

커어튼형 생물막 접촉공법에 의한 도축장 폐수 처리에 관한 연구

이태호 · 은종극

대구보건대학 환경시스템과 · 보건위생과

A study on the Treatment of Slaughterhouse Wastewater using Curtain Biological Film Contact Process.

Tae Ho Lee · Jong Keug Eun

*Department of Environment System Engineering · Health Hygiene,
Taegu Health College*

Abstract

This study was carried out to get efficient of nutrient removal and wastage sludge production minimized effects on the treatment of slaughterhouse wastewater using aerobic curtain biological film contact process. As a results of biofilm attachment experiment aggravation of water quality due to excessive biofilm showed after every 15 days of operating times. The concentration of BOD and COD in the influent were 2500~3000mg/L and 1700~2100mg/L, respectively. The average BOD and COD were 9mg/L and 17mg/L, respectively. The result of this experiment was wastage sludge did not almost generated and the removal efficiency of nutrients were kept equilibrium.

I. 서 론

유기성 폐수를 생물학적으로 처리하기 위해서는 부유증식공법(suspended growth process)인 활성슬러지 공법이 주로 이용되지만, 부착증식공법(attached growth process)인 호기성 생물막 접촉공법(aerobic biological film contact process) 또한 활발하게 연구되고 있을 뿐만 아니라 실제 처리장에서 많이 적용되고 있는 실정이다¹⁾. 호기성 생물막 접촉 공법이 현장에서 실용화 되고 있는 이유는 호기성 생물막 접촉공법이 활성슬러지 공법에 비하여 운전이 용이하고, 충격 부하에 대한 적응력이 강하며, 포기조에 적정량의 미생물(MLSS)을

확보할 수 있으며, 2차 침전지에서 일어나는 슬러지 팽화현상을 방지할 수 있으며 동시에 폐기슬러지 발생이 거의 없다는 장점 때문이다²⁾. 활성슬러지 공법만으로 하수를 처리할 경우에는 질소, 인의 제거 효율이 극히 저조하여 상당히 많은 양의 질소와 인이 제거되지 않은 채 방류되고 있는 실정이다. 이에 비하여 호기성 생물막 접촉공법을 적용하면 질소와 인을 상당량 제거할 수 있다. 이러한 장점이 있는 호기성 생물막 접촉공법이 과거에는 소규모의 하수처리장에서 주로 사용되어 왔으나 최근에는 운전 방법의 개선과 더불어 새로운 여재의 개발로 인하여 대규모의 하수처리장에서도 이용되어질 뿐만 아니라 고농도의 유기성 폐수 처리

에 적용한 경우도 있다. 그러나 호기성 생물막 접촉공법을 이용하여 고농도의 유기성 폐수를 처리할 경우는 미생물의 과다 증식으로 인해 생물막의 탈리 현상이 일어나서 부유성 미생물이 증가하여 처리수의 수질을 악화시키며, 여재의 공극을 폐색시켜 처리 효율을 감소시키므로 운전방법의 개선에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 고체상의 여재(media)에 활성미생물을 부착시켜 폐수를 처리하는 생물막공법(biological fixed film process)은 1865년 Alexander Muller가 여과칼럼(filtration column)을 통한 폐수처리 실험에서 유기물질의 제거는 살아있는 미생물에 의하여 이루어진다고 발표하였다³⁾. 1890년 Winogradsky에 의한 *Nitrosomonas*의 발견과 Lawrence group의 간헐주입으로 인한 호기성 상태에서 여재에 부착된 미생물에 의한 유기물의 분해 발표는 현재의 생물막공법의 기초가 되었다⁵⁾. 회전원판공법은 1900년 Weigand와 1916년 Poujoulat의 회전판 여재(rotating cylinder media)를 시작으로 하여 1904년 Travis는 공기를 불어넣는 방법을 고안했으며 쇠석대신 촘촘하게 세운 판을 설치하여 실험을 수행하였고, 이를 Imhoff는 contact aerator이라고 불렀다⁴⁾. 1957년 Stuttgart에서 polystyrene을 원료로 제작한 RBC가 운전되었다⁶⁾. 이후 회전원판 공정은 여재의 개선으로 인하여 회전축이 받는 하중을 최소화하였고, 회전원판의 단수를 증가시킴으로써 고농도의 폐수처리 뿐만 아니라 질소까지 제거하는 공정으로 발전하였다⁷⁾.

본 연구에서는 기존 여재에 비하여 비표면적(220-400m²/m³)이 넓고, 많은 양의 미생물을 부착시킬 수 있는 Bio-Acty(Saran Lock) 여재를 이용한 RBC 반응조와 호기성 커튼형 생물막(aerobic curtain biological contactor : CBC)반응조를 조합한 공법을 이용하였으나 여기서는 도살장 폐수의 폐수처리에 적용한 실험을 통하여 본 공법의 효율적인 운전방법, 여재 단위면적당(m²) 유기물 부하량 및 각 운전조건에서의 처리효율을 검토하였다. 또한 본 연구의 목적은 망상 여재인 Bio-Acty(Saran Lock) 여재로 이용하여 1단계 RBC(A조와 B조) 반응조와 2단계를 CBC 반응조를 조합하여 제작한 pilot plant 규모의 실험장치를 이용하여 도

축장 폐수처리에 적용하여 운전조건에 따른 처리 효율을 검토하여 적정 운전조건 제시와 여재의 폐색 방지와 슬러지 감량화를 위한 운전방법을 제시하고자 한다. 또한 자산화로 인한 슬러지 감소량을 검토하였으며, 추후 현장에서 본 방법으로 처리장을 설계 및 운전할 때 설계자료와 운전자료가 될 수 있도록 하고자 한다.

II. 실험

1. 폐수의 성상

본 실험 기간중 원수는 성상이 Table 1.과 같은 도축장 폐수를 저류조에서 직접 취수하여 유입시켰으며 pilot plant 규모의 실험장치에 RBC 반응조와 CBC 반응조에는 Bio-Acty(Saran Lock) 여재를 설치하여 유기물 제거효율, 여재 단위 면적당 유기물 부하량(BODkg/m²·CODkg/m²) 및 폐슬러지 발생량을 추정하기 위하여 실험을 수행하였다.

2. 실험 장치

본 실험에 이용된 1단계 반응조의 RBC 반응장치는 Fig. 1과 같이 A조 및 B조의 2조로 나누었으며 각 조 용량은 각각 0.25m³이다. Bio-Acty원판의 직경은 0.6m, 두께는 0.05m이고 원판과 원판 사이는 0.05m 간격이 되도록 하여 10개의 원판을 병렬로 설치하였으며, 회전축의 회전속도는 7~12rpm이 되게 하였다. CBC 반응조 반응장치의 용

Table 1. Characteristic of slaughterhouse wastewater

| Constituents | Concentration | |
|--------------------------|---------------|---------|
| | Range | Average |
| Temperature(°C) | 13 ~ 26 | 19.5 |
| pH | 7.5 ~ 8.1 | 7.8 |
| BOD ₅ (mg/L) | 2500 ~ 3000 | 2250 |
| COD(mg/L) | 1650 ~ 2100 | 1850 |
| SS(mg/L) | 1600 ~ 2200 | 1900 |
| T-N(mg/L) | 410 ~ 480 | 445 |
| T-P(mg/L) | 40 ~ 80 | 60 |

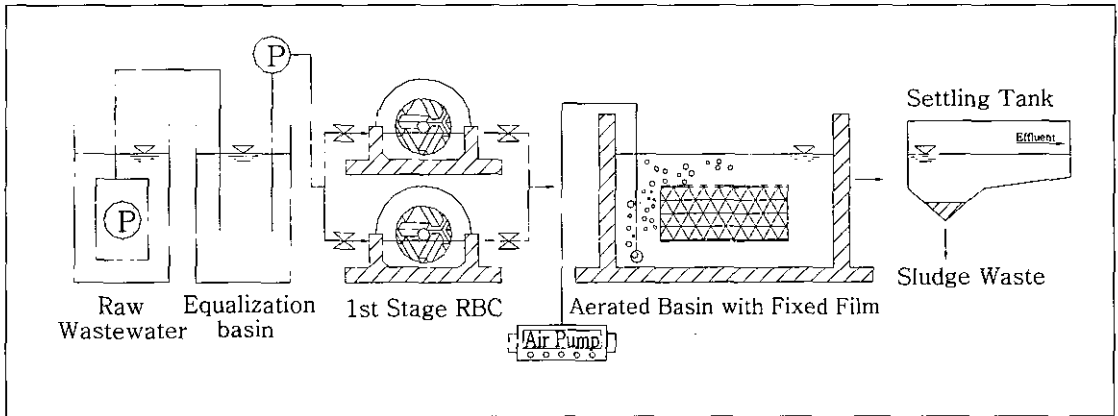


Fig. 1. Schematic flow diagram of RBC and CBC

량은 1.0m³이며 여재의 크기는 0.5m×0.6m×1m 인 Bio-Acty 여재 9개를 연속으로 커튼처럼 설치 하였다. 포기는 포기장치인 air pump와 산기관을 이용하여 연속 포기가 되게 하였으며 CBC 반응조 내의 DO는 2~3mg/L가 유지되도록 공기 주입량을 조절하였다.

본 실험에서 사용된 Bio-Acty 여재의 구성 형태는 망상(Lock, Luffa)으로, 타 플라스틱 여재에 비하여 비표면적과 공극율이 크고, 가벼운 것이 특징이다. 본 실험에 사용한 Bio-Acty는 RBC와 CBC에 사용한 것과 서로 약간의 차이가 있으며 RBC에 사용한 여재는 두께 0.05m에 비표면적이 220~220m²/m³이고, CBC에 사용한 여재는 두께 0.05m에 비표면적이 400m²/m³이다. 본 실험에 사용된 RBC 및 CBC 여재의 물성은 Table 2.에 제시된 바와 같다.

3. 실험방법 및 수질분석방법

본 실험을 수행하기 위한 실험 장치는 철판으로 자체 제작하였으며 도축장 폐수를 유입 원수로 사

용하여 현장에서 실시하였다. 1단계인 RBC 반응조는 Fig. 1과 같이 A조, B조 두조로 나누어 15일 씩 교대운전을 하였고, A조에 원폐수와 최종침전지의 반응 슬러지를 유입시키는 동안 B조를 공회전시켜 미생물의 자산화를 통한 슬러지 감량을 시킬 수 있게 하였다. 유기물 제거를 위해 RBC와 CBC의 처리공정을 거친 처리수는 방류하였다. 폐기슬러지를 감량하기 위한 방법으로는 최종 침전지의 슬러지를 RBC에 재순환시켜 미생물의 내생 호흡단계를 이용하여 인위적으로 자산화를 유도하였다. 과 부착 미생물막의 제거를 위해서 시행하는 교대운전은 2주 간격으로 실시하였으며 폐기 슬러지 감량을 위한 침전조의 슬러지 반송주기는 연속적으로 실시하였다. 이때 포기조의 운전방법은 원수를 유입시키지 않고 포기만을 하였다.

Table 2. Characteristics of Bio-Acty media.

| | Specific Surface Area (m ² /m ³) | Density (g/m ³) | Porosity (%) |
|-------|---|-----------------------------|--------------|
| R B C | 400 | 1.875 | 95.6 |
| C B C | 200 ~ 220 | 1.875 | 97.7 |

Table 3. Method and Apparatus of wastewater analysis

| Item | Method and Apparatus |
|--------------|---|
| DO (mg/L) | Winkler Method Azide Modification |
| BOD (mg/L) | Winkler Method Azide Modification |
| COD (mg/L) | K ₂ Cr ₂ O ₇ reflux method |
| T-N (mg/L) | Spectrophotometric method |
| T-P (mg/L) | Spectrophotometric method |
| MLSS (mg/L) | Gravimetric method |
| MLVSS (mg/L) | Gravimetric method |
| pH | pH-meter |

유입 및 유출시료의 수질분석방법은 미국 Standard Methods와 환경오염 공정시험법에 의거하여 분석하였고⁸⁾ 수질분석은 운전초기에는 3일 1회로 하였으나 정상 상태가 된 이후부터는 5일 1회씩 유출수 및 유입수에 대한 수질 분석을 수행하였다. Table 3.에는 실험항목과 방법을 제시하였는데 BOD실험은 질산화에 의한 산소의 소모량을 없애기 위하여 질산화 방지제(nitrification inhibitor formula 2533)를 사용하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수리학적 부하와 유기물 부하

본 실험기간(210일) 중 운전경과 일수에 따른 유입원수의 수질변화는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 RBC 반응조의 유입수 BOD 농도범위는 2500~

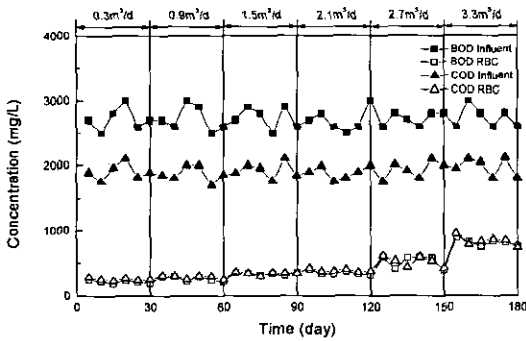


Fig. 2. BOD and COD concentration of each reactor zone with operating time.

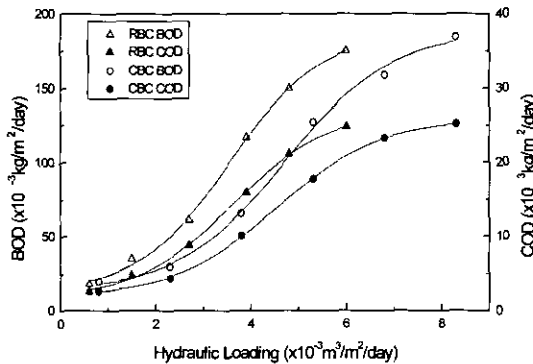


Fig. 3. Relationship between hydraulic loading and organic loading.

3000mg/L이었으며 COD의 농도범위는 1700~2100 mg/L이었고 CBC 반응조의 유입수 BOD 농도 범위는 700~800mg/L이고 COD 농도 범위는 310~430mg/L이었다.

Fig. 3은 실험기간 중 1단계의 RBC 반응조와 2 단계의 CBC반응조에 수리학적 부하($m^3/m^2 \cdot d$) 변동에 대한 유기물 부하량($kg/m^2 \cdot d$)의 관계를 나타낸 것으로 RBC 반응조에서 유입 수리학적 부하량이 $0.6 \times 10^{-2} m^3/m^2 \cdot d$ 에서 $6.0 \times 10^{-2} m^3/m^2 \cdot d$ 일 때 유기물의 BOD 및 COD 각각의 부하량은 $1.8 \times 10^{-3} \sim 175 \times 10^{-3} kgBOD/m^2 \cdot d$ 와 $13 \times 10^{-3} \sim 124 \times 10^{-3} kgCOD/m^2 \cdot d$ 이고, CBC 반응조에서 유입수리학적 부하량은 $0.8 \times 10^{-2} \sim 8.3 \times 10^{-2} m^3/m^2 \cdot d$ 일 때 유기물 BOD 및 COD 각각의 부하량은 $3.9 \times 10^{-3} \sim 37.4 \times 10^{-3} kgBOD/m^2 \cdot d$ 와 $2.6 \times 10^{-3} \sim 25.2 kgBOD/m^2 \cdot d$ 이다. Fig. 4는 실험기간 중에서 1단

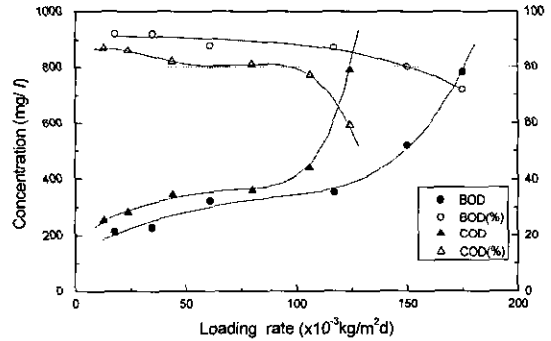


Fig. 4. Relationship between organic loading rate vs organic carbon concentration in RBC.

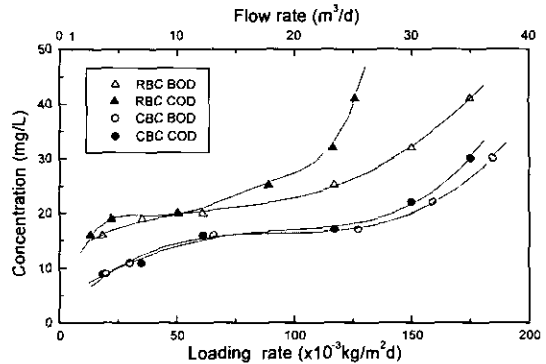


Fig. 5. Relationship between organic loading rate vs organic carbon concentration in reactor.

계 RBC반응조에서 유기물 BOD 및 COD 부하 변동에 대한 잔류 BOD 및 COD와 제거효율을 나타낸 것으로 Salan Lock 여재를 이용한 실험에 의하면 2단계 직렬침전 형상에서는 1단계에서 유기물을 80%이상 제거하여야 2단계에서 정상 상태가 유지될 수 있으므로, 본 Fig. 4에 의하면 유기물 80%이상 제거되는 지점의 부하량은 BOD인 경우 $150 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ ($2.7 \text{ m}^3/\text{d}$) 이고 COD인 경우는 $100 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ ($2.1 \text{ m}^3/\text{d}$)이다. BOD 및 COD가 모두 80%이상 제거되는 지점은 유입수량이 $2.1 \text{ m}^3/\text{d}$ 이인 지점임을 알 수 있다. Fig. 5는 실험 기간 중에서 2단계 CBC 반응조에서 유기물의 BOD 및 COD 부하변동에 대한 BOD 및 COD 잔류 농도를 나타낸 것으로서 처리수 기준의 BOD 및 COD가 20mg/L 이하로 할 때 BOD 부하가 $25.4 \times 10^{-3} \text{ kgBOD/m}^2 \cdot \text{d}$ 인 경우 BOD 농도가 17 mg/L 이고 COD 부하가 $10.1 \times 10^{-3} \text{ kgCOD/m}^2 \cdot \text{d}$ 인 경우 COD 농도가 20mg/L 이다.

Fig. 4와 Fig. 5에 의하면 RBC반응조와 CBC 반응조를 직렬로 연결하는 경우 1단계 반응조에서 처리효율의 80% 이상이고, 2단계에서 잔류유기물 농도가 20mg/L 이하인 지점은 RBC 반응조에서는 여재 1 m^2 당 1일 BOD 부하량은 $1.5 \times 10^{-1} \text{ kg}$ 이하이고, COD 부하량은 $0.8 \times 10^{-1} \text{ kg}$ 이하이고, 그리고 CBC 반응조에서는 여재 1 m^2 당 1일 BOD 부하량 $1.6 \times 10^{-1} \text{ kg}$ 이하이고, COD 부하량은 $1.2 \times 10^{-1} \text{ kg}$ 이하이다.

2. 유기물 제거

도축장에서 배출된 폐수의 BOD 농도는 2000~3100mg/L로써 그 범위는 넓었지만 본 반응조를 거친 처리수의 BOD 농도는 부하에 따라 약간의 차이는 있었지만 동일 부하범위 내에서는 일정한 값을 유지하였다. 유입폐수의 pH는 7.7~8.4이었으며 RBC 반응조와 CBC 반응조에서는 각각 7.3~7.8과 6.9~7.4였다. 반응조내의 DO는 RBC 반응조에서 평균농도가 1.6~2.0mg/L가 되게 하였고 CBC 반응조에서는 2.0~3.0mg/L가 되게 조절하면서 운전하였다. Fig. 6, 7은 RBC 반응조와 CBC 반응조에서 유입 수량의 변화에 따른 유출수의 제거 BOD와 COD의 농도를 제시하였다. 유입수량이

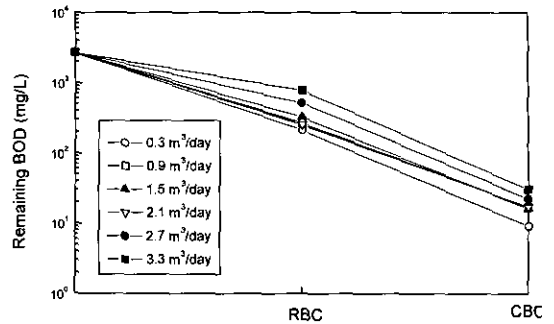


Fig. 6. Remaining BOD concentration in each reactor zone.

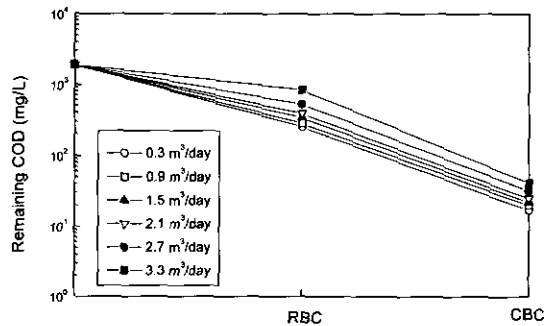


Fig. 7. Remaining COD concentration in each reactor zone.

$0.3 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 가동하였을 때 RBC 반응조에서 유출수의 BOD 농도가 평균 220mg/L이하를 유지되었고, COD 농도는 평균 260mg/L이하를 유지되었다. CBC 반응조에서 유출수의 평균 BOD 농도는 10mg/L이하로 유지되었으며, 평균 COD 농도는 18mg/L이하로 유지되었다. 반면 유입수량을 $2.1 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 운전한 경우 RBC 반응조에서 유출수의 평균 BOD 농도는 350mg/L이하로 유지되었고, 평균 COD 농도는 420mg/L이하로 유지되었다. 유입수량을 $2.1 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 운전한 경우 CBC 반응조에서 처리수의 평균 BOD 농도는 18mg/L이하로 유지되었으며, 평균 COD 농도는 24mg/L이하로 유지되었다. 유입 부하량을 $30 \sim 210 \times 10^{-3} \text{ kgBOD/m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 로 운전한 RBC 반응조에서 처리수의 BOD 농도는 180~370mg/L이었다. 또한 CBC 반응조에서 유출수의 BOD 농도는 9~27mg/L로 안정된 수질이 유지되었다.

유입 원수의 수질변화에 관계없이 처리수의 수질이 비교적 안정된 것은 생물막이 갖는 미생물 보유능력 때문이며 또한 교대운전으로 인해 미생물의 활동도가 높아진 것으로 생각된다. 그러나 유입 부하량이 너무 과다한 경우에는 유출수의 농도는 불안정하고 처리 효율은 낮아졌다. 그러므로 RBC 반응조와 CBC 반응조를 운전할 때 유입수의 부하량이 안정적으로 될 수 있도록 하기 위한 일련의 조치가 필요할 것이다. 7개월간 운전한 본 실험의 결과 여재를 이용한 접촉산화법에서 가장 문제점인 폐색현상이 일어나지 않았으며, 또한 폐기할 잉여 슬러지가 발생하지 않았다. 그 원인은 RBC 반응조로 잉여 슬러지를 반응하여 A반응조, B반응조를 15일간씩 교대 운전을 하므로 미생물의 내생호흡단계에서 자산화로 인하여 미생물막의 과다한 증식이 억제되고, 미생물의 내생호흡단계를 이용하여 폐수를 처리한 결과 7개월간의 실험 기간 동안에는 잉여슬러지가 발생되지 않았다. 잉여 슬러지가 제거되므로 폐색현상 방지와 폐슬러지발생이 일어나지 않은 것으로 사료된다. 차후 교대운전에 대한 실험을 계속하여 미생물의 자산화로 인한 폐슬러지가 발생되지 않는 메카니즘을 규명하기 위한 연구가 계속 되어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

D도시의 S산업 도축장 폐수처리장에서 2단계 폐수처리 장치인 RBC 반응조와 CBC 반응조를 직렬로 연결하였으며 1단계반응 장치인 RBC 반응조는 A조와 B조로 나누어 15일간씩 교대운전을 하였으며, 이때 수리학적 부하, 유기물 부하, 유기물 제거 및 폐슬러지 발생에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 본 실험 기간동안 처리수의 유입 BOD 농도는 (2500~3100mg/L), COD 농도는(1700~2100mg/L)이며 RBC 반응조와 CBC 반응조에서 유입수량을 0.3, 0.9, 2.1m³/d로 변화시킬 때 처리수의 BOD 및 COD 농도는 각각 9, 17, 18mg/L와 17, 20, 25mg/L로써 방류수 수질이 양호하였다.

2. RBC와 CBC를 직렬로 연결한 2단계 반응장치에서 유출수의 잔류유기물 농도를 20mg/L이하로 처리하기 위하여는 실험 결과 1단계 반응장치에서 처리효율이 80%이상 되어야 되며 1단계 처리장치인 RBC반응조에서 1m²당 BOD 부하량은 1.5×10⁻¹kg/day이고, COD 부하량은 0.8×10⁻¹kg/day이다. 또한 2단계 처리장치인 CBC 반응조에 1m²당 BOD 부하량은 1.6×10⁻¹kg/day이고, COD 부하량은 1.2×10⁻¹kg/day 추정되었다.

참 고 문 헌

1. Hamming, M. L, and Wheatly, D.: Low-rate Biofiltration Systems Using Random Plastic Media, JWPCF, Vol. 51, No. 1, pp 54~68, 1979.
2. Benefield, L.D., and C.W. Randall: Biological Process Design for Wastewater Treatment, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1980.
3. Bjorn Rusten: Wastewater Treatment with Aerated Submerged Biological Filter, JWPCF, Vol. 56, No. 4, pp424~431, 1984.
4. Robert, W.O., and Orris, E.A.: Diffusion's Role in Regulating Rate and Masking Temperature Effects in Fixed Film Nitrification, JWPCF, Vol. 61, No. 4, pp 500~509, 1989.
5. Hoehn, R.c., and Ray, W.R.: Effects of Thickness on Bacterial Film, JWPCF, Vol. 45, No. 11, pp 2302~2320, 1973.
6. Truler, M.G., and Characklic, W.G.: Dynamic of Biofilm Process, JWPCF, Vol. 54, No. 12, pp 1288~1301, 1982.
7. Huang, J.C., et al.: Biofilm growth with Sucrose as Substrate, J. Environ. Eng. Div., ASCE, vol. 111, No. 3, pp 353~363, 1985.
8. APHA, AWWA, WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed, 1992.