

## 상향류식 충전탑형 반응기에 의한 유기물 및 영양염류 동시 제거에 관한 연구

† 선 용 호

상지대학교 환경공학과

(접수 : 2003. 5. 30., 게재승인 : 2003. 6. 27.)

### A Study on the Simultaneous Removal of Organics and Nutrients in Upflow Packed Bed Column Reactor

Yong-Ho Seon†

Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660-Woosan-Dong, Wonju, Kangwon 220-702, Korea

(Received : 2003. 5. 30., Accepted : 2003. 6. 27.)

Biofilm process is preferred to activated sludge process in small domestic wastewater treatment plant because of its simplicity in operation and maintenance. Column reactor filled with waste ceramics and with waste plastics was used to remove pollutants in restaurant wastewater. COD removal at 18 hours of hydraulic retention time (HRT) gave 93.7% COD removal during the experimental period, where maximum COD removal was observed. Under same condition, average removal of total nitrogen and total phosphorus were 82.3% and 25.9%, respectively. Organic and nitrogen were efficiently removed with the HRT of 18 hours or more.

**Key Words** : Simultaneous removal, organics and nutrients, upflow packed bed column reactor, HRT, COD, T-N, T-P

#### 서 론

환경오염문제는 IMF 이후 경제개발 우선 정책으로 그 동안 소홀히 다루어져 왔으며 이로 인해 상수의 오염과 하천의 오염 그리고 연안 해역의 오염 등 수질오염이 심각한 상태에 직면하게 되었다. 따라서 정부에서는 법적 규제를 강화시키고 있으며 이의 예로 하수종말처리장과 마을 하수도의 경우 특정지역이 아닌 지역에서 현재 방류수 수질기준이 BOD 20 mg/L, COD 40 mg/L, SS 20 mg/L, T-N 60 mg/L, T-P 8 mg/L에서 2004년 1월 1일부터 BOD 10 mg/L, COD 40 mg/L, SS 10 mg/L, T-N 20 mg/L, T-P 2 mg/L으로 강화될 예정이다(1). 이를 해결할 수 있는 고도처리를 포함한 고효율 처리장치의 개발이 시급한 실정이다. 현재 수질오염의 주범은 생활오수로 인구의 증가와 국민생활수준의 향상으로 꾸준히 증가되어 2001년 현재 전국의 오수 발생량은 약 15,632천 m<sup>3</sup>/day에 이르고 있으며 하수종말처리장, 오수정화시설 또는 정화조 등의 개별처리시설에서 처리되고 있다(2). 그러나 마

을하수도 이하의 소규모 오수처리시설의 경우 하수관거의 정비미흡, 처리시설의 용량부족, 관리 소홀 등으로 인해 많은 오염원이 하천으로 방류되고 있는 실정이다.

현재에 수질 오염물의 제거에 많이 사용되고 있는 방법은 생물학적 처리법이다. 이 생물학적 처리법은 부착식과 부유식으로 크게 두가지로 나눌 수 있다. 현재 우리나라 하수종말처리장에서 사용하는 방식은 후자에 속하는 활성슬러지법이 90% 이상을 차지하고 있다(3).

그러나 이러한 부유식 방법은 고농도의 미생물을 유지관리하기가 어렵고, 슬러지 팽화 현상이 자주 나타나며, 유기물 부하에 대한 대처능력이 떨어지고, 부지가 넓고, 폐슬러지가 다량 발생한다는 점이다. 이를 개선한 부착식 방법에 많은 연구가 진행되고 있으며 부착식 방법의 대표적인 것은 생물막법으로 담체를 이용해 미생물을 부착시킨 다음, 폐수를 처리하는 방식을 말하는데 이의 장점은 슬러지 연령이 길고, 슬러지의 자기산화가 촉진되기 때문에 폐슬러지의 발생량이 적으며, 다양한 미생물 종이 군집을 형성함으로써 온도나 pH 변동, 유기물부하 및 난분해성 물질의 유입에 대한 대처능력이 뛰어나고 슬러지 팽화 현상으로 인한 슬러지 부상 등과 같은 문제점을 줄일 수 있는 것으로 알려졌다(4).

이런 생물막법도 여러 가지 담체에 따라 처리 능력을 달리 하고 있으며 처리 효율을 향상시키기 위해 각종의 담체에 대한 관심이 높아지고 있고 많은 종류의 담체가 개발되고 있

† Corresponding Author : Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660-Woosan-Dong, Wonju, Kangwon 220-702, Korea

Tel : +82-33-730-0445 Fax : +82-33-730-0403

E-mail : yhseon@mail.sangji.ac.kr

다.

따라서 본 연구는 일반폐기물인 폐비닐과 폐토기를 재활용하여 담체로 사용하였고, 기존의 장방형 형식의 생물막 처리법을 부지사용을 줄이고 침전조를 없애 그 역할까지 할 수 있는 컬럼 형태로 만들어진 혐·호기 공존의 상태에서 유기물과 질소, 인에 대한 오염물질 제거에 대해 연구하였다.

**재료 및 방법**

**실험재료와 장치**

본 실험에서 사용한 원수는 S대학교 학생회관에서 배출되는 주로 식당폐수로 구성된 오수이며 반응기는 Fig. 1에서 같이 혐기성조와 호기성조로 구성된 충전탑형 반응기로 투명한 아크릴 수지를 이용하여 제작하였다. 하부1단은 폐토기를 충전한 혐기성조로 구성되어 있으며 상부 2단은 폐비닐을 충전한 호기성조로 구성되어 있다. 그리고 공기는 1단과 2단 사이에 산기관을 이용하여 주입하였다. 반응기의 크기는 가로 15cm, 세로 15 높이 103cm로 용적은 약 23L이고 여재 충전율은 약 66.5%이었다.

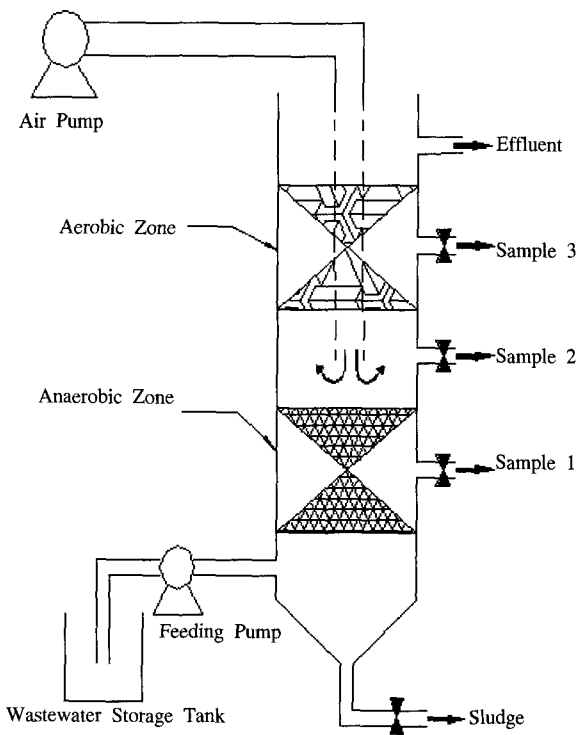


Figure 1. Schematic diagram of reactor.

**실험방법**

원수는 Watson Marlow 604S 정량펌프를 사용해서 일정 유량이 반응기에 주입되도록 하였으며 미생물 접종은 식당폐수 침전조 슬러지를 사용하여 1개월간 접종을 시켰으며 반응기를 실온에서 운전하였다. 그리고 역세척 및 폐슬러지 처리는 보통 1개월에 1회씩 하였다. 실험은 연속폭기를 하여 DO를 약 4~6 mg/L로 유지하였으며 HRT를 각각 12 hr, 18 hr, 24 hr을 주었을 때 유기물 및 질소, 인 제거를 살펴보았

다. 실험 후 분석 수집된 자료는 Microsoft excel PC용 프래드 쉬트를 이용하여 해석하였다. 실험 항목 중 pH, 온도는 시료채취 후 바로 측정하였으며 온도는 수온온도계를 사용하고, pH는 pH meter (ORION Model 420A)를 사용하였다. COD<sub>cr</sub>은 Standard Method(5)에 의한 중크롬산 칼륨법을 사용하였고, T-N는 수질오염 공정시험방법(6)에 의한 자외선 흡광 광도법을 사용하였다. T-P는 수질오염공정시험방법에 의한 아스코르빈산 환원법을 사용하였다.

**결과 및 고찰**

**수온**

수온은 미생물의 발육 증식 및 생육에 가장 필수적인 인자이며 일반적으로 온도가 10℃ 증가함에 따라 미생물 활성은 2배로 증가하며, 생육 가능한 온도는 -10~75℃ 정도이고 오수처리에 이용되는 미생물은 중온균으로써 최적 온도는 25~40℃ 정도이다(7). Fig. 2는 수온의 변화를 나타내는 그래프로 수온의 변화는 유입수와 유출수의 수온차가 크지 않은 것으로 나타났으며 단지 시간이 지날수록 외부 온도 영향을 받아 수온이 상승하는 것으로 나타났다. 수온의 최적 온도는 17℃이고, 최고온도는 26℃이었고 유입수의 평균 수온은 20℃로, 유출수의 평균 수온은 20.2℃로 나타났다. 그러나 미생물의 최적 온도인 25~40℃에는 미치지 못했지만 온도 상승으로 인해 오염물질 처리효율에는 영향을 준 것으로 나타났다.

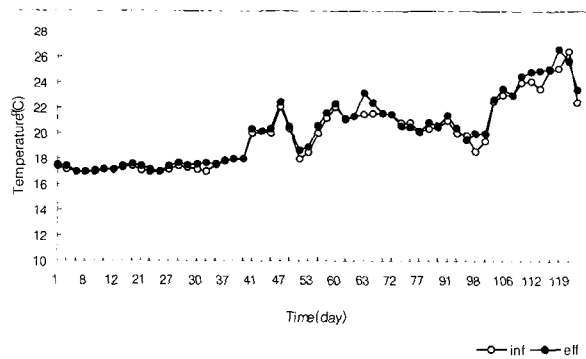


Figure 2. Changes of temperature.

**pH**

물의 pH는 담수의 경우 보통 pH 7을 나타내며 6.0~9.5의 범위 내로 유지되어야 하는 것이 보통이다. 미생물의 증식 및 대사 반응에 대한 pH의 영향은 매우 크며 생성되는 대사산물의 종류와 양에도 중요한 영향을 끼친다. 미생물의 최적 pH는 6.5~7.5 정도로 알려져 있다. Fig. 3은 pH의 변화를 나타내는 그래프로 pH의 변화는 유입수의 경우 평균 6.23이었고, 유출수의 경우 7.53으로 나타났다. 따라서 pH가 미생물의 성장에 영향을 주는 pH의 범위인 6.5~7.5를 크게 벗어나지는 않았다. 간혹 유입수의 경우 pH가 6 이하로 떨어지는 경우도 있었지만 처리효율에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 또한 유출수의 pH가 7 이상으로 증가하는데 그 이유는 질산염에서 질소가스로의 변환도중 알칼리도가 생성되어(8) pH가 상승되는 이유이라 생각되어진다.

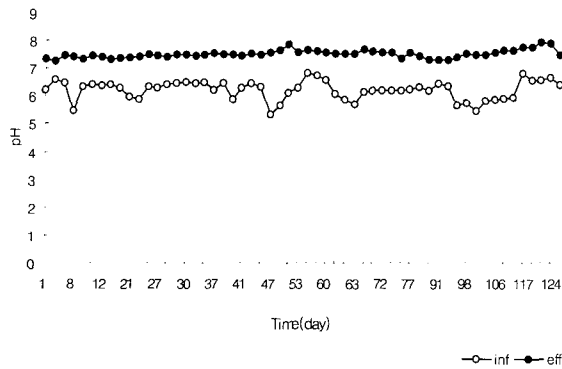


Figure 3. Changes of pH.

**유기물 제거**

COD는 수중의 산화 가능한 오염물질이 산화제에 의해 화학적으로 산화하는데 필요한 산소량을 나타낸 것이다. Fig. 4와 5는 HRT에 따른 COD 농도의 변화와 제거율의 변화를 나타낸 그림이다. 유입수의 평균 농도는 HRT가 12 hr일 경우에는 636.8 ppm, 18 hr 때에는 649.3 ppm, 24 hr에는 723.9 ppm을 나타내었으며, 처리수의 COD 평균 농도는 HRT에 따라 12 hr에는 178.1 ppm, 18 hr에는 40.7 ppm, 24 hr에는 59.4 ppm으로 나왔다. HRT에 따른 COD의 평균 제거율은 HRT가 12 hr, 18 hr, 24 hr일 때 각각 72.0%, 93.7%, 91.8%이었다. 여기에서 알 수 있듯이 HRT가 18 hr 일 때가 처리효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. HRT가 12 hr 일 때는 혐기조와 호기조가 접촉하는 체류시간이 4 hr 정도로 짧아서 처리효율이 많이 떨어지는 것을 볼 수 있으나 HRT를 18 hr 이상 주었을 경우 체류시간이 길어져 미생물에 의한 유기물 분해가 활발했던 것으로 보여진다. 그리고 HRT를 24 hr 주었을 경우보다 처리효율이 18 hr이 좋은 이유는 온도의 상승으로 인한 미생물의 활성화가 이루어져(9) 처리효율 면에서 HRT를 18 hr 준 것이 24 hr을 주었을 때보다 더 좋은 것으로 나타났다. 안정화 기간 중의 처리효율을 살펴보면 처리수의 농도가 각각 141.7 ppm, 19.0 ppm, 47.6 ppm으로 나타났다. 따라서 이 때의 평균 제거율은 Fig. 5에서 알 수 있듯이 각각 75.9%, 96.2%, 94.0%로 실질적인 처리효율이 상승했음을 알 수 있었다. 그리고  $COD_{cr}/BOD_5$ 의 비는 유입수의 경우 평균 1.97이었고, 유출수의 경우는 평균 2.75 정도로 나타났다.

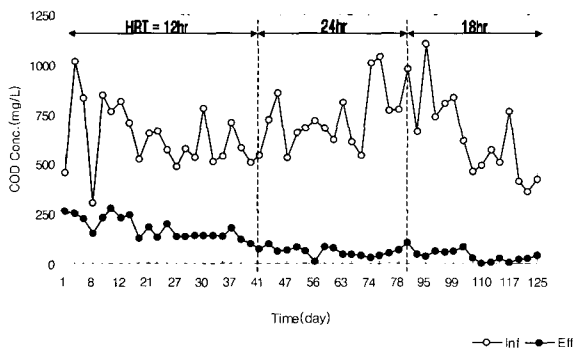


Figure 4. Changes of COD concentration with HRT.

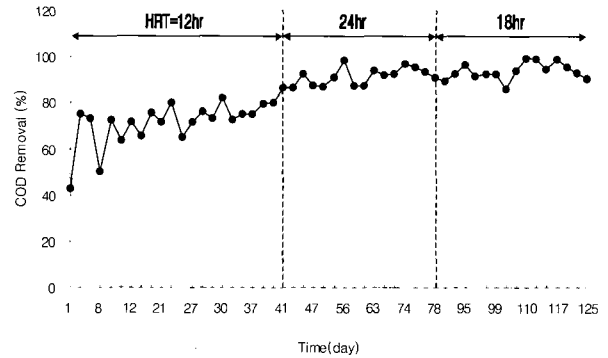


Figure 5. Removal rate of COD concentration with HRT.

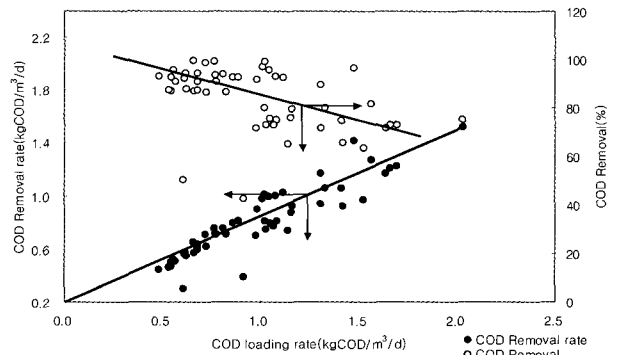


Figure 6. Changes of COD removal with COD loading rate.

Fig. 6은 COD 부하량에 따른 제거율과 제거량을 나타낸 그림이다. 여기에서 살펴보면 COD 부하가  $1 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$  이상이 되었을 때는 제거율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. COD 부하가  $1 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$  이상이 되었을 때는 평균 제거율이 86.9%를 나타냈다.

**질소 제거**

Fig. 7과 Fig. 8은 HRT에 따른 T-N 농도, T-N 제거율을 나타내는 그림으로 유입수의 T-N의 평균 농도는 유입수가 30.33 ppm, 유출수가 5.64 ppm으로 T-N의 평균 제거율은 81.4% 이었으며, HRT에 따른 평균 제거율은 HRT가 12 hr에는 79.8%, 18 hr에는 82.3% 24 hr일 경우에는 82.2%로 나타났다. 이처럼 질소 제거가 우수한 것은 탈질조나 처리수 반송이 없는 상태에서 과폭기에 의한 질산화이 이루어지고 또 한 담체구조의 차이에 의해 공기에 의한 물이 내부로 순환되어 혐기성조가 무산소조로 일부 전환되어 탈질이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 질산화균은 온도가  $10^\circ\text{C}$  상승할 때마다 증식속도가 2배 이상 증가하므로(10) 제거율이 HRT가 18 hr 일 경우가 가장 좋은 이유는 온도의 상승으로 인한 질산화균의 활성이 그 이유라고 할 수 있겠다.

Fig. 9는 T-N의 부하량에 대한 제거량을 그래프로 나타낸 그림이다. 그래프를 살펴보면 거의 부하량의 증가에 따라 일정한 제거량을 보여준다. 따라서 현재의 반응기에서의 부하량에 대한 적응력을 보여준다.

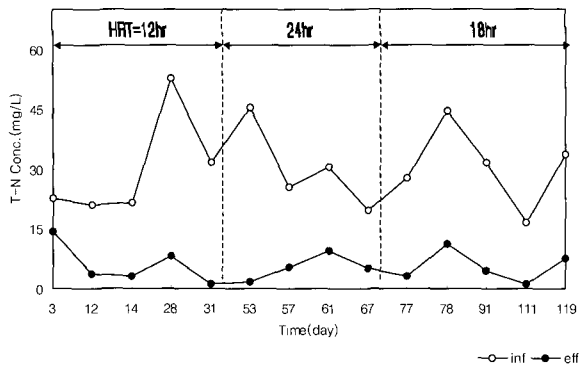


Figure 7. Changes of T-N concentration with HRT.

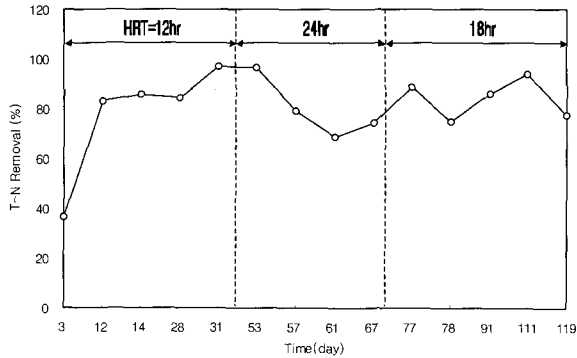


Figure 8. Removal of T-N concentration with HRT.

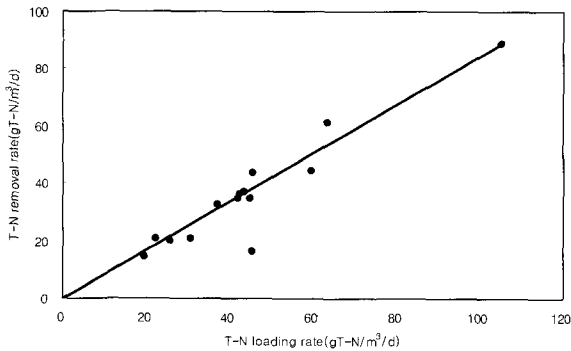


Figure 9. Changes of T-N removal rate with T-N loading rate.

**인 제거**

Fig. 10과 Fig. 11은 HRT에 따른 T-P의 변화와 T-P의 제거율을 나타낸 그림이다. T-P의 평균 유입수의 농도는 18.79 ppm, 그리고 유출수의 농도는 13.25 ppm이었으며, 평균 제거율은 29.5%이었다. T-P의 HRT에 따른 평균 제거율은 HRT가 12 hr, 18 hr, 24 hr일 때 각각 30.6%, 25.9%, 31.5%로 나타났다. Fig. 12는 T-P 부하량에 따른 T-P의 제거량을 나타낸 그림이다. 이 그림을 살펴보면 처리량이 부하량의 증가에 따라 많이 증가되는 모습을 볼 수 없었다. 한편 T-P의 제거율이 T-N의 제거율에 비해 떨어지는 것을 볼 수 있는데 이는 인 제거에 영향인자 중 가장 중요한 것이 질산염의 존재에

관한 것인데(11) 과폭기에 따른 질산화가 많이 이루어져 질산염이 혐기성조로 유입됨에 따라 혐기성조에서의 질소 제거는 잘 되지만 이 때의 탈질산화로 인해 인산염 축적 박테리아의 대사반응에 영향을 주어 저장될 폴리인산염이 없어지고 인체거 미생물을 위한 기질공급을 고갈시켜(12) 인의 제거측면에서는 영향을 준 것으로 보인다.

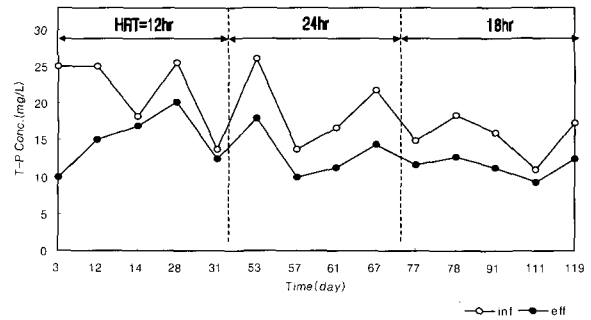


Figure 10. Changes of T-P concentration with HRT.

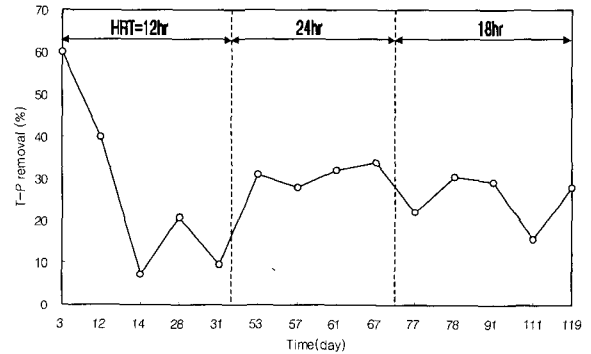


Figure 11. Removal of T-P concentration with HRT.

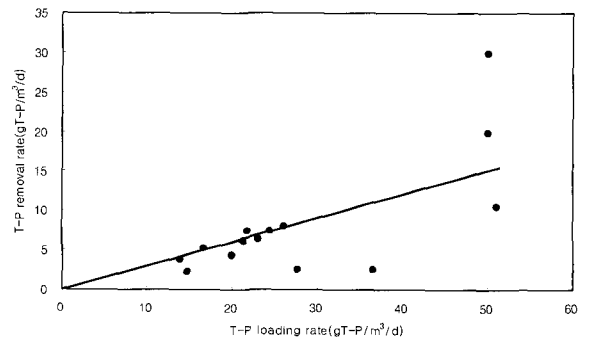


Figure 12. Changes of T-P removal rate with T-P loading rate.

**요약**

생물막 공정은 소규모 오수처리공정에서 운전과 유지가 간단하기 때문에 활성 슬러지 공정보다 각광을 받고 있다. 담체로 폐토기와 폐비닐을 충전한 컬럼형 반응기로 실패수인 식당 폐수의 오염물을 제거하는 실험을 수행하였다. 실험결

과, 수력학적 체류시간 (HRT)이 18 hr일 때 COD 제거율은 93.7%로 최대 COD 제거율을 보였다. 같은 조건에서 T-N과 T-P의 평균 제거율은 각각 82.3%, 25.9%를 나타내었다. 따라서 HRT를 18 hr 이상일 때 유기물과 질소의 제거 측면에서 비교적 만족할 만한 처리효율을 얻을 수 있었다.

### 감 사

이 논문은 2001년도 상지대학교 교내 연구비(대학종합평가 대비 연구비) 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

### REFERENCES

1. Choi, Y. C. (2003), The Policy Direction of Advanced Treatment of Sewerage, *J. Environ. Hitechno.* **9**(5), 14-17.
2. Ministry of Environment (2002), Statistics of Sewage, Night Soil, and Animal Wastewater, p770, Ministry of Environment, Seoul.
3. Ministry of Environment (2002), Statistics of Sewerage, p475, Ministry of Environment, Seoul.
4. Han, S., Y. H. Seon, and S. K. Koh (2002), Microbe adhesion and organic removal from synthetic wastewater treatment using polypropylene media modified by ion-assisted reactions, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **17**(3), 235-240.
5. APHA (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., pp5-17, American Public Health Association, Washington DC.
6. Ministry of Environment (2002), Korean Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, p691, Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
7. Eckenfelder, Jr. W. W. (2002), Industrial Water Pollution Control, 3rd ed., p380, McGraw-Hill, Inc., USA.
8. Wett B. and W. Rauch (2003), The role of inorganic carbon limitation in biological nitrogen removal of extremely ammonia concentrated wastewater, *Wat. Res.* **37**, 1100-1110.
9. Tchobanoglous, G. and Burton F. L. (1991), Wastewater Engineering, 3rd ed. p1335, Metcalf & Eddy, Inc., New York.
10. Sears, K., J. A. Oleszkiewicz, and P. Lagasse (2003), Nitrification in Pure Oxygen Activated Sludge Systems, *J. Environ. Eng.* **129**(2), 130-135.
11. You, S. J., C. F. Ouyang, S. F. Lin, S. H. Chuang, and C. L. Hsu (2001), Anoxic biological phosphorus uptake/release with high/low intracellular polymers, *J. Environ. Eng.* **127**(9), 838-843.
12. Lee, D. S., C. O. Jeon, and J. M. Park (2001), Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system, *Wat. Res.* **35**(16), 3968-3976.