

## *Stapylococcus auricularis*에 의한 인 제거에서 총유기탄소의 영향

최 석 순  
용인송담대학 제지공업과

### Effect of the Total Organic Carbon(TOC) on phosphorus removal by *Stapylococcus auricularis*

Suk-Soon Choi  
Dept. of Paper Technology, Yongin Songdam College,  
Yongin, 449-710, Korea

#### Abstract

*Staphylococcus auricularis* was used for the simultaneous removal of phosphorus and Total Organic Carbon(TOC) in the wastewater from sewage and various industries. In this study, the characteristics of phosphorus removal was investigated with initial ratio of TOC to phosphorus in the synthetic wastewater. When the synthetic wastewater containing 15 mg/L of phosphorus was treated under anaerobic and aerobic conditions, phosphorus was removed completely within 6 hours of operation. And when the initial ratio of TOC to phosphorus was 30, as high as 10 times the removal rate of phosphorus by *Acinetobacter calcoaceticus* was achieved. These results implied that a long adaptation time, one of the chief problems in biological phosphorus removal process was overcome.

#### I. 서 론

생활 하수와 산업 폐수에 포함된 인이 호수와 내해에 유입됨으로써 부영양화 가능성을 증대시키고, 이로 인하여 수계에서 과도한 조류 증식이 이루어진다.<sup>1)</sup> 이러한 조류는 주간에 광합성 작용이 왕성하지만 야간에는 호흡 작용을 통하여 용존 산소를 소모시킴으로써 어패류 등 수중 생물에 필요한 산소를 결핍시켜서 어류의 폐사를 초래한다.<sup>1,2)</sup>

철강, 피혁, 합성 섬유 공장에서 배출되는 인의 농도는 15 mg/ℓ, 수산 통조림, 수산 냉동 제품 등의 식품 및 코르크스 제조업에서는 50 mg/ℓ 범위

에서 인이 배출된다고 알려져 있다.<sup>2)</sup> 또한 생활 하수에서는 평균적으로 5 mg/ℓ으로 배출되며 이것의 발생원은 주로 합성세제, 분뇨, 음식 찌꺼기 등으로 밝혀졌다.<sup>2,3)</sup> 그리고 부영양화에 미치는 인과 질소의 한계 허용 농도는 각각 0.005, 0.05 mg/ℓ으로 인은 질소와 비교하여 1/10 낮게 보고되었다.<sup>2)</sup> 따라서 이러한 부영양화를 해결하기 위하여, 인 제거는 질소 처리 보다 고도의 처리기술 및 보다 세심한 주의가 요구되고 있다.

폐수 중에 함유된 인을 처리하기 위해서는 화학적인 처리 방법으로써 Ca(OH)<sub>2</sub>, Al(OH)<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 등의 금속염을 이용한 침전법이<sup>3)</sup> 주종을

이루어 왔다. 그러나 이 방법에 의하면 처리 후 다량의 슬러지가 발생하며, 또한 슬러지 처리 비용의 증가 및 슬러지에 축적되었던 인이 다시 방출되는 단점을 지니고 있다.<sup>4,5)</sup> 폐수 중에 함유된 인을 생물학적으로 제거하는 방법이 1959년 Srinath에<sup>3)</sup> 의하여 처음 제시된 후 발전이 지속되었으며, 최근에는 가장 경제적인 처리 방법으로 평가되었다. 활성슬러지 공법에 의하여 인은 미생물의 증식, 흡착 등의 기작에 의하여 제거되며 이때 인 제거율은 20-30 %를 나타낸다고 보고되었다.<sup>4,5)</sup> 따라서 이를 개선하려는 활성슬러지 변법으로 Bardenpho, A/O, UCT, VIP process 등이 개발되었다.<sup>3,5)</sup>

현재까지 생물학적으로 인을 제거한 연구에서 *Acinetobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* 등이 폐수 중에 함유된 인을 제거하는 능력이 우수한 미생물로 알려졌다.<sup>6)</sup> 그러나 이러한 미생물들은 혐기 조건에서 인을 세포 밖으로 방출하고 호기 조건에서 인을 섭취함으로써 제거되는 처리 특성을 분명하게 나타내지 않았다.<sup>6)</sup> 또한 EBPR(Enhanced Biological Phosphorus Removing Process)를 이용하여 폐수 중에 함유된 인을 제거하기 위해서는 이러한 공정에 적용된 미생물이 생리학적으로 필요한 요구량 보다 과다하게 세포 내에 축적시켜서 제거하는 방법인데 아직까지 이에 대한 이론이 분명하게 확립되어 있지 않았다.<sup>3,6)</sup>

본 연구에서는 단일 균주 *Staphylococcus auricularis*를 이용하여 혐기와 호기의 조건에서 인공 폐수 중의 인을 효과적으로 제거하였다. 활성오니 공정과 같은 생물학적 폐수처리에서 벌킹 현상을 일으키는 유기 물질의<sup>7)</sup> 효과적인 처리를 위하여, 유입 폐수 중 초기 TOC와 인의 비(Ratio) 변화에 의한 생물학적 인 제거 특성을 고찰하였다. 또한 생물학적 인 제거 공정에서 혐기와 호기 조건에서 인의 방출 및 제거 속도를 구하였다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 배지 및 폐수처리 장치

실험에 사용한 배지는 Table 1.에 나타낸 것과 같이 합성 폐수를 인공적으로 제조하여 사용하였

으며, *Staphylococcus auricularis*를 이용하여 혐기 및 호기 조건에서 TOC와 인의 제거 특성 연구를 수행하였다.

Table 1. Nutrients concentration of the medium

Component	Concentration(g/ℓ)
Glucose	0.5
Peptone	0.5
Yeast extract	0.5
Mono sodium glutamate	0.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.44
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.1

본 실험은 25°C가 유지되는 항온조(Water Bath)에서 이루어졌으며, 사용된 폐수처리 장치는 Fig. 1에 나타내었다. 반응기의 실제적인 용적은 1.5 L이며, air와 nitrogen gas를 이용하여 연속적인 혐기와 호기 조건을 유지하였다. 또한 pH는 6.5-7.0의 범위에서 0.5 N-NaOH와 0.5 N-HCl에 의하여 조절하였다.

### 2. 분석 방법

폐수 중의 Total Organic Carbon(TOC)는 Standard Method에<sup>8)</sup> 의하여 분석하였으며, TOC 분석기(TOC-500, Shimadzu)를 이용하였다. 인의 농도는 Standard Method중 ascorbic acid 방법에<sup>8)</sup> 의하여 분광 광도계(Unicon930, Kontron)를 이용하였다. 그리고 미생물의 농도는 흡광도 값을 건조중량으로 환산하여 구하였으며, 분광광도계(Unicon930, Kontron)를 이용하였다.

## III. 결과 및 고찰

폐수 및 생활 하수에서 유기물의 농도는 생물학적 인 제거 공정에서 매우 중요한 인자이며, 또한 실제적인 폐수처리 공정에서 유기물질의 농도 변화는 벌킹 현상 등을 해결하는데 매우 중요한 변수로서 알려졌다.<sup>7)</sup> 그리고 지금까지 TOC 농도 변화에 의한 인의 방출 속도와 인의 제거 속도에 대

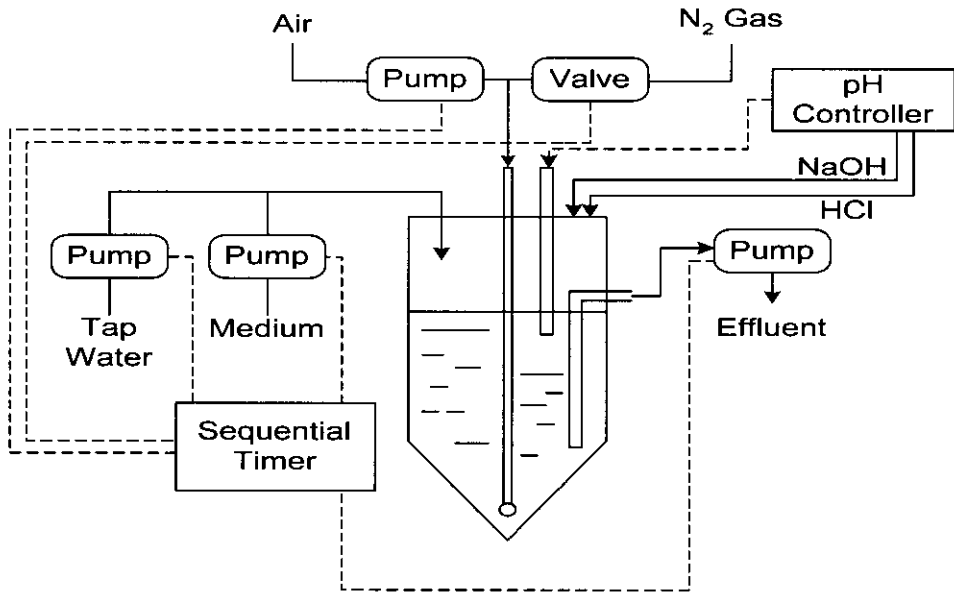


Fig. 1. Schematic diagram of reactor system for the removal of phosphorus and TOC.

해서는 명확하게 밝혀지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 *Staphylococcus auricularis*를 이용하여 혐기와 호기 조건에서 TOC 농도 변화에 의한 인의 방출과 인의 제거 특성을 파악하였다.

인공적으로 제조한 폐수 용액에서 초기 인의 농도를 15 mg/l, 사용된 미생물의 농도를 3600 mg/l로 조절하였으며, 초기 TOC와 초기 인의 농도 비를 5에서 30까지 증가시키면서 폐수 용액에서 TOC와 인의 제거 특성을 Fig. 2에서 나타내었다. 그 결과 TOC와 인의 농도 비를 5로 실험한 경우, 4시간의 혐기 조건에서 초기 인의 농도를 기준으로 2배의 인이 방출되었으며, 연속적인 4시간의 호기 조건에서 방출된 인의 제거 효율이 26%이었다. 또한 이 때 혐기 조건에서 인이 충분히 방출되었어도 TOC는 fluctuation의 거동 특성을 나타내었으며, 호기 조건에서 TOC는 거의 제거가 이루어지지 않았다. 그리고 초기 TOC와 인의 농도 비를 10으로 증가시켰을 경우, 4시간의 혐기 조건에서 역시 인이 방출되었으며, 연속적인 4시간의 호기 조건 중 2시간 호기 조건에서 용액에 배출되었던 인이 100%의 제거율을 보였다. 또한 초기 TOC와 인의 농도 비가 20과 30에서 실험한 경우, 폐수 중의 인은 4시간의 호기 조건에서 100% 제

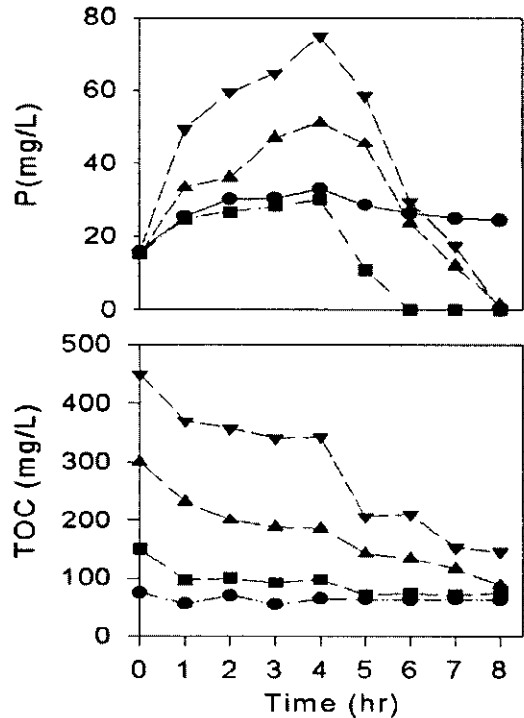


Fig. 2. Profiles of phosphorus and TOC with 4 hr anaerobic and 4 hr aerobic times by *Staphylococcus auricularis*.  
 (● : TOC/P=5, ■ : TOC/P=10, ▲ : TOC/P=20, ▼ : TOC/P=30)

거울을 나타내었으며, TOC의 제거율을 70 %까지 증가시킴으로써 폐수 중의 인과 TOC 처리율을 동시에 증가시킬 수 있었다.

그리고 TOC와 인의 농도 비를 5에서 30까지 높였을 경우, 인의 방출 속도는 1.18 mg-P/g cell · hr에서 4배 증가한 4.08 mg-P/g-cell · hr를 나타내었으며, 인의 제거속도는 0.59 mg-P/g-cell · hr에서 9배 증가한 5.13 mg-P/g-cell · hr를 나타내었다. 이 결과는 현재까지 인 축적 미생물로 가장 많이 알려진 *Acineto. calcoaceticus*<sup>9)</sup>과 비교하여 인 제거 속도가 약 10배 증가함을 나타내었다. 또한 *Acineto. calcoaceticus*를 이용한 인의 방출량 실험에서 생물학적 처리 8시간까지는 폐수 중에 인이 방출되지 않았으며, 처리 21시간이 경과 후 5 mg-P/g cell의 인이 방출되었지만,<sup>9)</sup> 본 실험에서는 4시간의 혐기 조건에서 16 mg-P/g cell를 나타냄으로써 인의 방출량이 3.2배 증가하였으며, 인의 방출 시간을 6배 줄임으로써 생물학적으로 인을 제거하는데 가장 큰 문제점인 적용 시간을 단축시킬 수 있었다. 일반적으로 생물학적으로 인을 효과적으로 제거하기 위하여 활성 슬러지를 운전하였을 경우, 미생물 적응 기간 등을 고려하여 상당한 기간이 소요된다. 그러나 본 실험에서는 이러한 미생물 적응 기간을 줄일 수 있었으며, 이를 실제 공정에 이용한다면 매우 경제적인 방법이 될 것이다.

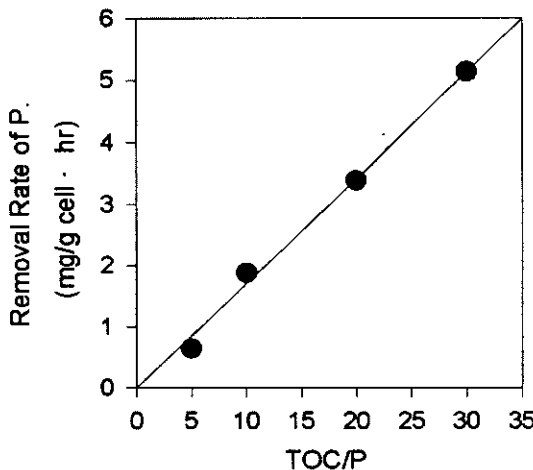


Fig. 3. Relationship between initial TOC/P ratio and removal rate of phosphorus.

Fig. 3에서 보인 것과 같이, 폐수에 유입되는 초기 TOC와 인의 농도 비가 5에서 30까지 높일수록 폐수 중의 인 제거 속도가 선형적으로 증가하였으며, 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있었다.

$$Y = 0.17 \times (-0.01) \text{-----} (1)$$

- [ X ; Initial ratio of TOC/P
- [ Y ; Removal rate of Phosphate [mg/ g cell · hr]

이러한 현상은 폐수에서 초기 COD와 인의 비 (Ratio)가 높을수록 인의 제거율이 증가한다는 연구 결과와<sup>10)</sup> 유사한 현상을 보인 것이다.

Table 2에 초기 TOC와 인의 농도 변화에 의한 폐수 중의 인과 TOC 제거율을 나타낸 것과 같이, 초기 TOC와 인의 비가 10 이상에서는 100 %의 인 제거율을 보였으며, 초기 TOC와 인의 비가 20과 30에서는 70 %의 TOC 제거율을 나타내었다. 본 연구를 통하여 생물학적 폐수 처리 공정에서 인과 유기물을 동시에 처리할 수 있는 시스템의 설계 자료를 제시할 수 있으며, 또한 생물학적으로 인 제거시 가장 큰 문제점 중 하나인 미생물의 오랜 적응 기간이 요구되는데 이를 해결할 수 있는 실용적인 자료가 될 것이다. 그러나 활성오니 공정과 같은 혼합 배양에서 이를 이용할 경우, 단일 균주인 *Staphylococcus auricularis*가 다양한 미생물 집단(microbial population)에서 어떠한 조건에 의하여 우점종으로 성장 및 유지시켜서 안정적으로 인을 제거할 것인가는 향후 연구 과제가 될 것이다.

Table 2. Effects of TOC/P ratio on the removal efficiency of phosphorus and TOC. (Initial conc. of phosphorus : 15mg/ ℓ )

TOC/P (ratio)	Removal efficiency of phosphorus(%)	Removal efficiency of TOC(%)
5	-	16
10	100	51
20	100	70
30	100	67

#### IV. 결론

본 연구에서는 생활 하수와 산업 폐수 중에 포

합된 인과 TOC를 동시에 제거하고자, 단일 균주인 *Staphylococcus auricularis*를 이용하였다. 폐수 중에 포함된 인과 유기물질을 함유한 폐수를 효과적으로 제거하기 위하여 혐기와 호기 조건에 의하여 운전한 결과, 다음과 같은 폐수 처리 특성을 구하였다.

1. 15 mg/l 인 함유 폐수를 초기 TOC와 인의 농도 비를 10으로 조절하였을 경우, 혐기 4시간 호기 조건 2시간에서 100 %의 인 제거율을 나타내었다.
2. 초기 TOC와 인의 농도 비를 30으로 조절하였을 경우 인 제거 속도는 *Acineto. calcoaceticus*를 이용한 연구 결과보다 약 10배 증가시킴으로써 생물학적 인 제거의 가장 큰 문제점인 처리 기간을 단축시킬 수 있었다.
3. 초기 TOC와 인의 농도 비를 20으로 조절하였을 경우, TOC 제거율을 70 %까지 증가시킬 수 있었다.
4. 초기 TOC와 인의 농도 비를 5에서 30으로 높였을 때, 호기 조건에서 인 제거 속도는 선형적으로 증가하였으며, 이에 대한 관계식을 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Song, J. Y. and Lee, S. H. : Biological removal of nitrogen and phosphorus from waste water by microencapsulated strains, Korean J. Biotechnol. Bioeng., 12, 269-275, 1977.
2. Rhee, J. W. : Biological Phosphorus removal mechanism and effects of MLSS recycle ratio

SRT on removal efficiency, Hanyang Univ. M.S. Thesis, 1-10, 1994.

3. U. S. Environmental Protection Agency : Phosphorus removal design manual, EPA/625/1-87/001, 15-47, 1987.
4. Buchan, L. : The location and nature of accumulated phosphorus in seven sludges from activated sludge plants which exhibited enhanced phosphorus removal, Water SA, 7, 1-7, 1981.
5. Levin, G. V. : Pilot plant test of a phosphorus removal process, J. Water Pollut. Control Fed., 44, 1940-1954, 1972.
6. Nakamura, K. : Isolation of a new type of polyphosphate accumulating bacterium and its phosphate removal characteristics, J. Ferment. and Bioeng., 71, 4, 258-263, 1991.
7. Grray, N. F. : Activated sludge theory and practice, Oxford University Press, 187-212, 1990.
8. Andrew, D. E. : Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th edition, Maryland: United Book Press, 106-114, 1995.
9. Qin, Y. E. and Misao, O. : Phosphorus removal by pure and mixed cultures of microorganisms, J. Ferment. Technol., 66, 207-212, 1988.
10. Marcia, H. B. : The effect of the COD: P ratio on laboratory activated sludge systems, water Research, 15, 999-1004, 1981.