

## 경량기포콘크리트를 이용한 인과 질소 및 음이온계면활성제 제거

홍영호  
해전대학 환경신소재계열

### Removing of Phosphate, Nitrogen and Anion surfactants in the Wastewater using ALC

Young Ho Hong  
Department of Environment & High Technology Material, Hyejeon College,  
Hongsung 350-800, Korea

#### Abstract

This research was carried out investigate the removed T-P, T-N and anion surfactants using Autoclaved Lightweight Concrete(ALC) in wastewater treatment system. Effects of pH, TDS on aqueous solution was measured. Specific area which measured by BET was 27.66 m<sup>2</sup>/g. The phosphorous, nitrogen and anion surfactants removal efficiencies were examined by using artificial waste water(T-P : 66~73 mg/L, T-N : 56~163 mg/L and anion surfactants : 10~31 mg/L). The results showed that the ALC was effective material as a adsorbent due to the structure and porosity. It was found that anion surfactants removed was 85~95%, phosphate removed was 92% and nitrogen removed was 90% in artificial wastewater. Agitation process was more effective than aeration process in that case of nitrogen removal system using ALC.

#### I. 서론

석회질, 규산질 원료와 기포제 및 혼화제를 주원료로 물과 혼합하여 slurry를 만든 후 고온고압(180℃, 10kg/cm<sup>2</sup>)의 오토크레이브에서 증기양생 과정을 거쳐 구조적으로 판상구조의 Tobermorite 결정으로 제조되는 경량기포콘크리트(ALC)는 경량성과 친수성의 장점을 지니고 있다. 0.45-0.55범위의 절대건조비중을 지니며, 내부에는 많은 공극을 지니 흡수율이 우수하고, 흡수성이 뛰어나므로, 고농도 폐수처리에 ALC를 활용하기 위한 방법을 개발하기 위한 연구가 진행되어야한다.

일반적으로 농업용수와 식품폐수 그리고 비료공장의 폐·하수로부터 발생되는 인은 오르소-인산염, 폴리인산염과 같은 무기형태와 유기 인산염의 형태로 존재하며 이들은 용해성과 불용성 인으로 분류된다<sup>1)</sup>. 이중 용해성 인은 미생물 성장의 필수 영양소로 흡수 제거되나 그 제거량은 건조중량을 기준으로 2% 정도로 제거되는 양이 매우 적다. 또한 불용성 인은 일반적으로 1차 침강공정에 의하여 제거한다.

생활하수 및 산업용 폐수 등으로 유입된 질소화합물은 아미노산, 요소, 단백질 등의 유기성 질소화합물이 생물학적 분해과정을 통해 암모니아성

질소, 아질산성 질소, 그리고 질산성 질소의 형태인 무기성 질소로 폐수 중에 존재한다. 인과 질소는 부영양화를 일으키는 영양염으로 이들 성분이 수계에 유입되면 조류와 식물성 플랑크톤의 급격한 증가에 의하여, 용존산소의 결핍으로 인하여 수중환경에 심각한 영향을 초래하게 된다<sup>2)</sup>. 따라서 인과 질소의 제거를 위한 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>3, 4, 5)</sup>. 인의 제거를 위해서는 응집에 의한 방법과 생물학적인 처리공정이 널리 사용되고 있다. 영양물질중에 인 다음으로 중요한 성분인 질소는 천연제올라이트를 이용한 이온교환 방법과 air stripping 법 등을 활용하여 제거하는 방법이 활용되고는 있으나<sup>6)</sup>, 인과 질소를 동시에 제거하기 위하여 생물학적인 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 생물학적인 공정은 1차 침강이후 더 이상의 인이 제거되지 않는다는 단점을 가지고 있으며, 침강에 의해 발생하는 슬러지를 제거하여 위하여 많은 비용이 든다는 경제적인 단점을 가지고 있다<sup>7)</sup>. 또한 생활폐수중에는 음이온계면활성제 성분이 함유되어 있어서 이때 발생된 폐수를 생물학적인 공정으로 처리하기에는 많은 어려움을 가지고 있다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 기존의 폐수처리 시설을 충분히 활용하면서 폐수중에 존재하는 인과 질소 성분을 제거하는 기술을 개발하기 위하여 ALC가 지니고 있는 기본적인 물성인 흡수성 및 ALC 자체 분산성을 이용하여 ALC를 폐수처리에 널리 활용하기 위한 목적으로 시행되었다.

ALC를 이용한 인의 제거 기술은 일본에서는 宮崎<sup>8)</sup>에 의한 연구와 石川<sup>9)</sup>의 연구가 진행된바 있으나, 우리 나라에서는 ALC의 정석반응을 이용한 인 제거에 관한 연구<sup>10)</sup> 이후 ALC를 이용한 인 제거에 관한 기술은 큰 진전을 보이지 못하고 있다. 따라서 ALC의 구성성분인 CaO 와 폐수 중에 존재하는 인과의 화학반응을 이용하여 인을 제거하기 위하여 ALC를 폐수 중에 분산시켜 폭기에 의한 방법으로 폐수 중에 존재하는 인산을 오르소형태로 전이시켜 이를 ALC에 인을 부분적으로 흡수시키고, 일부는 화학결합의 형태로 제거하고자 한다. 인과 더불어 부영양화의 원인 물질이 되는

총질소 성분의 제거에 ALC를 활용하기 위한 가능성을 검토하였다. 또한 폐수중에 존재하는 음이온계면활성제 성분을 제거하여 ALC를 폐수처리에 사용하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## II. 실험방법

ALC가 폐수중에 존재하는 인과 질소성분 및 음이온계면활성제의 처리에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하기 위하여 ALC의 자체 물성 조사를 선행하여 실시하였다. 물성이 확인된 ALC를 이용하여 폐수 중에 존재하는 총인 및 총질소성분 그리고 음이온계면활성제의 제거에 미치는 영향을 분석하여 폐수처리효능을 조사하였다.

### 1. 수용액 중에서 ALC의 물성

ALC와 수용성 분산제의 pH 변화에 미치는 영향을 확인하기 위하여 pH가 일정한 수용액에 ALC를 분산시킨 후 pH의 변화를 측정하였다. 또한 ALC의 형태에 따른 특성을 조사하기 위하여 ALC를 평균입경이 170mesh인 입자형태와 직경이  $0.4 \pm 0.1$  cm인 구형, 그리고 한 변의 길이가 0.5~7.0 cm 까지의 크기를 지닌 정육면체 형태의 3종류의 ALC를 대상으로 pH가 일정한 수용액 상태에서 분산시켜 물성 변화에 대한 실험을 실시하였다.

### 2. 조성 및 비표면적의 측정

본 실험에서 사용한 ALC는 (주)K산업 제품으로 BET법으로 분석하였다. 본 실험에서 사용한 ALC의 표면적은  $27.66 \text{ m}^2/\text{g}$  이고, CaO가 85~90% 함유된 생석회와  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 90% 이상인 규석을 이용하여 발포시켜 제조한 것으로 ALC를 구성하고 있는 성분의 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Composition of ALC

component	$\text{SiO}_2$	CaO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	etc	total
wt %	48.3	24.2	6.8	2.3	18.4	100

### 3. ALC를 이용한 폐수처리실험

본 연구에서는 인공폐수(총인: 68~73 mg/L, 총질소: 56~163 mg/L, 음이온계면활성제: 10~31 mg/L)를 대상으로 ALC가 폐수처리에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 반응장치는 아크릴을 이용하여 제작하였으며, 산기석을 이용하여 폭기시키는 방법과 교반장치를 이용한 교반형태의 공정으로 실험을 진행하였다. 실험은 ALC를 반응기에 충전형태로 채운 후 순환모터를 이용하여 폐수를 순환시켜서 처리하는 방법과 ALC를 반응기에 분산시킨 후 폭기와 교반형태의 반응으로 폐수를 처리하였다. 본 연구에서 실시된 분석에서 T-P, T-N 그리고 음이온계면활성제의 농도 변화는 Standard method<sup>11)</sup>를 기준으로 하였으며, TDS는 TDS meter(Orion-115)를 사용하여 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

ALC가 폐수중에 존재하는 음이온계면활성제, 총인성분 그리고 총질소성분의 처리에 미치는 효과에 대한 연구를 위하여 ALC의 물성변화 및 폐수처리에서의 효능에 대한 실험을 실시하여 다음과 같은 사실을 확인하였다.

#### 1. ALC의 물성

ALC와 폐수와의 적용성에 관한 실험을 위하여 ALC가 수용액에 분산되었을 때의 pH 변화를 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 살펴본 바와 같이 초기 pH가 7.68인 수용액에 ALC를 분산시켰을 경우 분산된 ALC의 양에 비례하여 pH가 증가하는 경향을 보이고 있다. ALC는 주 구성성분이 산성산화물인 SiO<sub>2</sub> 와 알칼리성 산화물인 CaO 그리고 양쪽성 산화물인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 로 구성된 복합 산화물인데 이중 알칼리성 산화물인 CaO에 의하여 pH가 증가하는 경향을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 ALC를 폐수처리에 활용하게 되면 폐수의 pH가 알칼리성을 유지한다는 사실을 확인하였다.

폐수중에 ALC를 분산시켰을 때 ALC의 구성성분에 의한 폐수중의 용존이온의 변화를 확인하기 위하여 수용액 중에 분산된 ALC중에서 성분물질의 용해에 따른 총용존고형물 (Total Dissolved

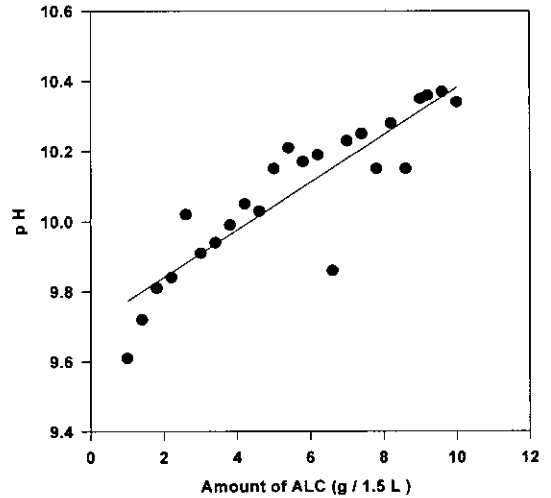


Fig. 1. pH dependence of ALC amount in aqueous solution.

Solid, TDS)의 변화를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2는 총용존 고형물의 농도가 3 mg/L인 1.5 l의 수용액에 분말형 ALC를 1~10g 까지 분산시킨 후 용액의 총고형물의 농도변화를 측정한 그림이다. 그림에서 살펴보면 분산에 소요된 시간의 변화와 관계없이 분산된 ALC의 양이 증가함에 따라 용액의 TDS가 증가하는 결과를 나타내고 있다. 이는 앞서 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 ALC의 구성성분이 용출되어 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

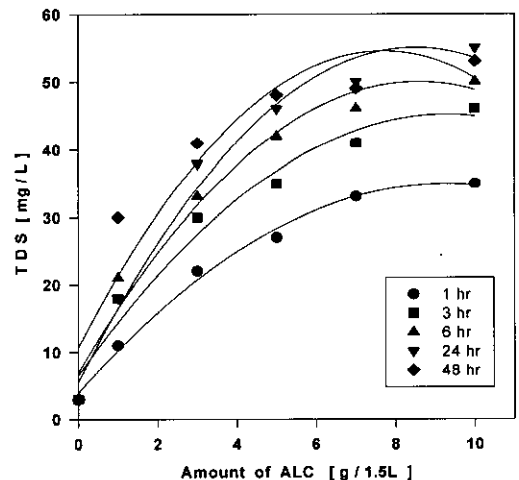


Fig. 2. Variation of TDS with ALC amount in aqueous solution.

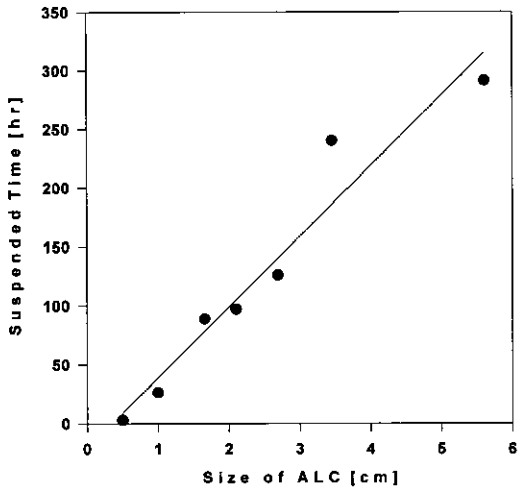


Fig. 3. Suspended time dependence of ALC size in aqueous solution.

ALC가 수용액에 분산될 때 ALC의 크기변화가 분산시간의 변화에 미치는 영향을 비교하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 입방형 ALC의 경우 한 번의 크기가 0.3 cm 보다 작은 경우에는 수용액에 넣은 즉시 침강이 되었고, 크기가 0.5 cm 이하인 경우에도 3시간 이내에 침강이 되었다. 그러나 크기가 1 cm 이상의 경우에는 침강이 되는데 최소 24시간이 소요되었으며, 이 크기보다 큰 경우에는 분산성이 좋은 결과를 보이고 있다. 따라서 ALC를 분산형태로 사용하기 위한 실험에서는 한 번의 크기가 3.5 cm 인 것을 대상으로 실험을 실시하였다.

## 2. 폐수처리 효능

Fig. 3에서 보는바와 같이 분산시간이 10일 이상으로 크기가 (3.5 cm)<sup>3</sup>인 입방형 ALC를 사용하여 폐수처리 효능을 검토하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

음이온계면활성제의 농도가 10~31 mg/L인 인공 폐수를 대상으로 하여 ALC를 반응기에 넣은 후 폐수를 분당 1.5 l의 유속으로 반응기의 아래에서 위로 향하도록 공급하면서 폐수 중에 존재하는 음이온계면활성제를 처리한 결과는 Fig. 4에서 보는바와 같다. 그림에서 살펴보면 초기농도가 31.5 mg/L

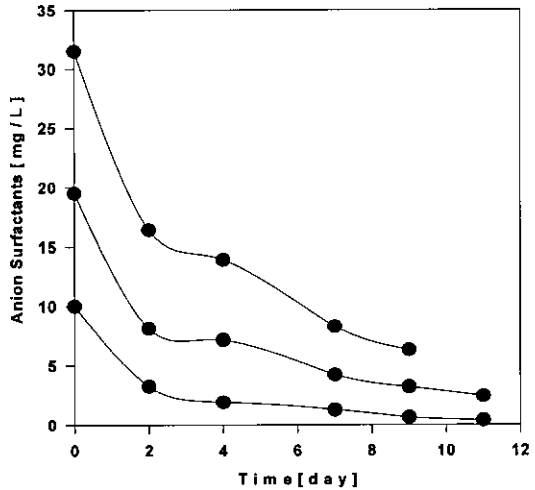


Fig. 4. Removal efficiency of anion surfactants in wastewater.

인 경우 처리시간이 9일 정도 경과하면 약 80%가 제거되며, 초기농도가 19.5 mg/L인 경우에는 배출수중의 농도가 2.41 mg/L으로 88% 정도가 제거된다는 사실을 확인하였다. 일반적으로 배출되는 음이온계면활성제의 농도범위인 10 mg/L의 농도를 지닌 유입수의 경우에는 처리시간이 9일 이후부터는 약 95% 정도가 제거되어 배출수중의 농도는 0.5 mg/L 정도를 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 음이온계면활성제의 말단기에 있는 sulfonic acid [RSO<sub>3</sub><sup>-</sup>]와 sulfuric acid ester [ROSO<sub>3</sub><sup>-</sup>]등이 ALC의 구성성분과 이온교환에 의하여 흡착 처리되어 발생하는 현상이라고 할 수 있다.

ALC를 반응기에 넣은 후 폐수를 분당 1.5 l의 유속으로 공급하는 반응기를 연속적으로 사용하여 순환흐름으로 폐수를 2개의 연속된 장치에 공급하면서 폐수 중에 존재하는 음이온계면활성제를 제거한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 결과에 의하면 초기 농도가 약 31 mg/L인 음이온 계면활성제를 2단계의 연속 반응기를 사용하여 처리한 경우 반응기가 1개인 경우와는 달리 처리시간이 6일만 경과하여도 처리효율이 80%에 도달한다는 사실을 확인하였다. 이러한 사실로부터 폐수중에 존재하는 음이온계면활성제를 제거하기 위하여 ALC를 사용할 경우에는 연속형태의 반응기를 이용하는 것이 처리효율이 우수하다는 사실을 확인하였다.

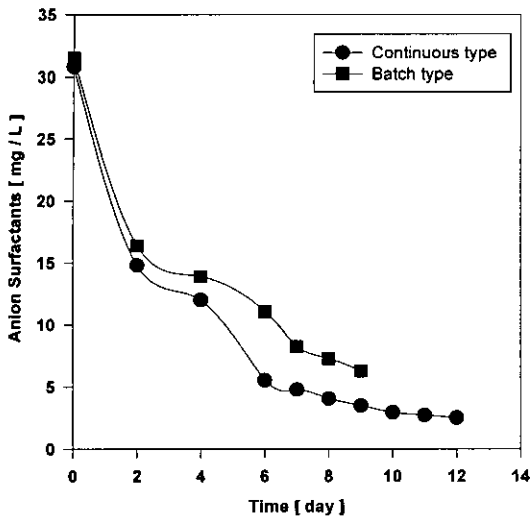


Fig. 5. Variation of Removal efficiency of anion surfactants with Process system.

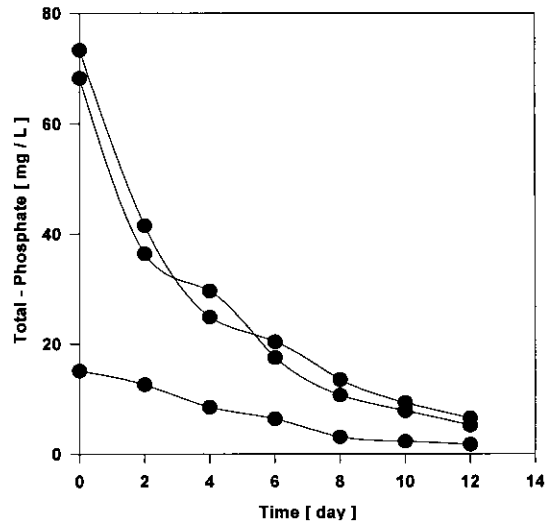


Fig. 6. Removal efficiency of Total phosphate in wastewater.

폐수중에 존재하는 총인성분을 제거하기 위하여 ALC를 원통형 연속흐름 반응기에 넣은 후 총인의 농도가 68~73 mg/L인 폐수를 분당 2.0 l의 유속으로 공급하는 반응기를 사용하여 순환흐름으로 폐수 중에 존재하는 총인 성분을 제거한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 초기 농도가 15.1 mg/L인 경우에는 처리시간이 12일이 경과하면 배출수중의 총인의 농도가 약 1.5 mg/L으로 현저히 감소한다. 또한 초기농도가 68~73 mg/L 사이의 경우에는 처리시간이 6일 정도 경과하면 함유된 총인 성분의 70~75 % 정도가 제거되며, 처리시간이 12일 정도가 경과하면 유입수중에 존재하던 총인의 92 % 정도가 제거된다. 즉 ALC에 존재하는 Ca와 인과의 반응에 의하여 폐수 중에 존재하는 총인 성분이 제거되는 것이라고 할 수 있다. 일반적으로 Ca와 인과의 화학적인 결합에 의하여 인을 제거하는 공정에서는 수용액의 pH 조건이 알칼리성인 범위에서 효율이 좋으므로 폐수처리 공정에서는 인을 제거하기 위하여 인위적으로 pH를 조절하여야 하지만 ALC를 사용하는 경우에는 Fig. 1에서 보는바와 같이 pH가 10보다 크게 유지되므로 인위적인 pH의 조절 없이도 효율적으로 인을 제거할 수 있다.

폐수 중에 존재하는 총질소성분의 제거에 미치는 ALC의 효능을 검토하기 위하여 반응기에 총질소의 농도가 56~163 mg/L인 폐수 15 l를 주입한 후 여기에 한 번의 길이가 3.6 cm인 입방형 ALC를 15개를 분산시킨 후 교반과 폭기의 형태에 따른 처리효율을 실험하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 폭기에 의한 방법보다는 교반에 의한 처리공정에서 총질소 성분의 제거효율이 우수하게 나타나고 있다. 특히 교반에 의하여 처리한 경우 유입수의 농도가 157 mg/L인 경우에는 12일이 경과하면 76 % 정도의 인이 제거되지만 초기 농도가 56 mg/L인 인공폐수의 경우 처리시간이 6일 정도 경과하면 유입된 총질소 성분의 90 % 정도가 제거되어 ALC가 총질소 성분의 제거에도 효과를 나타내고 있음을 확인하였다. 이는 폭기에 의하면 ALC의 표면기와 이온교환의 형태로 존재하던 질산성 질소 성분이 탈기되어 교반에 의한 경우의 제거 효율이 우수하게 나타나는 것이라고 할 수 있다.

#### IV. 결론

총인의 농도가 68~73 mg/L이고, 총질소의 농도

는 56~163 mg/L 이며, 음이온계면활성제의 농도 범위가 10~31 mg/L 인 인공폐수를 대상으로 경량기포콘크리트가 폐수중에 존재하는 음이온계면활성제, 총인성분 그리고 총질소 성분의 제거에 미치는 실험을 실시하여 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1. 경량기포콘크리트를 사용하여 폐수중에 존재하는 음이온계면활성제를 처리하였을 경우 처리시간이 9일 정도 경과하면 약 80 % 이상이 제거되며, 처리시간이 11일 이후에는 약 90 % 정도 제거되었다. 또한 유입수중의 음이온계면활성제의 농도가 10 mg/L 정도이면 95 % 이상의 처리효율을 보이며 연속형태의 반응기를 이용할 때 처리효율이 우수하다는 사실을 확인하였다.
2. 총인의 제거의 경우 처리시간이 6일 정도 경과하면 함유된 총인 성분의 70~75 % 정도가 제거되며, 처리시간이 12일 정도가 경과하면 유입수중에 존재하던 총인의 92 % 정도가 제거된다는 결과를 얻었다.
3. 폐수 중에 존재하는 총질소 성분의 제거에 미치는 경량기포콘크리트의 효능을 조사한 결과 폭기에 의한 방법보다는 교반에 의한 처리공정에서 총질소 성분의 제거효율이 우수하게 나타나, 교반에 의하여 처리한 경우 총질소의 농도가 157 mg/L 인 경우 처리시간이 12일이 경과하면 76 % 정도의 인이 제거되지만 총질소의 농도가 56 mg/L 인 경우 처리시간이 6일 정도 경과하면 유입된 총질소 성분의 90 % 정도가 제거되었다.

## 참 고 문 헌

1. P. Howards, R. Donald and T. George : Environmental Engineering, McGraw Hill, (1998).
2. 이근광 編著 : 수계환경오염개론, 동화기술, 155 (1997).
3. G. Bacquet, J.C. Joret, F. Rogalla and M. Bourbigot : Env. Technol, vol.12. 747~756 (1991).
4. G. Bitton : Wastewater Microbiology, Jhon Wiley & Sons Inc. NewYork, 89(1994).
5. S. Sawayama, K. K Rao and D. O. Hall, Appl : Microbiol Biotechnol, 49, 463~468(1998).
6. A. Turkman, I Sekoulov and O. Uslu : New Developments in Industrial Wastewater Treatment, Kluwer Academic Publishers, 137-153(1989).
7. M. Moo-Young, W. A. Anderson and A. M. Chakrabarty : Environmental Biotechnology Principles and Applications, Kluwer Academic Publishers, 579 (1996).
8. Seto Masayuki, Miyazaki Mutsuo, Hashimoto Masayuki and Yoshimori Kazuto : Japan Patent 96-08229548 (1996).
9. Ishikawa Kunio, Igama Hideo : Japan Patent 97-09019680 (1997).
10. 박상숙, 대한환경공학회지 : 18(1) 1271 (1996).
11. American Public Health Association : Standard methods for examination of waste and wastewater, 18th edition, Washington, D. C. (1992).