

## 생흡착을 이용한 하수의 유기물, 질소, 인제거에 관한 연구

# A Study on the Biosorption Process for Organic and Nutrient Removal from the Wastewater

김현갑<sup>1,\*</sup> · 박주석<sup>1</sup> · 정형근<sup>2</sup>

Kim, Hyun-Kab<sup>1,\*</sup> · Park, Ju-Seok<sup>1</sup> · Chung, Hyung-Keun<sup>2</sup>

1 서울산업대학교 환경공학과

2 연세대학교 환경공학부

(2004년 5월 1일 접수: 2004년 7월 22일 최종수정논문채택)

### Abstract

The experimental conditions and relationships between parameters such as organic matter, aeration volume, aeration time, and precipitation time for the effective treatment of domestic wastewater were investigated. With the batch systems, the adsorption amount of unit microbe was measured with the change of MLSS concentration, precipitation time, and aeration amount. Theoretical adsorption amount of microbes was then numerically formulated by use of a SPSS multiple analysis as follows:

$$Y = -0.0106(X_1) + 0.07310(X_2) + 42.705(X_3) + 62.700$$

In this study, the amount of organisms to be removed in the range of MLSS concentration 2,000~4,500 mg/l were examined.

In order to investigate the optimal condition of nitrification, the upper water in the biosorption stage was used as the initial experiment water. The results showed that the C/N ratio was 1.5 and the reaction time for the optimal nitrification was 1.5 hr.

When the adsorption efficiency for microbe biosorption was 66%, the optimum denitrification efficiency was 83.3%. When the optimum parameters obtained from the batch experiment were applied to the lab-scale operation, the total retention time from the flow-in to flow-out was 10 hours and the removal efficiency was 93.8% for COD<sub>C</sub>, and 80.9% for TN. For the full-scale operation, the total retention time was 9.0 hours and the removal efficiency was 94.4% for BOD, 89.6% for COD<sub>Cr</sub>, 88.0% for TN, and 86.2% for TP.

**Key words:** Biosorption, organism, nitrogen, phosphorous, denitrogenation, adsorption amount per unit microbe, microbe concentration, giveaway amount, precipitation time, C/N ratio

**주제어:** 생흡착, 유기물, 질소, 인, 질산화, 탈질, 단위 미생물당 흡착량, 미생물농도, 포기량, 침강시간, C/N비

\*Corresponding author Tel: +82-2-970-6623, FAX : +82-2-971-5776, E-mail: hjsbyb@snut.ac.kr (Kim, H.K.)

### 1. 서 론

우리 나라의 하수 성상, 계절적 변화에 대응이 가능하면서, 최소부지로서 처리효율을 극대화시킬 수 있는 고도처리 공법을 개발하기 위하여 연구를 수행하였으며, 이러한 요구에 대응이 가능한 공법으로서 1970년대 개발된 활성슬러지 변법인 접촉 안정화법의 유기물 제거 메커니즘을 응용한 생흡착공법(Biosorption Process)을 제안하여, 생흡착 원리를 기본으로 질소를 처리하는 공정을 검토하는 것을 목적으로 하고 있으며, 타 처리공정과 차이점은 생흡착에 의하여 유기물, 부유물질, 콜로이드물질을 흡착하여 침전하여 제거하고, 생성된 슬러지를 탄소원으로 탈질조에 공급하는 것에 차이가 있다.

처리공정은 생흡착 → 질산화 → 탈질 → 인 방출 공정으로 이루어져 있으며, 생흡착에 의하여 유기물을 제거하고, 상정수의 질소를 질산화 시킨 후에 탈질 공정으로 보내어 탄소원인 슬러지와 혼합시켜 질소를 제거시키고, 재차 호기성조건에서 인 방출조를 거친 후에 침전하여 여액은 방류하여 침전물의 일부를 반송슬러지로 생흡착조에 보내고, 잉여 슬러지는 폐 슬러지로서 배출하는 과정으로 구성되어 있다. 중요한 공정은 생흡착이며, 부 공정이 질산화, 탈질 공정이다. 이러한 공정실험을 회분식 및 연속식 실험을 통하여 질소, 인 제거 원리를 규명했으며, 현장에서 설치한 pilot plant에서는 실제 응용화 가능성을 검토하였다.

특히 생흡착의 흡착과 분해특성을 규명하기 위하여 흡착 속도 및 오염 물질 농도와의 상관성, 생흡착율, 질산화율, 탈질을 등을 조사하여 가장 효과적인

유기물 제거와 질소 제거방법에 대한 상관관계를 검토하였다. 이와 같은 결과는 유기물과 질소의 분리를 통한 질산화 시간의 단축과 유기물 부족에 의한 생물학적인 질소 제거의 문제점을 해결하는 데 기초자료로서 사용이 가능하다.

또한 질산화 과정에서 질산화 효율에 영향을 줄 수 있는 인자들에 대하여 검토하였으며, 이 과정에서 유입 COD/TN비(C/N비)가 질산화 효율과 질산화 반응 시간에 중요 인자로 확인되어 생흡착을 거친 상정수의 COD/TN비에 따른 질산화 효율을 분석하여 질산화 반응 시 최적의 COD/TN비를 검토하였다. 그리고 회분식 및 연속식에 의한 생흡착의 원리규명과 운전상에 있어서 최적조건을 도출하고, 외부 탄소원이 없는 자체 생흡착 슬러지의 반응조건을 결정한 후에 현장에 FULL-SCALE PLANT를 설치하여 실제 응용화 가능성을 검토하였다.

### 2. 실험

#### 2.1. 회분식실험

생흡착의 최적 조건을 알아보기 위하여 회분식 실험을 수행하였다. 미생물에 의한 유기물의 흡착에서 흡착을 제어하는 인자를 확인하고, 인자의 최적조건을 찾기 위한 실험으로서 공기량, 미생물농도, 반응 시간, 침전시간을 변화시켜, 각각의 조건에 따른 유기물의 흡착 정도를 조사하였다. 생흡착 후 질산화조로 유입되는 암모니아성 질소의 변환속도와 COD/TN비에 따른 질산화율을 측정함으로써 유입 C/N비가 질산화효율에 미치는 영향을 확인하여 처리효율을 향상시킬 수 있는 방안을 알아보려고 하였다. 또한 생흡착을 이용한 공정의 현재 탈질 능력을 알아보

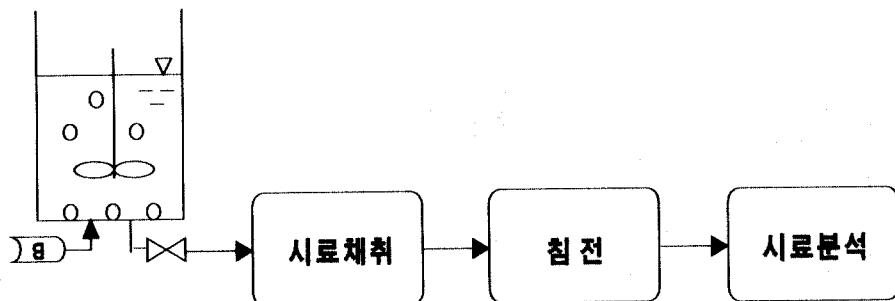


Fig. 1. Batch Reactor and Analysis Procedure.

**Table 1.** HRT and Operation Conditions of Lab-Scale Reactor

Reactor	HRT(hr)	조건
Biosorption reactor	0.5	oxic
1st clarifier	1.5	settle
Nitrification reactor	2.0	oxic
Denitrification reactor	4.0	anoxic
Polishing reactor	0.5	oxic
2nd clarifier	1.5	settle
TOTAL	10.0	

고, 탈질 능력을 향상시키기 위한 최적인자를 찾는 데 중점을 두었다.

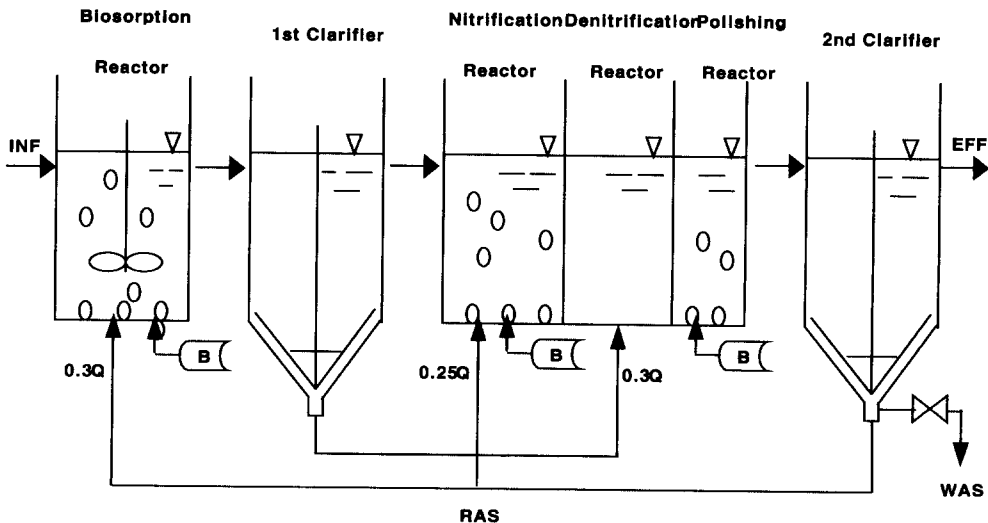
반응 조로서 4l 아크릴 용기를 제작하여 수행하였으며, Lab scale의 반응기 최종침전지 슬러지와 하수 처리장 유입 수를 채취하여 실험에 이용하였다. 공기량은 DO 1mg/l 이하로 조절 가능한 실험실용 브로워를 사용하여 0l/min, 0.025l/min, 0.050l/min, 0.075l/min으로 주입, 반응시간은 0, 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15분으로 조절하여 반응시간 후 일정량을 채취하여 30분간 침전시킨 후 상정수를 분리하여 분석하였다. 분석의 진행은 반응시간, 미생물 량, 공기 량 중에서 두 가지를 고정하고 나머지 한가지를 변화시키는 방법으로 반복실험을 수행하였다. 또한 침전성 측정은 메스실린더에 반응이 끝난 슬러지와 하수 혼합액을 채취하여 시간별로 슬러지 침강높이를 측정하여 분석하였다.

생흡착조를 거친 상정수를 이용한 질산화 속도를 알아보기 위하여 생흡착에서 유기물을 흡착시킨 후 일차침전지(생흡착침전지)에서 고액 분리된 상정수를 이용하였고, 슬러지는 질산화조에 존재하는 미생물을 농축하여 사용하였다.

탈질 실험은 시료 주입 시에 용존 산소가 존재하게 되면, 미생물체가 최종 전자수용체로서 질산기보다는 산소를 사용하게 되므로 시료 주입 시에 매우 신중을 기하였다. 반응조내 하수와 슬러지의 원활한 반응을 위해 교반기를 설치하여, 저속 교반 시켜 슬러지가 침강되지 않고, 하수와 접촉되도록 설치하였다. 반응시간이 경과한 후에 혼합하수는 반응기에 설치된 밸브를 이용하여 1l의 beaker에 담아 침전시킨 후 상정수를 채취하였다.

## 2.2. LAB-SCALE 실험

일일용량 0.3m<sup>3</sup>의 실험실 규모의 반응조를 아크릴 수지 판으로 제작하였다. 반응조의 구성은 Fig. 2와 같이 생흡착조, 1차침전조, 질산화조, 탈질조, 인 흡수조, 2차침전조의 순서로 구성되어 있으며, 각 조의 체류시간 및 조건은 Table 1과 같다. 또한 내부 반응은 2차 침전조에서 생흡착조와 질산화조로 0.3Q, 0.25Q로 각각 반송하였으며, 1차 생흡착 침전조의 침전물을 탈질조로 0.3Q로 반송시켜 운전하였다. 실험항목은 COD<sub>Cr</sub>, TN, TP, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SS, 온도,



**Fig. 2.** Flowsheet of Process.

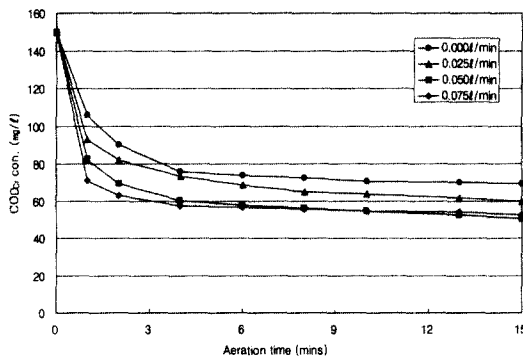
**Table 2.** HRT and Operation Conditions of Full-Scale Plant

Reactor	HRT(hr)	조건
Biosorption reactor	0.3~0.6	oxic
1st clarifier	1~2	settle
Nitrification reactor	1.5~2.5	oxic
Denitrification reactor	1.5~2.5	anoxic
Phosphorous uptake	0.4~0.5	anoxic
Polishing reactor	0.4~0.5	oxic
2nd clarifier	2.0~3.0	settle
TOTAL	11.0	

pH, DO 등으로 Standard Method 19th, 수질환경공정 시험법, DR/4000 Spectrophotometer 등과 기기를 사용하여 실험하였다.

**2.3. FULL- SCALE 실험**

2001년 8월24일에서 2002년 1월 9일까지 실험을 수행하였으며, 유입원수는 A시 환경사업소 6만톤 규모의 제1처리장의 유입되는 하수를 취하여 진행하였다. 실험장치는 회분식 실험과 Lab scale 규모의 연속식 실험을 통해 결정된 운전인자를 토대로 50톤/일 규모의 실증플랜트를 만들어 수행하였다. 탈질에 필요한 유기물은 일차침전조에 생성된 슬러지를 이용하였고, 공정의 구성은 Lab-scale과 동일한 Fig. 2의 공정으로 생흡착조, 일차침전조, 질산화조, 탈질조, 인흡수조, 최종침전조 및 인방출조로 구성되어 있으며, 각 조의 운전시간은 Table 2와 같다.



**Fig. 3.** Variations of COD<sub>Cr</sub> Concentration by Aeration Time.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 생흡착의 최적조건의 검토를 위한 실험결과**

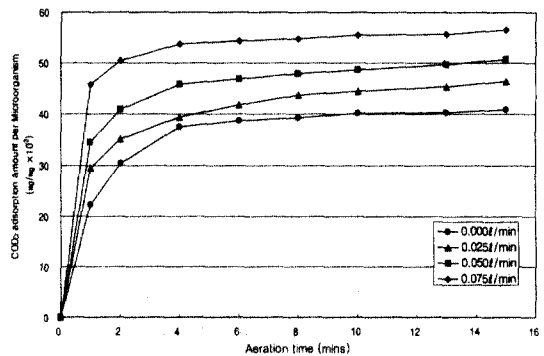
(1) 미생물 접촉시간에 따른 COD<sub>Cr</sub> 제거율

Fig. 3는 포기시간에 따른 COD<sub>Cr</sub> 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 빠른 시간에 생흡착이 일어나는 것을 알 수 있으며, 초기 6분 동안에 50%이상의 제거효율을 보여주고 있다. 또한 공기량을 증가시키는 것에 의하여 제거효율이 증가하였으나, 일정량 이상으로 공기를 가하면 그 제거량이 거의 변화되지 않는 것이 확인되었다. 이러한 실험결과에 의하여 최적의 공기량은 0.050l/min, 포기시간은 10분으로 가장 효과적인 처리효율을 얻을 수 있다는 것이 확인되었다.

Fig. 4는 생흡착조내에서 활성슬러지를 채취하여 미생물 량을 결정한 후에, 포기시간의 경과에 따라 미생물 량에 따른 유기물의 흡착량을 나타냈다. Fig. 3과 유사한 경향을 보여 주고 있으며, 공기량의 증가에 따라 단위미생물 당의 유기물의 흡착량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 포기시간의 경과에 따라 4분까지 가장 높은 제거속도를 보였으며, 약 6분 정도에 흡착반응의 대부분이 완결되는 것으로 알 수 있다.

(2) 생흡착 반응의 영향인자와 제거효율에 대한 상관성

생흡착 반응에 영향을 미치는 인자는 슬러지의 량과 관계있는 미생물농도(MLSS), 주입공기량, 침강 시간 등이다. 이들간의 상관성을 SPSS(10.0)를 분석



**Fig. 4.** Variations of COD<sub>Cr</sub> Adsorption Amount per Microorganism by Aeration Time.

**Table 3.** The Error of Actual and Predictable Value with Removed Mass per Microorganism by Biosorption

Parameter	Unit	Value
Range of the residuals, R*	mg/mg	14.62 (5.8-(-8.75))
Mean of the residuals, $X_{mean}^{***}$	mg/mg	0.0027
Standard Error of the mean, SE <sup>***</sup>	mg/mg	3.177
Root Mean Squared Error, RMSE <sup>****</sup>	mg/mg	4.06

결과 다음 식과 같았다. 이용된 값은 30분간 포기시킨 회분식 실험을 통하여 얻은 것을 이용하였으며, 여기에서 독립변수를 미생물농도, 주입 공기량, 침강 시간을 하였고, 종속변수로 단위 미생물당 유기물 흡착량을 이용하였다.

$$Y = -0.0106(X_1) + 0.07310(X_2) + 42.705(XM_3) + 62.700$$

여기서

Y: 단위미생물당 흡착량(mg/mg)

$X_1$ : 미생물농도(mg/l)

$X_2$ : 침강시간(min)

$X_3$ : 포기량(l/min)

또한 예측방정식의 오류도를 알아보기 위해 실측치가 나온 값과 비교를 해본 결과가 Table 3과 같다. 표본평균오차(SE)는 3.177mg/l이었으며, 제곱근평균오차(RMSE)는 4.06mg/l이었다. 미생물의 농도가 높아질수록 오차가 커지는 것으로 나타났다.

$$+R = X_{max} - X_{min}, \quad **X_{mean} = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$

$$***SE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2}$$

$$****RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

여기서

$X_{max}$  = the maximum residual

$X_{min}$  = the minimum residual

$P_i$  = simulated specific removal concentration

$O_i$  = observed specific removal concentration

$x_i$  = the residual ( $P_i - O_i$ )

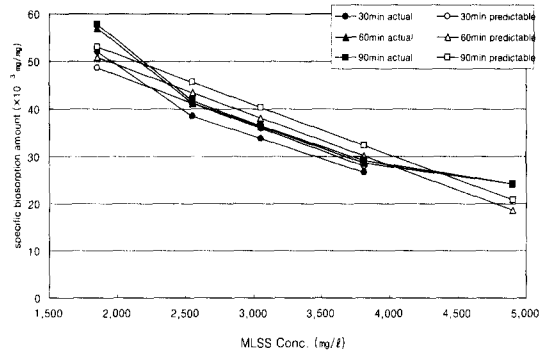
$n$  = the number of observation ( $n = 70$ )

(3) MLSS와 침강시간 변화에 따른 비흡착량의 관계

MLSS 농도가 어디까지 적합한지 알아보기 위하여 MLSS 농도변화와 침강시간에 따른 비흡착량의 예측치와 실측치를 비교하였다. Fig. 5은 침강시간별 MLSS에 따른 비흡착량의 변화를 나타낸 것으로, 대체로 같은 양상을 나타내고 있는 것을 알 수 있으며, 대략 MLSS 2,000mg/l에서 4,500mg/l의 구간에서 예측량과 실측량의 기울기가 거의 일치하며 그 오차범위는 10% 이하인 것을 알 수 있다. 따라서 본 예측식은 MLSS 2,000~4,500mg/l의 구간에서는 사용이 가능할 것으로 판단된다.

(4) MLSS와 공기량 변화에 따른 비흡착량의 관계

Fig. 6은 공기량 변화에 따른 비흡착량의 변화를 자세히 나타낸 것으로서 비흡착량의 변화에 공기량이 많은 영향을 미치지 않고 있는 것으로 나타났다. 실제로 미생물의 흡착반응은 대부분 임의성균에 의해 진행 됨으로 유입수에 DO가 충분히 존재한다면 공기를 접하지 않아도 충분한 흡착효과를 볼 수 있다고 판단된다. 하지만 유입수의 DO가 일정하게 반응기에 유입된다고 볼 수 없기 때문에 일정 공기량을 공급하는 것이 좀 더 나은 효과를 볼 수 있다고 생각된다.



**Fig. 5.** Change of Biosorption Quantity Ratio by MLSS and Sedimentation Time Change.

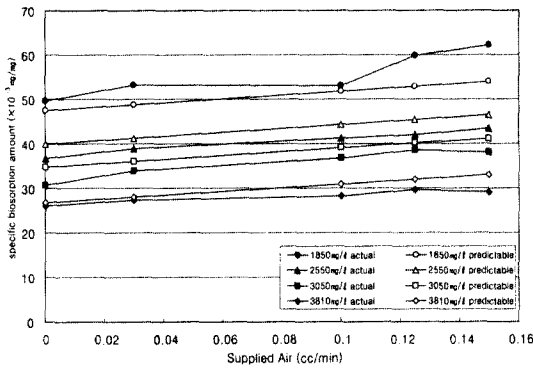


Fig. 6. Change of Biosorption Quantity Ratio by MLSS and Air Quantity Change.

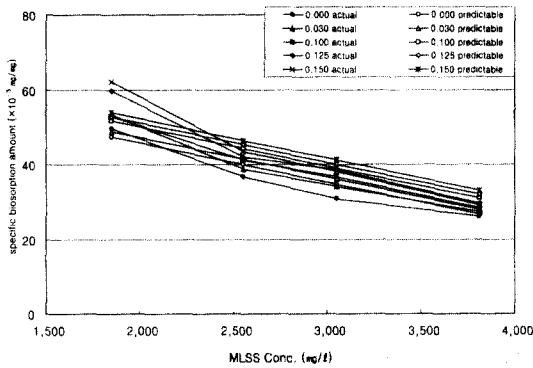


Fig. 7. Change of Biosorption Quantity Ratio by MLSS and Air Injection Quantity change.

다. 또한 Fig. 7은 MLSS 변화에 따른 비흡착량의 변화를 나타낸 것으로 앞서 말한 바와 같이 MLSS가 높아짐에 따라 공기량의 주입 유무는 비흡착량에 많은 영향을 주고 있는 것으로 나타나고 있다. 본 예측식은 MLSS 2,000~4,500mg/l에 적용하는 것이 효과적일 것이라 사료된다.

### 3.3. Lab-Scale 실험결과

#### (1) 유기물(COD<sub>Cr</sub>)에 대한 결과

운전기간 동안 유입된 합성 폐수의 농도는 유입수는 평균 149.9mg/l이었으며, 처리수는 평균 9.0mg/l의 농도로 유입수 농도변화에 큰 변화 없이 안정적인 처리가 되었다. Fig. 8은 각 반응 단계별 유기물 농도를 운전기간 동안 측정된 수치의 평균으로 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 대부분의 유기물은 생흡

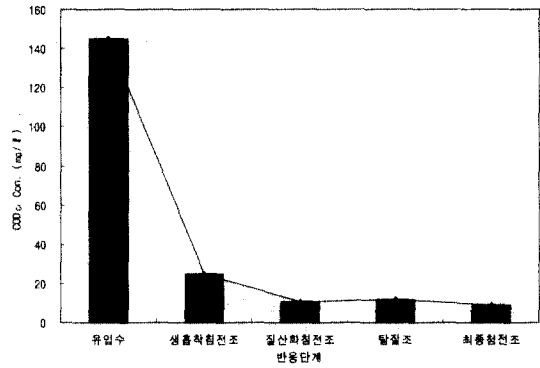


Fig. 8. COD<sub>Cr</sub> Concentrations Change of Each Reactor.

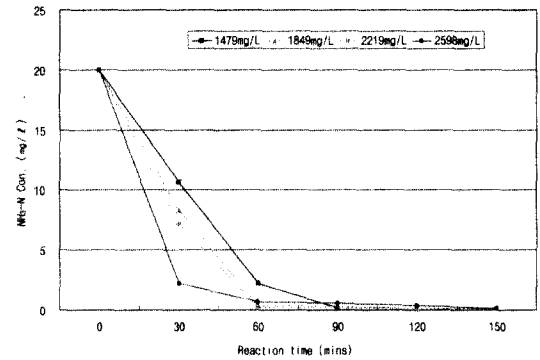


Fig. 9. NH<sub>3</sub>-N Concentrations Change by Reaction Time.

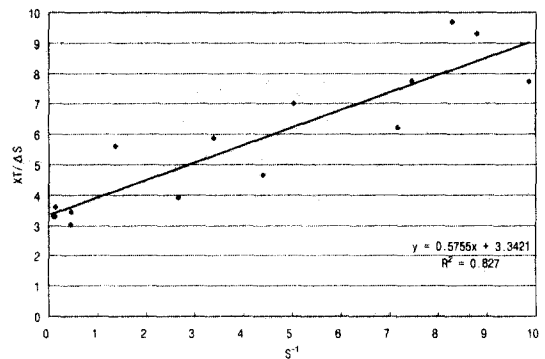


Fig. 10. Monod Equation Transformation of NH<sub>3</sub>-N.

착(Biosorption)조를 통해 제거됨을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 생흡착(Biosorption)조를 거친 폐수와 최종침전조의 침전된 슬러지를 이용하여 반응시간을 30분에서 150분까지 변화를 주어 적정 미생물 농도와 반응시간을 결정하기 위한 회분식 실험을 수행한 결

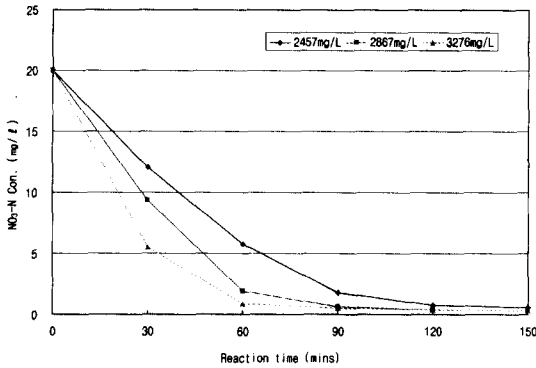


Fig. 11.  $\text{NO}_3\text{-N}$  Removal Rate by Reaction Time.

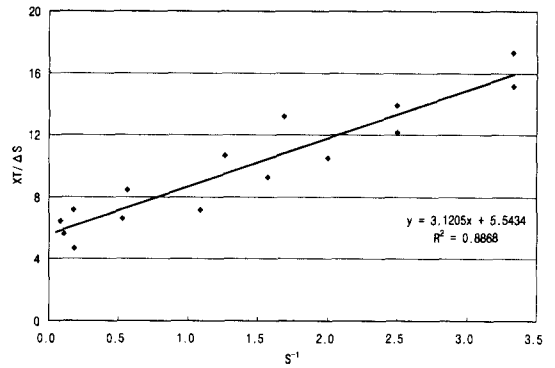


Fig. 13. Monod Equation Transformation of  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

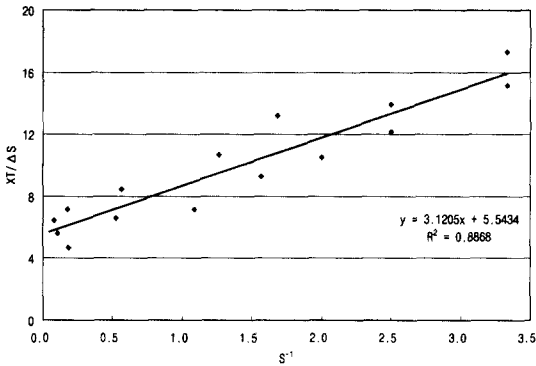


Fig. 12. Monod Equation Transformation of  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

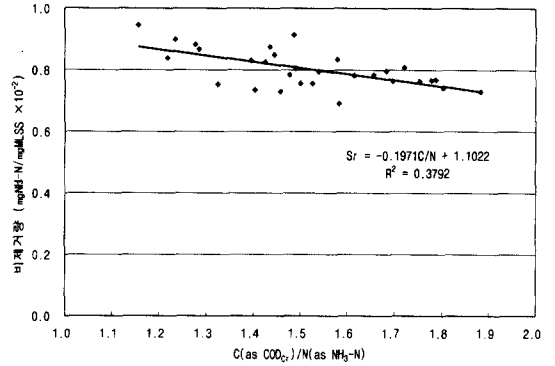


Fig. 14.  $\text{NH}_3\text{-N}$  Removal Rate by C/N Ratio.

과이다. 짧은 반응시간에 완벽한 질산화를 이루기 위해서는 미생물 농도 2,219mg/l에 반응시간 90분에서 유입 암모니아성질소농도 20.0mg/l를 0.1mg/l로 완벽한 질산화를 수행할 수 있음이 확인되었다.

또한 암모니아성 질소에 대한 Monod 변환해 보면 Fig. 10과 같다. 따라서 본 공정에서의 질산화균 최대 성장속도는  $0.3\text{d}^{-1}$ 이며, 반포화상수는 1.9mg/l로서 나타났다.

### (3) 탈질에 대한 실험결과

Fig. 11는 탈질에 필요한 반응시간과 미생물 농도를 확인하기 위하여 실험한 결과 30분에서 유입 질산성질소농도의 50% 이상이 탈질 됨을 알 수 있고, 완벽한 탈질을 위해서는 최소한 120분 이상의 반응시간이 필요함을 알 수 있다. 또한 질산성 질소에 대한 Monod 변환을 해본 결과 Fig. 12과 같다. 탈질균 최대 성장속도는  $0.2\text{d}^{-1}$ 이며, 반포화상수는 17mg/l이었다.

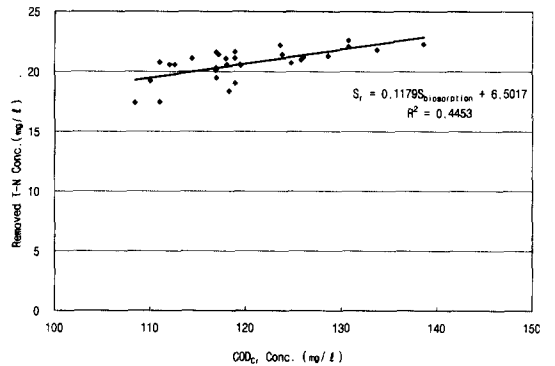


Fig. 15. T-N Removal Rate Change by Biosorption

### (4) 생흡착 공정에서의 질소 제거 거동

Fig. 13은 질산화조로 유입되는 C/N비와 질산화율의 Monod 변환 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이  $R^2 = 0.8868$ 로 상관하는 것으로 나타났다.

Fig. 14는 유입 C/N비에 따른 질산화율을 나타낸

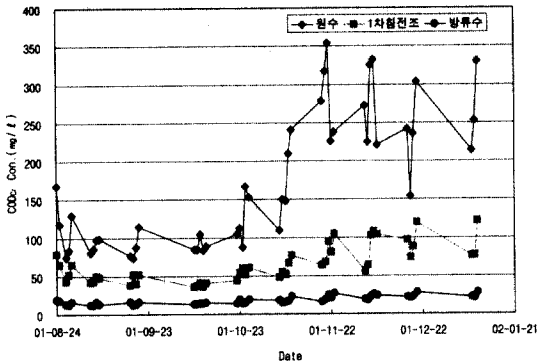


Fig. 16. COD<sub>Cr</sub> Concentrations Change during Operating Time on Full-Scale.

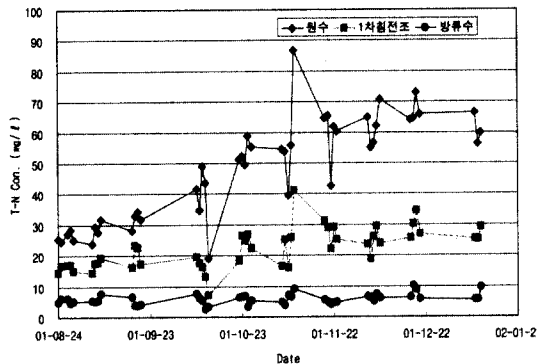


Fig. 17. T-N Concentrations Change during Operating Time on Full-Scale.

그래프로 C/N비와 질산화율의 상관관계를 분석하였다. 유입되는 폐수의 C/N비가 높을 경우 미생물당량 암모니아성 질소의 변환율이 떨어짐을 알 수 있다. Fig. 15은 생흡착조에서 흡착된 유기물량과 질소제거에 상관관계를 규명하고, 흡착량에 따른 질소제거율을 확인하고자 수행하였다. 많은 차이를 보이고 있는 것은 아니지만 흡착량이 적을 수록 질소제거율이 떨어짐을 알 수 있다.

### 3.4. FULL-SCALE 운영을 통한 실험 결과

#### (1) 유기물(COD<sub>Cr</sub>)의 결과

Fig. 16은 COD<sub>Cr</sub>의 유입수 및 처리수의 농도를 나타낸 것이다. 유기물의 농도변화에 잘 대응하면서 지속적으로 일정하면서 안정적인 처리효율을 보였다.

#### (2) 질소(TN)의 결과

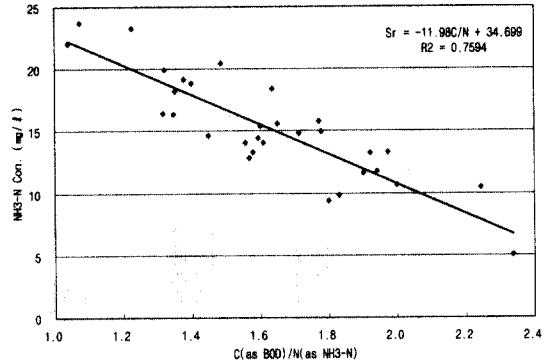


Fig. 18. Nitrification by C/N Ratio on Full-Scale.

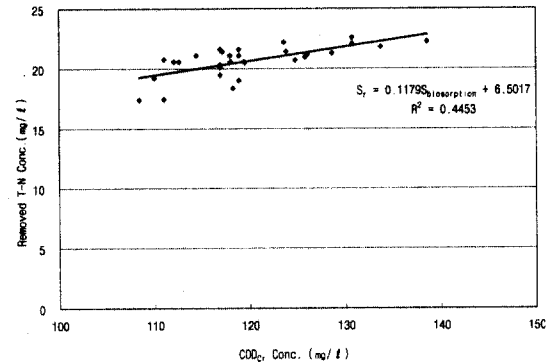


Fig. 19. Correlation between Biosorption and Removed Nitrogen Concentration on Full-Scale.

Fig. 17은 유입수의 TN 변화는 18.9mg/l~86.7mg/l로 심한 변화를 보이고 있고, 특히 겨울철로 갈수록 유입부하가 커지고 있지만 수온변화에 관계없이 처리수는 2.6mg/l~10.3mg/l로 안정적으로 처리가 되고 있다.

또한 Fig. 18는 반응시간을 고정하고, 미생물농도는 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하면서 측정된 값으로 유입 C/N비가 높을 경우 암모니아성 질소의 질산성질소로 변환율이 떨어지고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 19는 흡착 제거된 유기물량과 질소제거는 비례관계가 성립됨을 확인할 수 있고, 따라서 탈질시 충분한 탄소원이 공급되어야 탈질 반응이 진행된다.

### 3.5. 인의 변화 결과

Fig. 20과 Fig. 21은 운전기간 동안 분석된 인의 변



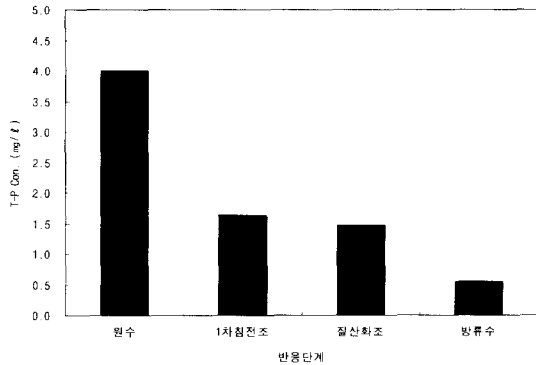


Fig. 20. T-P Concentrations Change Each Reactor on Full-Scale.

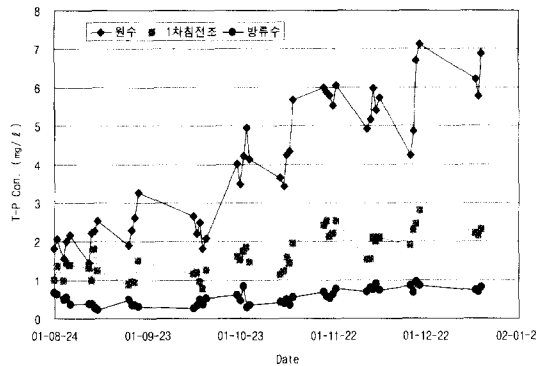


Fig. 21. T-P Concentrations Change during Operating Time on Full-Scale.

화를 나타낸 그래프로 각 반응단계별 인의 변화를 평균농도를 이용하여 표시한 것으로 본 연구에서 생흡착을 이용하여 유기물을 제거하기 위해 응용과 분석을 하면서 인 성분이 같이 미생물에 의해 흡착 제거됨이 확인되었다.

#### 4. 결론

회분식 실험, Lab-scale 반응기를 통한 분석, Full-scale를 통한 분석 등 다각적인 검토와 분석을 수행한 결과 다음과 같았다.

1. 본 연구에서 생흡착의 회분식 실험과 SPSS 회귀 분석을 통해 이론적인 미생물 접촉의 다항 예측 반응식을 유도하고, 제거율을 분석 다음과 같은 반응식이 도출되었다. MLSS 농도가 1,500~4,500mg/l 범위에서 단위 미생물당 제거율을 나타낸 반응식으로 미생

물당 제거할 수 있는 유기물의 양을 확인하여 실증에 적용할 수 있다. 또한 Root Mean Squared Error (RMSE) 4.06mg/mg, Standard Error of the mean(SE) 3.177mg/mg이었다.

$$Y = -0.0106(X_1) + 0.07310(X_2) + 42.705(X_3) + 62.700$$

2. C/N비가 1.5일 때 최적의 질산화효율을 보였고, 최적의 반응시간을 나타내었다.

3. 미생물 생흡착조에서 발생하는 흡착량과 탈질효율은 비례함을 확인하였다. 미생물 접촉조에서 흡착효율이 66.0%일 경우 탈질효율이 83.3%로 최적의 탈질조건을 나타내었다.

4. 회분식실험을 통해 분석된 결과를 종합하여 반응기를 구성하고, LAB-SCALE로 운전한 결과 반응기의 구성과 체류시간은 생흡착조 30min, 일차침전지 90min, 질산화조 120min, 탈질조 240min, 인흡수조 30min, 최종침전지 150min으로 하수가 유입되어 방류되는데 필요한 총체류시간은 10hr으로 이때 제거효율은 COD<sub>Cr</sub> 93.8%, TN 80.9%로 나타났다.

5. LAB-SCALE에서 도출된 결과를 토대로 운전인자를 확립하고, 이를 Full-SCALE에 적용한 결과 반응기의 구성 및 체류시간은 생흡착조 30min, 일차침전지 90min, 질산화조 120min, 탈질조 120min, 인흡수조 30min, 최종침전지 150min으로 하수가 유입되어 방류되는데 필요한 총체류시간은 9.0hr으로 이때 제거효율은 COD<sub>Cr</sub> 89.6%, TN 88.0%, TP 86.2%로 나타났다.

#### 참고문헌

Adams, C. E. and W. W. Eckenfelder. (1977) Nitrification Design Approach for High Strength Ammonia Wastewater., *J. WPCF.*, pp.413-420.  
 Chudoba, J., Cech, J. S. and Chudoba, P. (1985) The Effect of Aeration tank Configuration on Nitrification Kinetics., *J. WPCF.* 57, pp.1078.  
 Hall, I. R. (1974) Some Studies on Nitrification in the Activated Sludge Process, *J. WPCF.*, 73, pp. 538.  
 Huang, C. S. and N. E. Hopson. (1974) Nitrification Rate in Biological Process., *ASCE. J. Environ. Eng. Div.* 100, pp. 409.  
 Lawrence, A. W. and P. L. McCarty. (1970) Unified Basis For

- Biological Treatment Design and Operation, *Jour. San. Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engr.* **96**, pp. 757.
- O-Yul Kwon (1994) *Isotopic Simple Global Carbon Model: The use of Carbon Isotopes for Model Development.*, The University of Iowa., pp. 144-147.
- Shrinath, E. G., R. C. Loehr, and T.B.S. Prakasam. (1976) Nitrifying Organism Concentration and Activity., *ASCE. J. Environ. Eng. Div.* **102**, pp. 449.
- Stenstrom, M. K. and S. S. Song. (1991) Effects of Oxygen Transport Limitation on Nitrification in the Activated Sludge Process, *J WPCF.* **63**, pp. 208.
- Sutton, P. M., K. L. Murphy, and B. E. Jank. (1977) Nitrogen Control: A Basis for Design with Activated Sludge Systems., *Prog. Water Tech.* **8**, pp. 467.
- Wong-Chong, G. M. and R. C. Loehr. (1975) The Kinetics of Microbial Nitrification, *Water Res.* **9**, pp. 999-1002.