

## 연속 회분식 반응기를 이용한 폐수처리에서 고정화 슬러지의 거동 특성

최 석 순

용인공업전문대학 제지공학과

### The behavior characteristics of immobilized sludge in waste water treatment using sequencing batch reactor(SBR).

Suk Soon Choi

*Department of Paper Technology, Yongin Technical College,  
Yongin, 449-800, Korea*

#### Abstract

The behavior of total organic carbon (TOC) and phosphate were observed for 15 days with immobilized activated sludge using polyacrylamide (PAA) by sequencing batch reactor (SBR).

In the preparation of immobilized sludge by PAA, it was found that suitable acrylamide concentration for actual wastewater treatment was to be 15% through the batch test. When SBR system was operated in the repeated aerobic and anaerobic conditions, TOC removal efficiency was 92%. The uptake rate of phosphate was increased from 1.78 mg-P/g cell/hr on the 5th day of acclimation to 2.5 mg-P/g cell/hr on the 15th day of acclimation. And the total Phosphorus content in PAA bead was increased from 40 mg-P/g cell on the 1st day of operation to 55 mg-P/g cell on the 15th day of operation.

From this study, lowering the volume of aeration tank was possible when PAA bead was used in wastewater treatment and long operation was also possible without the settler.

## I. 서 론

현재 도시와 농촌에서 발생하는 각종 오염 물질 및 영양 염류 등이 수계 환경에 자정 능력 이상으로 유입됨으로써 진행되는 부영양화는 수자원의 가치를 크게 하락시키게 되었다.<sup>1)</sup> 특히 우리 나라의 국내 주요 호수 대부분이 부영양화 되고 있으며 시간이 흐를수록 더욱 악화되고 있는 실정이다.

최근 호수와 내해에서 질소와 인에 의한 부영양화 문제로 인하여 수질을 개선하려는 연구가 세계 각국에서 활발히 진행되고 있으며 그 중 폐수 속에 포함되어 있는 인을 생물학적으로 제거하기 위하여 Levin에 의한 Phostrip process와 Barnard가 개발한 Bardenpho process 및 Air product와 Chemical 회사에 의하여 개발된 A/O process가 대표적인 방법으로 알려졌다.<sup>2-4)</sup> 또한 1970년부터 Irvine이 개발한 Sequencing Batch Reactor(SBR)를 이용하여 생물학적인 방법으로 질소와 인을 제거하는 연구가 이루어졌다.<sup>5-7)</sup> 이 SBR 시스템은 기존 활성슬러지 공정의 공간적인 개념을 시간적인 개념으로 바꾸어 놓은 것으로서 혐기와 호기의 반복적인 주기 조건으로부터 microbial population에 stress를 가하는 원리가 이용된 것이다.<sup>7)</sup> 그러나 SBR를 포함한 기존의 활성슬러지 공정에서는 잉여슬러지가 대량 발생되어 이에 따른 슬러지 처리 및 처리에 소요되는 비용과 부지 등 여러 가지 문제점들이 발생하게 되었다.

최근 들어 폐수처리 분야에서 고정화 기술의 응용에 대한 연구가 크게 주목을 받게 되었다.<sup>8-9)</sup> 이러한 고정화 기술은 고농도 미생물을 이용하여 폐수처리의 효율을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 기존의 활성슬러지 공정에서 자주 발생하는 bulking 및 침전조의 고액 분리 문제를 해결할 수 있으며 장치의 소형화 및 잉여 슬러지에서 발생하는 처리와 여기에 따르는 소요 비용을 줄일 수 있는 등의 장점을 지니고 있다.<sup>10-14)</sup> 한편 현재까지 고정화 방법에 의하여 유기물과 질소를 제거하려는 연구가 일본 및 세계 여러 나라에서 진행되어 왔으나 인 제거에 대한 연구는 거의 찾아볼 수가 없는 실정이다.

Polymer Resin에 의한 고정화 방법으로 천연 고분자와 합성 고분자로 크게 나누어진다. 이 중 천연 고분자로서 agar와 carageenan 등이 주로 이용되는데 이것들은 짧은 반응시간에 쉽게 분해되고 또한 물리적으로 대단히 약한

단점을 지니므로 폐수처리에 사용하기에 부적합한 것으로 알려졌다.<sup>14-16)</sup> 그러나 오랫동안 미생물의 활성을 유지하고 높은 압축 강도로서 유기물 및 질소를 안정되게 처리시킬 수 있는 Poly acrylamide 등의 합성 고분자가 폐수처리에 적합한 것으로 밝혀졌다.<sup>14-17)</sup> 따라서 본 연구에서는 1.4~2.1 kg/cm<sup>2</sup>의 높은 압축 강도 및 49%의 높은 deformation ratio를 지닌<sup>15-16)</sup> acrylamide의 합성 고분자 중합체를 활성슬러지와 함께 포괄 고정화시킨 후, 이를 SBR 시스템에 의하여 폐수 중에 포함된 TOC와 인의 거동을 관찰함으로써 실제 폐수처리 공정에 응용하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 배지 및 미생물

본 실험에 사용한 배지는 Table 1.에 나타낸 것과 같이 합성 폐수를 인공적으로 제조하여 사용하였다. 또한 실험에 이용된 활성슬러지는 일본 中央대학교 도시공학과 실험실에서 1년간 혐기와 호기적인 조건에서 잘 적응된 것으로서 일반적인 활성슬러지보다 약 4배가 높은 인 함유량(P-8.0%/ g dry cell)을 나타내었다. 이 활성슬러지를 acrylamide의 합성 고분자 중합체와 포괄 고정화시킨 후 회분 및 연속 실험에 이용하였으며 여기에 적용된 활성슬러지 농도는 MLSS( Mixed Liquor Suspended Solid)로 9000 mg/L이었다.

Table 1. The composition of Synthetic Wastewater.

Component	mg/ℓ
CH <sub>3</sub> COOH	1,650
Peptone	700
Yeast extract	450
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	660
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	250
NaCl	500
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1,000

## 2. 실험장치 및 실험방법

본 실험은 25°C가 유지되는 항온실에서 이루어졌으며 적용된 폐수처리 장치를 Fig. 1에 나타내었다. 여기서 사용한 반응기의 실제적인 용적은 0.3L로서 아크릴 수지로 제작하였으며 PLC(Program logic controller)에 의하여 pump와 air, nitrogen gas를 조절하였다. 또한 pH는 6.5-7.0의 범위에서 0.5 N-NaOH와 0.5 N-HCl에 의하여 조정하였으며 이를 SBR 시스템에서 운전하였다. 이 때 적용된 운전 주기를 Table. 2에 나타내었다. 그리고 Fig. 2에 acrylamide의 합성 고분자 중합체와 활성슬러지의 포괄 고정화 방법을 나타내었다.

Table 2. SBR(Sequencing Batch Reactor) System.

Conditions	Time
Tap water Addition	2 min
Substrate Addition	30 sec
Anaerobic State	177 min 30 sec
Aerobic State	297 min
Withdraw	3min

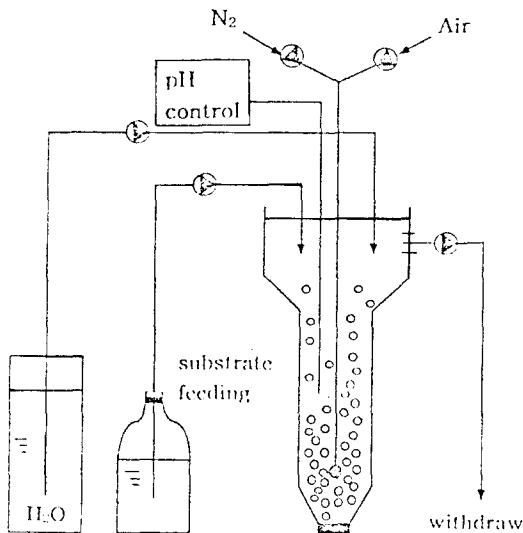


Fig. 1. Schematic diagram of the sequencing batch reactor (SBR).

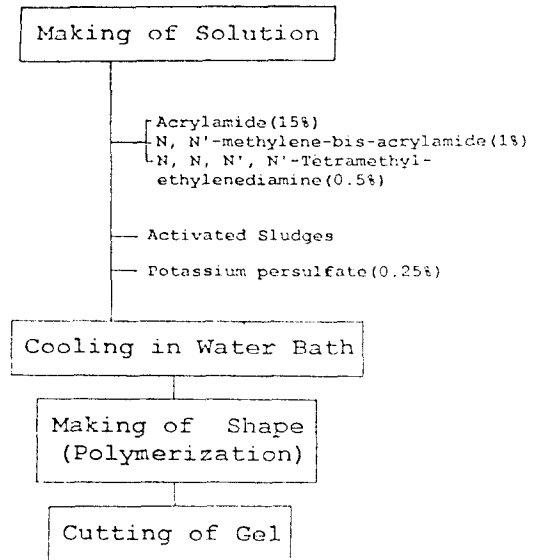


Fig. 2. Preparation of immobilized sludge by polyacrylamide (PAA).

## 3. 분석방법

폐수 중의 total organic carbon(TOC)는 standard method<sup>18)</sup>에 의하여 Shimadzu(TOC-500)를 이용하였으며, 폐수 중의 인의 농도는 standard method 중 ascorbic acid 방법에<sup>18)</sup> 의하여 구하였다. 또한 담체에 포함된 총 인의 농도는 mixer에 의하여 담체를 분쇄하고, 이를 균일하게 만든 후 역시 standard method에 있는 ascorbic acid 방법에 의하여 결정하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. acrylamide 농도의 변화에 의한 활성슬러지의 고정화

Poly acrylamide와 활성슬러지를 포괄 고정화하는데 monomer로서 중요한 성분인 acrylamide monomer 농도를 7.5%에서 18%까지 변화시키면서 실제 폐수처리 공정에 적합한 담체의 형태를 관찰하였으며, 그 결과를 Table. 3에 나타내었다.

Table. 3. Relationship between Acrylamide Concentration Formation of Beads and Gel Strength.

Acrylamide Conc. (%)#	Formation of Bead	Gel Strength
7.5	Dispersed	No Gel Formation
10.0	Dispersed	No Gel Formation
12.5	Good	week
15.0	Good	Strong
18.0	Good	Strong

# Weight Percentage of PAA after mixing PAA aqueous Solution and Concentrated Activated Sludge.

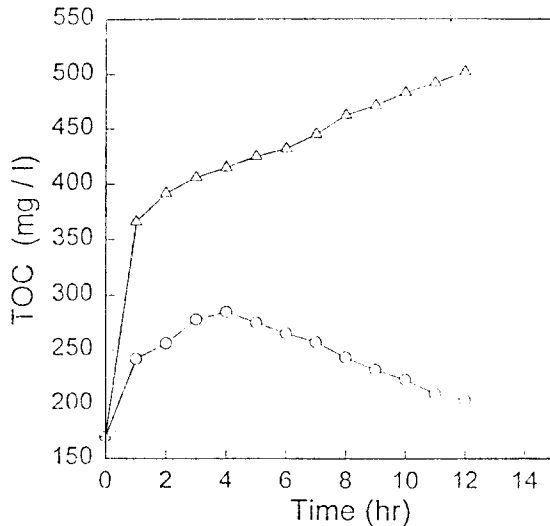
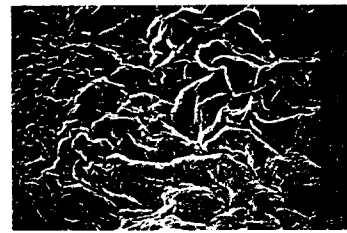
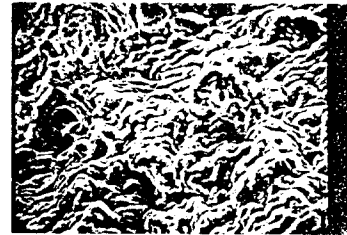


Fig. 3. The changes of TOC between 15% of acrylamide and 18% of acrylamide. (○ : 15% acrylamide, △ : 18% acrylamide)

10%와 12.5% acrylamide 농도에서 얻어진 담체는 균열이 일어나서 폐수처리 공정에는 부적합하다고 판단되었다. 그러나 15% 이상의 acrylamide 농도에서는 매우 단단하게 담체가 형성됨으로서 실제 폐수처리 운전에 적합하다고 판단되었다. 또한 15와 18% acrylamide 농도에서 얻어진 담체를 0.5 L/min 속도로 공기가 공급되는 호기적 조건에서의 TOC 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 15% acrylamide 담체는 적응 4시간까지 초기 TOC 170 mg/L을 기준으로 67.6% 증가하였으나 적응 4시간 이후 TOC가 급격히 감소하는 현상을 보였다. 이것은 담체에 적응



(a)



(b)

Fig. 4. Scanning electron microphotograph of PAA bead. [ (a) : on the 5th day of acclimation, (b) : on the 15th day of acclimation, bar represents 10μm. ]

된 미생물이 성장하면서 TOC를 흡수한 것이다. 그러나 18 % acrylamide 담체는 적응 7시간의 전 구간에서 TOC가 계속 증가하는 현상을 나타내었다. 이것은 담체에 존재하는 미생물이 높은 acrylamide 농도에 의하여 성장 저해작용을 받아서 TOC가 담체에 거의 흡수되지 않는 것이다. 위의 결과로부터 15 % acrylamide 담체가 유기물을 함유한 폐수처리에 적합하다고 판단되었다.

Fig. 4는 전자현미경을 이용하여 담체의 표면을 관찰한 것으로서, 적응 15일째 SBR 시스템에서 잘 적응된 미생물이 담체에 flocc을 형성하기 시작하였다. 또한 적응 5일째 압축되었던 중합체로부터 미생물이 성장하면서 담체가 팽창되는 현상을 보였다.

## 2. 회분 실험에 의한 TOC와 인의 거동

Fig. 5에 나타난 것과 같이 15% acrylamide 담체를 0.5 L/min의 속도로 질소 gas를 주입시키는 3시간 동안의 혐기 조건에서 TOC가 초기 농도를 기준으로 12.2% 증가하였다. 이것은 A/O 및 Bardenpho Process의 혐기적 조건에서 나타나는<sup>4)</sup> TOC 감소 현상과는 다르게 나타났다. 이것은 담체의 형성 과정에서 슬러지 내부에 존재하는 미생물이 acrylamide 등의 화학약품으로 인하여 활성 저

하가 이루어졌기<sup>19)</sup> 때문이다. 따라서 담체에 TOC를 흡수시키기 위해서는 충분한 적용 기간이 필요할 것으로 판단되었다. 그리고 0.5 L/min의 속도로 공기를 주입시키는 4시간 동안의 호기 조건에서 TOC가 초기 농도를 기준으로 72% 제거되었다. 한편 혐기 조건에서 인은 초기 농도를 기준으로 26.5%가 방출되었으며, 이어지는 호기 조건에서 인은 적용 3시간째 최고로 방출되었던 25.3 mg/L의 인 농도를 기준으로 담체에 15% 흡수되었다.

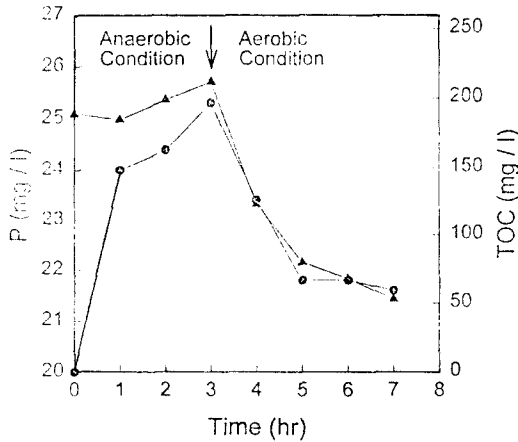


Fig. 5. The changes of phosphate and TOC by PAA bead in anaerobic and aerobic batch test. (● : Phosphate, ▲ : TOC)

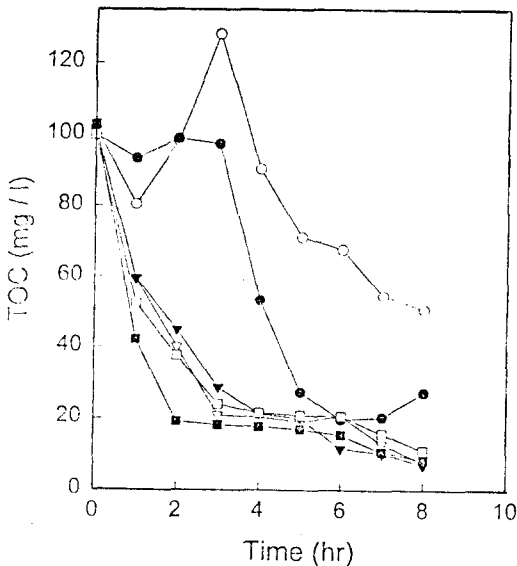


Fig. 6. The changes of TOC by PAA bead in a SBR. (○ : 1st day, ● : 2nd day, ▽ : 5th day, ▼ : 7th day, □ : 10th day, ■ : 15th day)

### 3. 연속실험에 의한 TOC의 거동

Fig. 6에 나타난 것과 같이 적용 1일째 3시간 동안의 혐기적인 운전 조건중 적용 1시간이 지나면서 부터 TOC가 계속 증가하는 현상을 보였다. 이것은 담체가 유기물을 흡수하기 위한 환경, 즉 적용 기간에서 발생하는 fluctuation 현상으로 판단되었다.

한편 적용 5일째 3시간 동안의 혐기적인 조건에서는 79.4%의 TOC 제거효율을 보였으며, 이어지는 5시간 동안의 호기적인 조건에서는 적용 3시간째 TOC를 기준으로 63.6%의 제거효율을 나타내었다. 그리고 담체가 효과적으로 TOC를 제거하기 위해서 최소한 5일 동안의 적용 기간이 필요함을 알 수 있었으며, 15일 동안의 반복적인 혐기와 호기 조건으로부터 92%의 TOC 제거효율을 나타내었다.

### 4. 연속실험에 의한 인의 거동

Fig. 7에 나타난 것과 같이 적용 2일째까지 인은 혐기와 호기 조건에 관계없이 계속해서 방출되는 현상을 보였다. 이것은 담체에 인을 축적시킬 수 있는 미생물의 활성이 낮기 때문으로 추측되었다. 그러나 적용 5일째부터 혐기적인 조건에서 담체 외부로 인이 방출되었으며 이어지는 호기적인 조건에서 인이 담체에 흡수되었다. 이상의

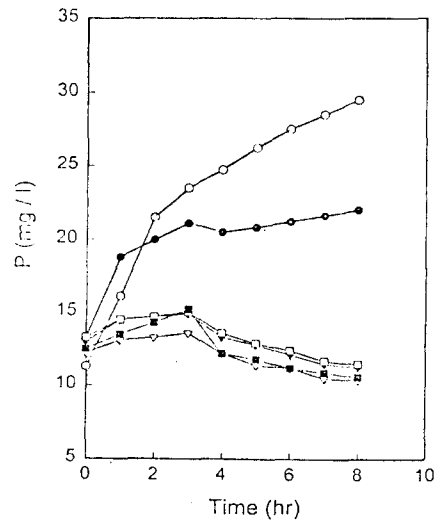


Fig. 7. The changes of phosphate by PAA bead in a SBR. (○ : 1st day, ● : 2nd day, ▽ : 5th day, ▼ : 7th day, □ : 10th day, ■ : 15th day)

운전 결과로부터 담체에서 인의 흡수 속도는 적용 5일째 1.78 mg-P/g cell/hr로 부터 적용 15일째 40% 증가한 2.5 mg-P/g cell/hr를 나타내었다. 또한 담체에 존재하는 총 인은 적용 1일째 40 P-mg/g cell에서 37.5% 증가한 55 P-mg/g cell를 나타내었다.

#### IV. 결 론

Poly acrylamide와 황성슬리지를 포괄 고정화시킨 후 이를 회분 실험과 15일 동안의 Sequencing Batch Reactor(SBR)에서 운전하면서 폐수 중의 존재하는 Total organic carbon(TOC)와 인의 거동을 관찰한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 회분식 실험을 통하여 실제 폐수처리 공정에 적합한 15%의 acrylamide 농도를 구하였다.
2. 15일 동안의 연속실험을 통하여 92%의 TOC 제거효율을 나타내었다.
3. 담체에서 인의 흡수 속도는 적용 5일째 1.78 mg-P/g cell/ hr에서 적용 15일째 40% 증가한 2.5 mg-P /g cell/ hr를 나타내었으며 또한 담체에 존재하는 총 인의 함량 변화는 적용 1일째 40 P-mg/ g cell에서 적용 15일째 37.5% 증가한 55 mg-P/ g cell를 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Galat, David L. and James P. Verdin : Patchiness, Collapse and Succession of a Cyanobacterial Bloom Evaluated by Synoptic Sampling and Remote Sensing, J. Plankton Research, 11, 935-948, 1989.
- (2) Levin, G.V., et al. : Pilot Plant Test of a Phosphorus Removal Process, J. Wat. Pollut. Control Fed., 44, 1940-1954, 1972.
- (3) Tetsuro Fukase : Studies on The mechanism of Biological Removal of Phosphorus, 水質汚濁研究, 第5卷, 第6號, 309-317, 1982.
- (4) EPA : Design Manual(Phosphorus Removal), EPA/625/1-87/001, Sep., 15-47, 1987.
- (5) Simon Gonzalez-Martinez and Peter A. Widerer : Phosphate Removal in a Biofilm Reactor, Wat., Sci., Tech., 23, 1405-1415, 1991.
- (6) Manning, J.F. and Irvine, R.L. : The Biological Removal of Phosphorus in a Sequencing Batch Reactor, J. Wat. Pollut. Control Fed., 57, 87-94 1985.
- (7) Levin, G.V., et al. : Operation of a Full Scale Biological Phosphorus Removal Plant, J. Wat. Pollut. Control Fed., 47, 577-590, 1975.
- (8) Tatsuo Sumino. et al. : Immobilization of activated sludge by the Acrylamide Method, J. Ferment. Technol., 72, 2, 141-143, 1991.
- (9) Sumino, T. et al. : Development of Wastewater Treatment Technique by Immobilized Microorganism, J. Wat. and Waste., 27, 1024-1029, 1985.
- (10) G. Durand and J.M. Navarro : Immobilized Microbial Cells, Process Biochemistry September, 14-23, 1978.
- (11) Scherer, P. : Immobilization of the Methanogenic Bacterium Methano Sarcina Barkeri, Biotechnol. Bioeng., 23, 1057-1065, 1981.
- (12) Nilsson, I. and Ohlson, S. : Columnar Denitrification of Water by Immobilized Pseudomonas Denitrificans Cell, Eur. J. Appl. Microbial. Biotechnol., 14, 86-90, 1982.
- (13) H. Ozaki : Utilization of Microorganism immobilized with Magnetic Particles for Sewage and Wastewater Treatment, Wat. Sci. Tech., 23, 1125-1136, 1991.
- (14) Susumu Hashimoto and Kenji Furukawa : Immobilized of Activated Sludge by PVA-Boric Acid Method, Biotechnology and Bioengineering, 30, 52-59, 1987.
- (15) Osamu Ariga, et al. : Immobilization of Microorganisms with PVA Hardened by Iterative Freezing and Thawing, J. Ferment. Technol., 65, 6, 651-658, 1987.
- (16) Kazuhiro Tanaka, et al. : Development of New Nitrogen Removal System Using Nitrifying Bacteria Immobilized in Synthetic Resin Pellets, Wat. Sci. Tech., 23, 681-690, 1991.
- (17) Tatsuo Sumino : 拖刮固定化 微生物을 이용한 廢水

- 處理 技術, 用水と廢水, 17, 10, 52-57, 1985.
- (18) American Public Health Association : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th, 1985.
- (19) 須藤陸一 : 微生物 固定化法による, 廢水處理 産業用水調査會, 192-218, 1987.