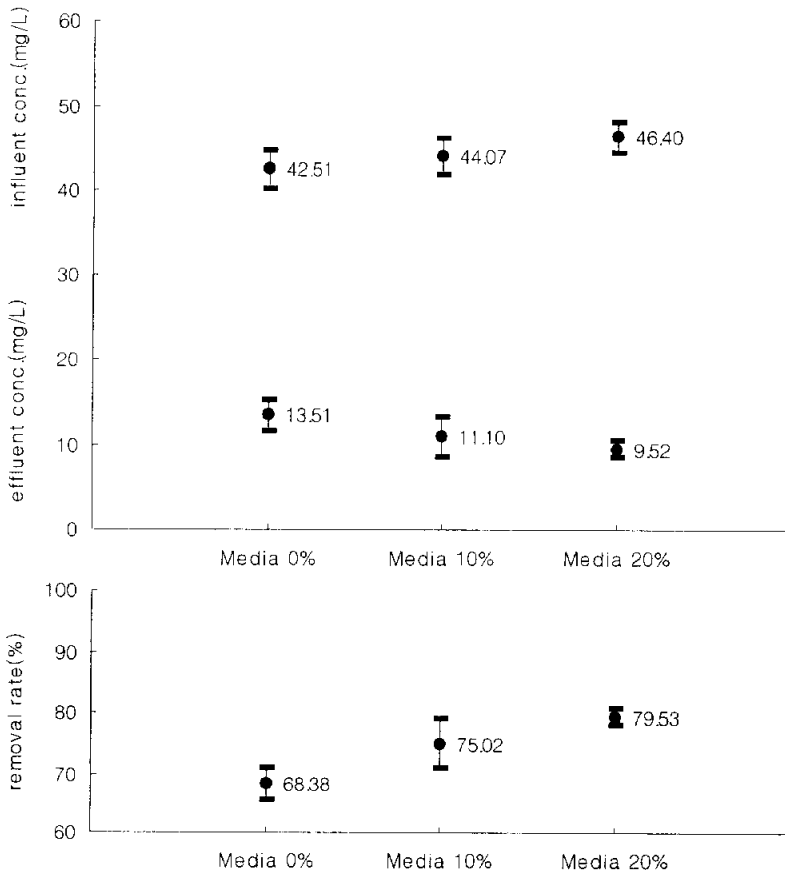


Fig. 4.17 Nitrification of TN according to media packed rate (Reactor 2).

4.3.3 매디아 충전율에 따른 총인 제거 특성

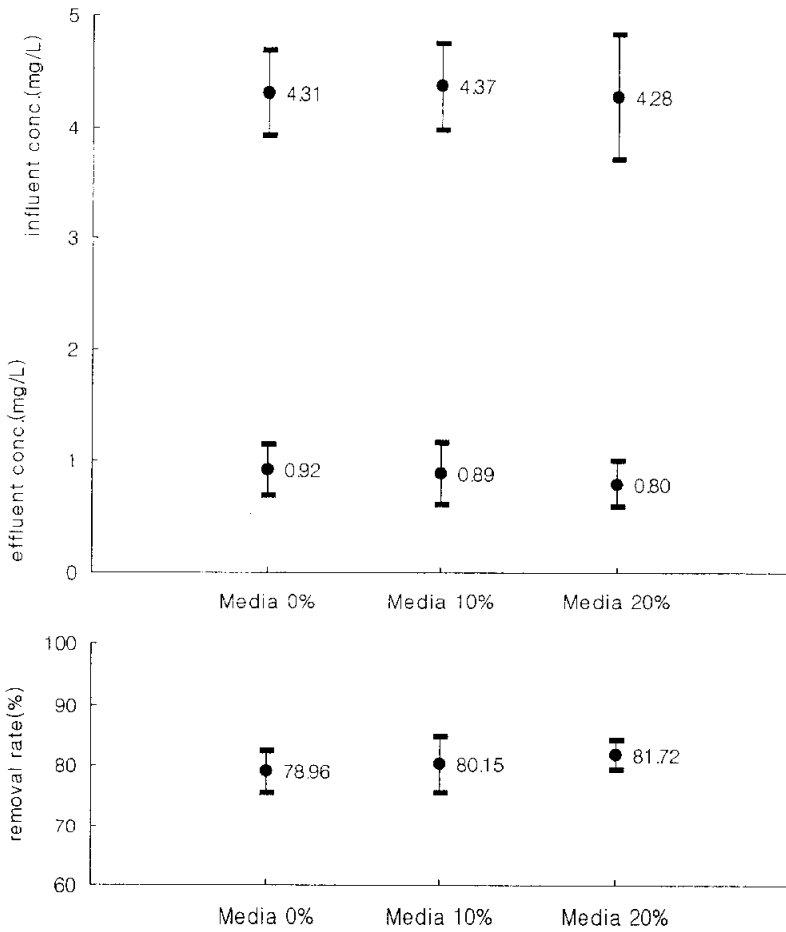


Fig. 4.18 TP removal rate according to media packed rate (Reactor 2).

4.3.4 미디어 충전율별 성분 거동

NH_4^+-N 의 시간별 성분거동을 살펴보게 되면, Reactor 1은 초기 30분간 Reactor 2에서 Reactor 1로의 반응이 없으므로, 유입되는 양만큼 계속 증가하게 된다. 이때 Reactor 2는 폭기에 의한 질산화로 NH_4^+-N 는 0에 가깝다. 30분 후부터 반응이 시작되면서 Reactor 2의 농도0의 NH_4^+-N 가 계속적으로 반응되면서 Reactor 1의 NH_4^+-N 의 양은 감소하게 된다. 이 또한 미디어 충전율이 높을수록 고농도의 미생물량에 의해 질산화율도 높다는 것을 알 수 있다.

NO_3^--N 의 경우는 Reactor 2에서 폭기에 의한 질산화로 NO_3^--N 의 양이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 미디어 충전율이 높을수록 고농도의 미생물량에 의해 더 많은 탈질이 일어나 충전율 20%일 때가 가장 낮은 그래프를 그리고 있다. 결국, TN 제거율 또한 미디어 충전율 0%, 10%, 20%에 따라 68%, 75%, 81%의 결과로 제거효율이 높아지는 것을 볼 수 있다.

$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 의 경우는 초기 30분간 Reactor 1은 혐기구간이 되므로 P release로 인해 인 방출량이 늘어나며, 30분후부터는 Reactor 2의 폭기에 의해 P uptake가 되어 낮은 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 를 함유한 반응수가 Reactor 1으로 들어감으로서 Reactor 1의 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 양은 감소하게 된다. TP 역시 미디어 충전율 0%, 10%, 20%에 따라 79%, 80%, 83%의 결과가 나타나 제거효율이 높아지는 것을 볼 수 있다.

Gil(1996)에 따르면 내부 반응율 100%, 200%, 300% 변화에도 제거효율이 좋아지는 결과를 보임으로서 미디어 충전율 실험에 덧붙여 내부 반응율 변화 실험도 필요할 것으로 사료된다.

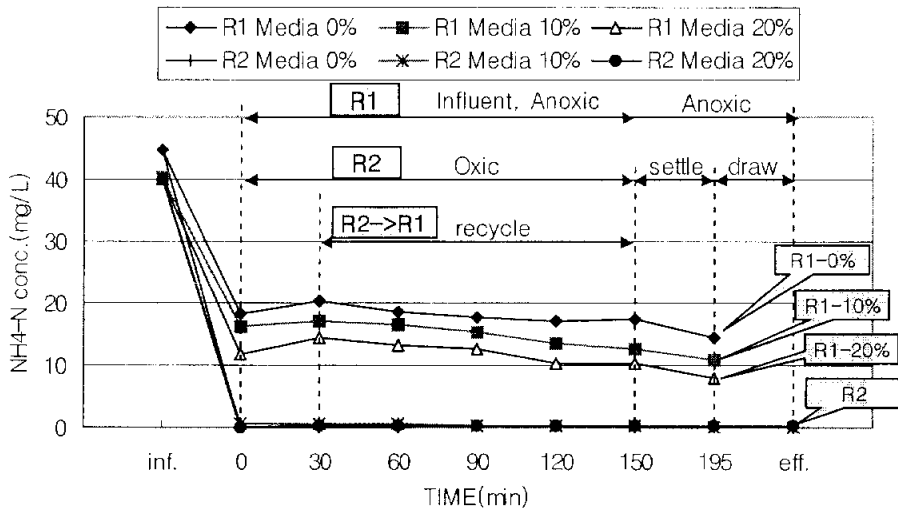


Fig. 4.19 Variation of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration according to media packed rate.

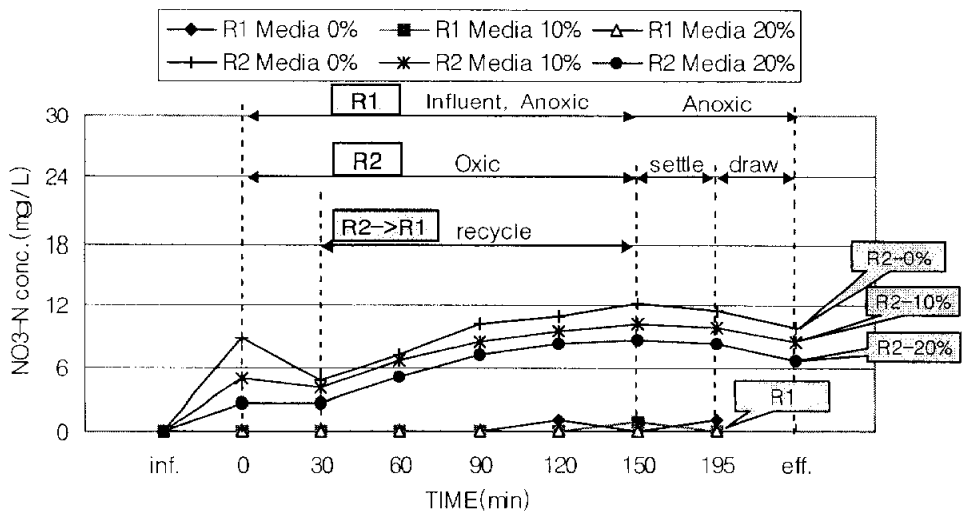


Fig. 4.20 Variation of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration according to media packed rate.

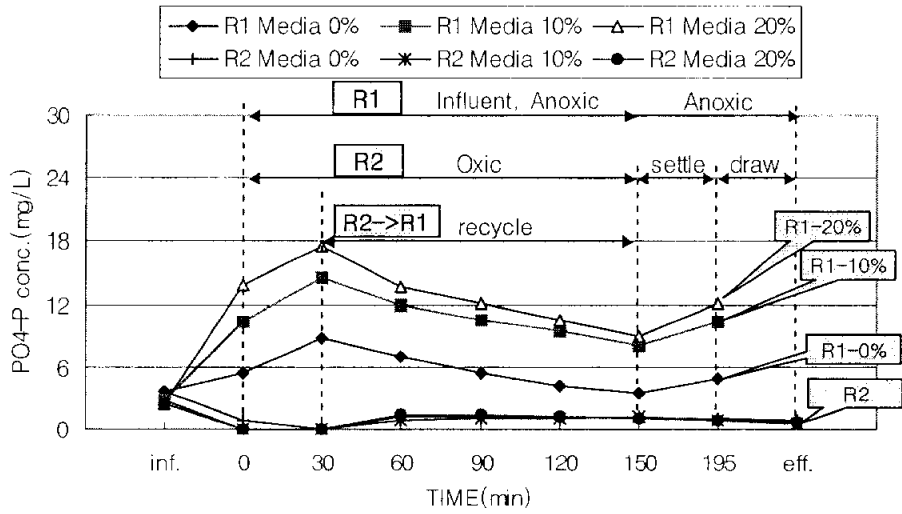


Fig. 4.21 Variation of $PO_4^{3-}-P$ concentration according to media packed rate.

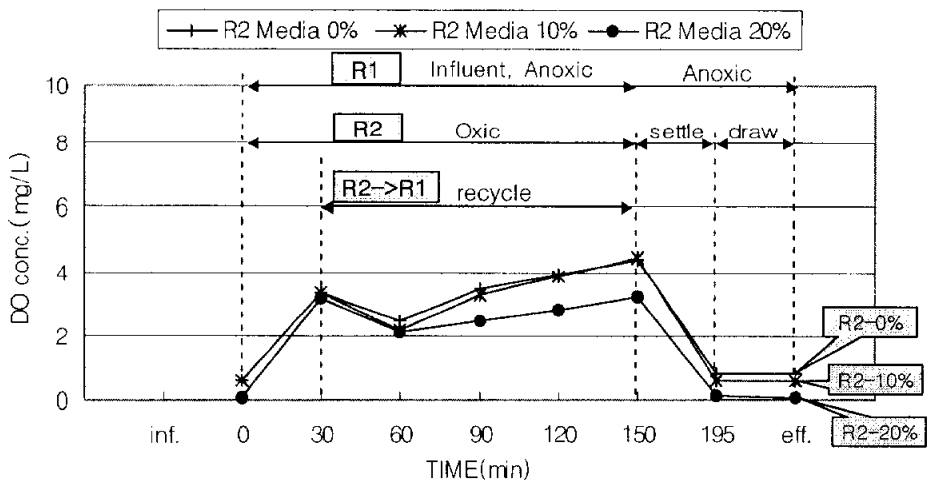


Fig. 4.22 Variation of DO concentration according to media packed rate.

4.4 원격 모니터링 시스템

본 반응조는 CIMON-Enet(Ethernet)을 이용하여 서로 다른 컴퓨터에 설치되어 있는 두 CIMON 사이의 통신 설정을 통하여 TAG값을 공유시켜 놓아, 반응조에 설치되어 있는 Sensor 값들과 반응조의 이상 유무를 언제라도 Client 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있게 하였다.

TAG값들은 아날로그, 디지털, 문자열, 그룹 TAG 등이 있으며, 시뮬레이션 혹은 내부 연산용 TAG로 사용되는 가상태그와 Table 4.4와 Table 4.5와 같은 실태그로 구성된다.

STAND-ALONE 시스템, 분산 시스템, 이중화 시스템 등 여러 가지 시스템 구성방법 중 소규모의 단순자동화에 이용되는 STAND-ALONE 시스템을 채용하였으며, 이는 하위 I/O 디바이스와의 통신에 의한 데이터 수집 및 저장, 실시간 및 이력 데이터베이스의 관리 등의 기능이 있다.

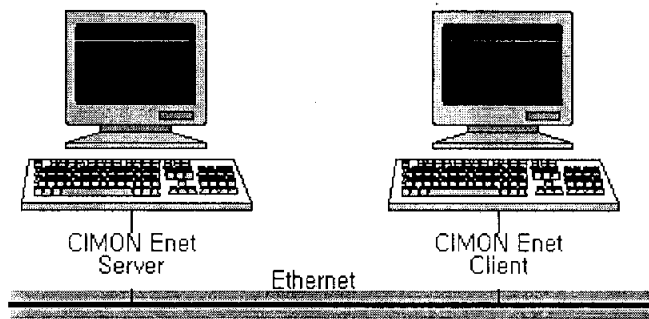


Fig. 4.23 SBR network system

원격 모니터링 시스템의 선행조건은 두 대의 컴퓨터에 정상적으로 TCP/IP 연결이 되어 있고, 각각 Ethernet을 지원하는 MMI가 정상적으로 깔려 있어야 한다. MMI(Man Machine Interface) 혹은 HMI(Human Man Interface)는 Windows 기반의 GUI(Graphic User Interface)를 바탕으로 PC기반의 감시 및 조작을 할 수 있는 S/W로, 감시, 경향추이, 히스토리컬 추이, 분석 및 보고서 기능이 있다. 기존 반응조에 연결되어 있는 컴퓨터를 Server, 원격거리에 연결한 컴퓨터를 Client로 설정하였다.

TCP/IP는 따로 특별히 구축하지 않고 교내 전산망을 이용하였으며, 반응조를 감시하기 위해 CCTV 대신 간단히 CAM을 설치하고, Windows의 NetMeeting을 구동시켜 화상감시 시스템도 함께 구축하였다. 화상 감시 화면 역시 Client PC에서 TCP/IP를 통해 볼 수 있도록 하였다.

Table 4.4는 본 연구에서 데이터베이스에 등록되어 있는 아날로그 TAG값들로서, 반응조의 Sensor로부터 받아들인 값들이 Indicator, Isolator, AI Card 등을 거쳐 마이크로프로세서에 의해 Server PC에 전달되며, 다시 이 TAG 값들은 원격 모니터링 시스템 구축에 의해 Client PC에 Real time으로 동일하게 나타난다. 물론, TAG값들은 Server PC는 물론이고, Client PC에도 동일한 TAG값들이 I/O 디바이스 및 I/O 어드레스 설정과 함께 등록되어 있어야 한다.

ODBC(Open DataBase Connectivity) 기술은 관계형 데이터베이스들과 응용 프로그램간의 데이터 교환 방식인데, 이를 이용하여 각종 범용 데이터베이스 서버와 자유로이 연결할 수 있으며, 표준 SQL을 지원하므로 레코드의 열람 및 수정, 첨가, 삭제 등 범용 DBMS(DataBase Management System)에서 DB 응용이 가능하다. DBMS로는 ORACLE, SYSBASE, MS-ACCESS 등이 있다.

즉, 공유된 TAG값들은 Client PC에서 Real time으로 TAG값들을 받음과 동시에 ORACLE이나 ACCESS등과 같은 범용 데이터베이스 시스템과 연계시켜 데이터베이스의 자료를 갱신, 등록, 삭제, 열람 등의 자료처리가 가능하다. 특히, 각종 Sensor들로부터 초단위로 된 대량의 자료들이 생성될 때, 이와 같은 기능은 빠른 자료가공처리를 가능하게 해줌으로서 아주 유용하다.

Table 4.4 Analog tag of SBR system

NO	단자대	PANEL NAME	ITEM	DI/DO	SCALE
ANALOG					
3	1-3	SBR2	pH		0~14
4	1-4		ORP		-700~700
5	1-5		DO		0~15
12		SBR2	AUTO		0~15
13		DO SET	MANUAL		0~100
15		SBR2 OUT VALVE			0~4095

Table 4.5에서는 디지털 TAG값들이 데이터베이스에 등록되어 있다. 디지털 INPUT, OUTPUT 신호를 주고받을 수 있는 TAG값들로서, Control Panel 내부의 각종 릴레이접점들과 연결되어 있어 반응조와 연결된 PUMP, Blower, Agitator 등의 장치들을 ON/OFF 시키는 역할을 한다. 이와 같은 디지털 TAG값들도 Client PC에 똑같이 등록시켜 놓음으로서 AUTO시에는 각 장치들의 ON/OFF 상태를 알 수 있고, MANUAL시에는 각 장치들을 원거리에서도 ON/OFF 제어가 가능하다.

Table 4.5 Digital tag of SBR system

NO	단자대	PANEL NAME	ITEM	DI/DO	SCALE
DIGITAL					
4	1-4	SBR2 유입펌프	ON/OFF	OUTPUT	
5	1-5	SBR2 유출펌프	ON/OFF	OUTPUT	
6	1-6	SBR2 교반기	ON/OFF	OUTPUT	
7	1-7	SBR2 블로어	ON/OFF	OUTPUT	
20	1-20	SBR2 유입펌프	ON/OFF	INPUT	
21	1-21	SBR2 유출펌프	ON/OFF	INPUT	
22	1-22	SBR2 교반기	ON/OFF	INPUT	
23	1-23	SBR2 블로어	ON/OFF	INPUT	
30		SBR2 AUTO	A/M		
31		SBR2 AUTO(DA)	A/M		
33		SBR2 SELECT	DO/ORP		

본 연속유입식 SBR에 적용되어 있는 시스템은 HMI/SCADA 시스템으로 볼 수 있다. SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) System이란, 현장의 데이터를 획득(Acquisition)하여 감시(Supervisory)하고 제어(Control)하기 위한 시스템을 의미하는 것으로, 생산/제조 현장을 제어하기 위한 일련의 과정, 즉 데이터의 수집과 표시, 제어에 이르는 모든 과정을 일괄적으로 처리할 수 있는 시스템을 말한다. HMI Software와 SCADA 시스템은 각기 출발은 다른 개념으로 시작되었으나, 근래에는 통합개념으로 HMI/SCADA 시스템으로 통칭 이야기를 한다. 현재 HMI/SCADA 시스템 관련 자동화 장비는 모든 산업 자동화에 필수적으로 들어가는 제품으로 인식되고 있으며 모든 장비에 사용될 수 있다.

기존의 실험에서 여러모로 적용하여온 ORP를 제어인자로 한 자동제어를 본 연구에서는 연속유입과 효과적인 NH_4^+-N 의 제거로 인해 Reactor2에서 NH_4^+-N 가 거의 0으로 운전되어 질산화 완료 Point를 찾기 어려워 제어인자에 의한 자동제어는 실험하지 않았다.

또한, 본 연구에 적용한 시스템은 PC to PC로서 TAG값 공유에 의한 원격 모니터링에 기초한 시스템으로 요즘은 각광받고 있는 인터넷상에서의 구동은 되지 않는다. 원격지에서 웹 브라우저로 설비 현황을 감시 및 제어하기 위해서는 인터넷용으로 만들어진 CIMON Web 버전(3user, 5user, 무한user용)과 무한 TAG용 하드웨어 락키(Lock-key)를 Server PC에 설치하여야 가능하며, 본 시스템과 휴대폰이나 PDA와의 무선통신도 기술적으로는 전혀 문제가 없다.

제5장 결론

메디아가 포함된 연속유입식 SBR 공정에 의한 실험의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있었다.

1) 본 2단 연속유입식 SBR 공법은 기존의 SBR 공법의 설비 및 운전이 간단하다는 장점은 그대로 살리고 영양염류 제거 신뢰도가 미약하다는 단점을 보완함으로써 보다 나은 탈질율과 탈인율을 보인다. 또한 무산소조를 따로이 돕으로서 선택적인 미생물의 환경조성(혐기 또는 호기상태)에 의한 제거율 향상뿐만 아니라 수질의 균질화를 이루어 항시 안정적으로 미생물의 신진 대사, 슬러지의 침강 효율 증대 등의 장점을 가진다.

2) Reactor 2의 초기 30분을 무산소 구간(Phase1)으로 두었을 때 COD_{Cr}, TN, TP 제거효율은 각각 90%, 72%, 50%였고, 호기 구간(Phase2)으로 두었을 때는 90%, 65%, 64%로서, Phase1은 TN 제거효율이, Phase2는 TP 제거효율이 우수하였다.

3) 침전시 유입 및 반송을 하지 않는 Phase3의 운전조건으로 COD_{Cr}, TN, TP 제거효율이 90%, 68%, 79%로서 Phase2의 운전조건(침전시 유입 및 반송을 한 경우)보다 나은 결과를 보였다.

4) 메디어를 충전하여 실험한 결과 반응조 대비 10%의 충전율일때 COD_{Cr}, TN, TP 제거효율이 93%, 75%, 80%였고, 20%의 충전율일때 95%, 80%, 82%로서 점점 향상되는 효율을 보였다.

5) 원격 모니터링 시스템 구축에 의한 태그값 공유는 원격 통합 관리로 마을 하수 처리장에서의 전문 관리자 유치 문제를 해결할 수 있다. 또한, DBMS 연동에 의한 데이터 관리의 이점과 경보 발생시 휴대폰 TRIP 수신으로 항시 관리의 이점도 얻을 수 있다.

참고 문헌

- Antoniou P. "Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria," *Wat. Res.* 24, 97. (1990),
- Arora M. L., Barth E. F., and Umphres M. B., "Technology evaluation of sequencing batch reactors," *J. WPCF*, 57. 867~875 (1985).
- Avnimelech Y., Diab S. and Kochba M., "Development and evaluation of a biofilter for turbid and nitrogen rich irrigation water," *Wat. Res.*, 27, 785~790 (1993).
- Barnard J. L., "Cut N and P without chemicals," *Water and Wastewater Engineering*, 11(7), 33~36 (1974a).
- Barnard J. L., "Cut N and P without chemicals," *Water and Wastewater Engineering*. 11(8), 41~44 (1974b)
- Bundgaard I. and Nielsen F. M., "Stability of effluents from biological nutrient removal plants-danish long-term operating and optimization experience, Paper presented at 62nd Annu. Conf. WPCF, San Francisco, Calif. (1989).
- Burdick C. R., Refiling D. R. and Stensel H. D., "Advanced biological treatment to achieve nutrient removal," *J. WPCF*, 54, 1078~1086 (1982)
- Comeau Y., Hall K. J., and Hancock R. E. W., "Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal from wastewater," *Wat. Res.* 20(12), 1511~1521 (1986).
- Downing A. L. and Painter, H. A., "Nitrification in the activated sludge process," *J. Proc. Inst. Sew. Purif.* 64, 130~158 (1964).
- Ekama G. A., Siebritz I. P. and Marais G. V. R., "Consideration in the process design of nutrient removal activated sludge processes," *Wat. Sci. Tech*, 15, 283~318 (1983).
- Ekama G. A., "Biological excess phosphorus removal design and operation of nutrient removal activated process," *Wat. Res. Commission*, P. O. Box 824, Petria 0001, South Africa, 175 (1984).
- Gerber A., Mostert E. S., Winter C. T. and de Villiers R. H. "Interactions between phosphate, nitrate and organic substrate in biological nutrient removal processes." *Wat. Sci. Tech.*, 19. 183-194 (1987).
- Gujer W., "The activated sludge model No. 2: Biological phosphorus removal", *Wat. Sci. Tech.*, 31, 1~11 (1995).
- Henze M., "Capabilities of biological nitrogen removal processes from wastewater," *Wat. Sci. Tech.*, 23(4/6), 669~679 (1991).

Hoepker E. C. and Schroeder E. D., "The Effect of loading rate on batch activated sludge effluent quality," J. WPCF, 51, 264~273 (1979).

Ibrahim A., Al-Ghusain, Jason H. ad Oliver J. Hao, "Using pH as a real-time control parameter for wastewater treatment and sludge digestion processes," Wat. Sci. Tech., 30(4), 159-168 (1994).

Irvine R. L. and Bush A. W., "Sequencing batch biological reactors - an overview," J. WPCF, 51, 235 (1979)

Irvine R. L. and Ketchum I. H., "Full-scale study of sequencing batch reactors, US EPA in press., (1982).

Irvine R. L. and Davis W. B., "Use of sequencing batch reactors for waste treatment" CPC International, Corpus Christi, Texas. Proc. of the 26th ann. Purdue Indust. Waste Conf., 26, 450~462 (1971).

Johansen N. H. et al., "Optimum operation of a small sequencing batch reactor for BOD and nitrogen removal based on-line OUR-calculation," Wat. Sci. 35, 29-36 (1997).

Kuba T., Smolder G., avn Loosdrecht M. C. M. and Heijnen J. J., "Biological phosphorus removal from wastewater by anaerobic-anoxic sequencing batch reactor," Wat. Sci. Tech., 27(5/6), 241~251 (1993).

Lawrence A. W. and Brown C. G., "Design and control of nitrifying activated sludge systems," J. WPCF, 48, 1779 (1976).

McClintock S. A., "Nitrate versus oxygen respiration in the activated sludge process," J. WPCF 60, 342 (1988).

Metcalf and Eddy, "Wastewater engineering, treatment, disposal, reuse," McGraw Hill. (1991).

Mino T., Arun V. and Tsuzuki Y., "Metabolism of carboxylic acids located in and around the glycolytic pathways and TCA cycle in the biological phosphorus removal process," Wat. Sci. Tech., 21, 363~373 (1989).

Negel C. A. and Haworth J. G., "Operation factors affecting nitrification in the activated sludge process," paper presented at the 42nd Annual Conference of the J. WPCF. Dallas, TS. (1969).

Nelson, L. M. and Knowles R., "Effect of oxygen and nitrate on nitrogen fixation and denitrification by azospirillum brasilense grown in continuous culture", J. Gen Microbiol., 24, 1395(1978).

Plaza G., Robredo P., Pacheco O. and Saravia A. T., "Anaerobic treatment of municipal solid waste". Wat. Sci. Tech., 33(3). 169~175 (1996).

- Poduska, R. A., "A Dynamic model of nitrification for the activated sludge process," Ph. D. Thesis, Clemson University.(1973).
- Prakasam T. B. S., "Pilot-scale studies of single-stage nitrification," J. WPCF, 51, 1904. (1979).
- Rayne, W. J. and Riley P. S., "Suppression by nitrate of enzymatic reduction of nitric oxide", Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 132, 258 (1969).
- Rusten B. and Eliassen H., "Sequencing batch reactors for nutrient Removal at small wastewater treatment plants," Wat. Sci. Tech., 28 (10), 233~242. (1993).
- Schlegel H. G., "Allgemeine microbiologie." Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1992).
- Sharma B. and Ahlert R. C. "Nitrification and nitrogen removal," Wat. Res., 11, 897~912 (1977)
- Siebritz I. P., Ekama G. A., and Marais B. W., "A parameter model for biological excess phosphorus removal," Wat. Sci. Tech., 15(3/4), 127~152 (1983).
- Stensel H. D., McDowell C. S. and Ritter E. D., "An automated biological nitrification toxicity test," J. WPCF. 48, 2343 (1976).
- Stenstrom M. K. and Poduska R. A., "The effect of dissolved oxygen concentration on nitrification." Wat. Res. 14, 643~656 (1980).
- U.S. Environmental Protection Agency, "Process design manual for nitrogen control," Office of Technology Transfer, Washing, D.C. (1975).
- Werner and Kayser "Denitrification with biogas as external carbon source," Wat. Sci. Tech. 23, 701~708 (1991).
- Wentzel M. C., Ekama G. A. and Marais G.V.R., "Processes and modeling of nitrification denitrification biological phosphorus removal systems," Wat. Sci. Tech., 25(6), 59~82 (1992).
- Wentzel M.C., Lotter L. H., Ekama G. A., Loenwenthal R. E. and Marais G. V. R., "Evaluation of biochemical uptake of phosphate," Wat. Sci. Tech., 23., 567~576. (1991).
- Werzemark C. T. and Gannon J. J., "Oxygen-nitrogen relationships in autotrophic nitrification," Appl. Microbiol., 15, 211 (1967).
- Wounters-Wassiak K., Heduit A., Audic J. M. and Lefevre F., "Real-time control of nitrogen removal at full-scale using oxidation reduction potential," Wat. Sci. Tech., 30, 207~210 (1994).
- Zayed G. and Winter J., "Removal of organic pollutants and of nitrate from waste water from the daily industry by denitification." Appl. Microbiol & Biotech., 49(4) (1998).

- 김성희, “연속 회분식 반응조의 자동제어” 부경대학교 환경공학과 석사학위논문 (2000).
- 윤조희, “SBR을 이용한 생물학적 탈인에 있어 유기물 및 거동에 관한 속도모델” Environmental Research Institute, Kyungnam Univ. 81~94 (1996).
- 이동석, “생물학적 영양소 제거를 위한 분할주입 SBR공정의 자동제어” 부경대학교 환경공학과 박사학위논문. (2001a).
- 유평중, “외부탄소원 주입시 영양염류의 생물학적 제거를 위한 자동제어 SBR공정에 관한 연구” 부경대학교 환경공학과 박사학위논문. (2002).
- 최해경, “무산소-호기-무산소-탈기 공정을 이용한 고도하수처리에 관한 연구” 부경대학교 환경공학과 박사학위논문. (2000).
- 길대수, “여제를 사용한 무산소-호기공법의 질소 및 인제거에 관한 연구” 부경대학교 환경공학과 석사학위논문(1996).
- 이창근, “고정생물막 공법에서 부착미생물의 역세에 관한 연구” 부경대학교 환경공학과 석사학위논문(1995).
- 이호식, “Full-Scale 연속유입식 SBR 공정을 이용한 소규모하수처리장에서 질소제거” 대한도목학회, 제21권, 147~155 (2001).
- 최찬식, 김동한, 정태학, “SBR공정에서 질산염이 질소와 인의 제거에 미치는 영향” J. KSWQ. Jun, 82~89 (1994).
- 홍성민, 마을 하수처리시스템 구축에 관한 연구(2001)
- 한기백, “연속회분식 반응기에 의한 유기물과 영양염의 동시 제거” 부산대학교 환경공학과 박사학위논문, (1998).
- 환경부, “수질환경보전법” 환경보전협회, (2000).
- 계장기술, (1998.1~2003.5).
- 무인화기술, (1998.1~2003.5)
- 21C FA VISION, (2001.1~2003.5).
- 김상진, “자동제어란 무엇인가”성안당(1996).

감사의 글

참으로 많은 시간을 학교에서 보냈습니다. 지나간 시간들은 지금 생각하면 아쉬운 기도 하고, 반성할 부분도 많지만 또한 저에겐 소중한 시간들이었다고 생각합니다. 많은 잘못에도 불구하고 항상 사랑으로 감싸주신 이 병헌 교수님께 감사의 말씀을 전합니다. 교수님이 안계셨다면 저는 이 자리까지 오지 못했을 것입니다. 건강하십시오. 또한 박 청길 교수님, 이 석모 교수님, 강 입석 교수님, 여 석준 교수님, 이 제근 교수님, 김 일규 교수님들께도 항상 지켜봐 주신 은혜에 감사의 말씀을 전합니다.

이 용화 선배님, 항상 실험실을 정신적으로 지켜주셔서 감사합니다.

이 창근 선배님, 논문 쓰신다고 고생하셨습니다. 지금쯤은 완성된 논문을 보면서 한번 웃으셔도 될 터인데요, 제가 배워야 될 부분들이 너무 많은데 아쉽네요. 은주 선배님도 실험실의 대모로서 잘 꾸려나가고요, 저 때문에 속상했던 일, 이젠 웃으며 귀엽게 봐주시길.. 성재 형, 건투를 빕니다. 지금은 힘드시겠지만 조금만 더 참아봅시다. 해 뜰 날은 오겠지요. 못난 후배, 많이 배우고 갑니다. 정숙이 누나, 저 머리가 나빠서 이제 졸업합니다. 연락 드리겠습니다. 대수 형, 못난 후배 신경 쓴다고 고생 많이 하셨습니다. 항상 좋아합니다. 정래 형도 항상 안타까워했는데 고맙습니다. 조이엔텍 여러분들, 파이팅입니다. 박부장님을 위시하여 정인이, 동인이, 은숙이 고군분투 하시고, 항상 잘 되길 빕니다. 윤희, 명환이, 숙희, 성훈이, 재성이, 현미, 용민이, 용덕이, 영미, 수희 여러분들의 은혜를 잊지 않겠습니다. 선배랍시고 해준 것은 없지만 제 마음 속에 여러분들을 새겨 두겠습니다. 내 친구, 주형이, 고마우이.. 이젠 네 차례야^^

저의 선배님들, 후배님들.. 언제나 같은 실험실에서 공부하고, 웃고, 울었던 일들을 잊지 않았음 합니다. 몸은 비록 가까이 있진 않지만, 마음은 항상 옆에 있으니 서로 힘이 되어서 열심히 살았음 합니다. 저도 잊지 않겠습니다.