

## PF8 RBC 반응조를 이용한 2단 A/O 공정에서 유기 물질 및 질소제거

최명섭, 손인식, 정승현<sup>1</sup>, 정병곤<sup>2\*</sup>

부경대학교 토목공학과, <sup>1</sup>(주)이엔텍 부설연구소,

<sup>2</sup>군산대학교 환경공학과

### 1. 서 론

생물학적 탈질은 *Bacillus*와 같은 혐기성 미생물이  $\text{NO}_2^-$ -N 및  $\text{NO}_3^-$ -N를 전자수용체로 이용하여  $\text{N}_2$ 로 환원시키는 과정으로, 유기물과 같은 전자공여체가 필요하다. 탈질에 이용되는 유기성 전자공여체로는 methanol 및 acetate 등과 같은 외부탄소원, 유입수에 포함된 유기물, 미생물의 자산화시 생성되는 유기물 등이 있다. 미생물 성장을 고려하지 않은 이론적인 유기물 요구량은  $\text{NO}_3^-$ -N 및  $\text{NO}_2^-$ -N 1 mg당 각각 40 및 24 mg COD로, 이 때 이론적 COD/N 비는 각각 2.86 및 1.71이다(U. S. EPA : Manual, 1993). 그러나, 국내의 경우 생활 하수의 집수를 위한 하수관거가 우수와 하수가 함께 유입되는 합류식 관거가 많아 하수종말처리장으로 유입되는 유기물질의 농도가 낮아 생물학적 고도처리시 탈질을 위한 외부탄소원이 많이 요구되고 있다.

하·폐수처리장에서의 질소제거를 위한 방법으로써 Anoxic-Oxic 공정과 Anoxic-Oxic-Anoxic-Oxic 공정 등이 많이 이용되고 있다. 또한, Anoxic과 Oxic 반응조의 유출수 중의  $\text{NH}_4^+$ -N, Alkalinity 및  $\text{NO}_3^-$ -N가 양론적인 질산화 반응과 탈질 반응으로부터 추정되었고, Anoxic-Oxic-Anoxic-Oxic 공정에서의 계산치 T-N 제거효율을 유입수질, 반송율(Recycling ratio) 그리고 두 번째 Anoxic 반응조로의 유입수 분배율(Influent allocation ratio)의 함수로 나타내었다(S. Fujii, and f. Boonyarat, 1993). 그러나, Anoxic-Oxic-Anoxic-Oxic 공정의 경우에 충분한 질소 제거를 위해 내부순환율(Internal recycling ratio; 1st Oxic→1st Anoxic)을 대부분 적용하고 있어 이에 대한 검토가 필요하다. Anoxic-Oxic-Anoxic-Oxic 공정을 이용하여 질소에 대한 내부순환율 및 반응조 용적비를 계산하여 양론적으로 해석하였다(박영규, 이철희, 이병대, 1995). 그러나, 이들은 일본 하수처리장의 운전 자료를 이용하여 수치적 계산한 것이며, 또한, 활성슬러지 에 의한 공정 결과를 이용한 결과이다.

생물막공법은 부유성장공법에 비해 높은 슬러지 체류시간(sludge retention time; SRT)을 유지할 수 있기 때문에 기질의 부하변동에 강하며, 높은 처리효율, 운전관리의 용이함, 슬러지 발생량이 적다는 장점을 가지고 있어 성공적으로 사용되고 있으며, 최근에 총질소가 배출수 규제항목으로 지정됨에 따라 활발한 연구가 수행중이다.

본 연구에서는 비교적 긴 SRT를 유지할 수 있고, 부하변동에 강하며, 높은 처리효율 및 적은 슬러지 발생량으로 운전관리가 용이한 회전원판법과 무산소 반응조를 조합하여 도시 하수 중의 유기물질 및 질소를 동시 제거할 수 있는 무산소-RBC-무산소-RBC 고도하수

처리 공정을 개발하기 위하여 Y 하수종말 처리장의 일차 율류수를 이용하여 부하변화, 내부순환율 및 유입수 분배비의 변화에 따른 질소제거 특성을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같이 SUS-304를 이용하여 무산소-RBC-무산소-RBC 반응조 형태로 만들었으며, 반응기 본체의 규격은 제 1 및 2 무산소조의 경우  $45^W \times 45^L \times 30^H$  cm, 유효용적 약 48 l였으며, 제 1 RBC 반응조의 경우  $45^W \times 135^L \times 30^H$  cm, 유효용적 약 144 l, 제 2 RBC 반응조의 경우  $45^W \times 45^L \times 30^H$  cm, 유효용적 약 48 l로 각각의 용적비는 1 : 3 : 1 : 1로 하였고, 침전조는  $45^W \times 45^L \times 50^H$  cm, 유효용적 약 100 l로 제작하여 설치하였다.

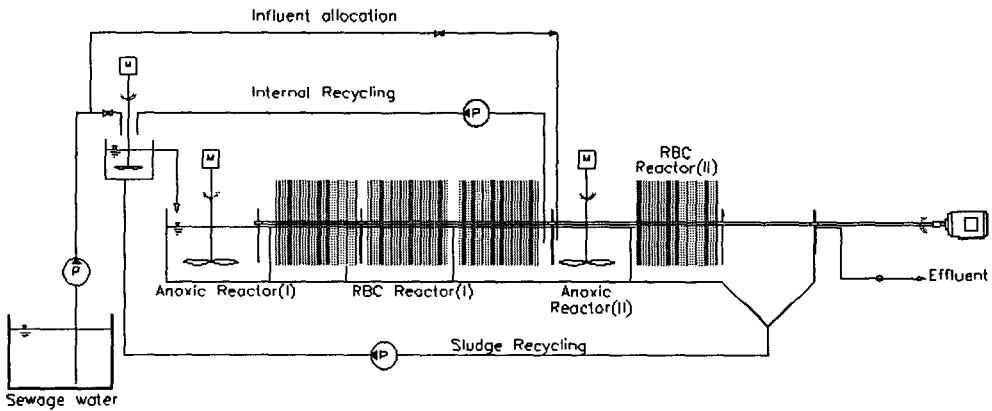


Fig. 1. Schematic flow of the experimental apparatus.

무산조 상부에는 반응조 내 슬러지의 교반을 위해 20 rpm의 교반장치를 부착하였으며, 슬러지의 RBC 반응조로의 유실을 방지하기 위하여 방해판을 설치하였다. RBC 반응조의 회전 원판은  $\Phi 40$ cm, 두께 1.5 mm의 PE 재질을 이용하였으며, 미생물의 부착을 위하여 표면처리를 하여 45 % 침적시켰다. 회전원판은 제 1 및 RBC 반응조에 각각 44개 및 22개로 면적비가 약 2 : 1이었으며, 미생물 부착 가능 표면적은 각각 약 8.8 및 4.4  $m^2$ 이었으며, 회전속도는 10rpm으로 하였다. 유입폐수, 내부반송 및 슬러지 반송수는 마그네틱펌프(magnetic pump, LC- 100)를 이용하여 혼합조로 이송하여 자연유하방식으로 제 1 무산소조에 유입시켰다.

### 2.2. 폐수의 성상 및 분석 방법

#### 1) 유입 폐수의 성상

본 실험에 사용된 Y 하수종말처리장의 1차 율류수의 조성은 실험기간동안 45개의 시료를 채취하여 분석한 결과 평균  $COD_{Mn}$ , 196 mg/l;  $BOD_5$ , 165 mg/l; T-N, 23.5 mg/l;

T-P, 3.16 mg/ℓ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 21.6 mg/ℓ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 0.65 mg/ℓ; SS, 16 mg/ℓ 였다.

### 2) 식중 미생물

본 실험에 사용한 식중 미생물은 무산소조의 경우 하수종말처리장의 반송슬러지를 이용하여 약 4,000 mg/ℓ 되게 채웠으며, RBC 반응조의 경우 포기조 미생물을 채취하여 반응조에 채우고 상기 유입하수 주입량을 늘려가며 약 60일간 부착 및 순치시켰다.

### 3) 시료 채취 및 수질 분석

본 실험의 분석은 유입수 및 유출수에 대하여 pH, BOD<sub>5</sub>, T-N 및 SS를 수질오염공정시험방법에 의해 분석하였다.

## 2.3. 실험방법

### 1) 부하변화에 따른 처리 특성 실험

유입하수의 유입량을 늘려가며 실험 Exp. I ~ III 단계에 부가된 유기물질 및 질소 부하량은 Table 1과 같으며, 모든 단계에서 슬러지 순환 및 내부순환은 유입수 유량에 대하여 각각 100 및 200 %로 하였고, 각 단계에서의 운전기간은 정상상태가 10일 이상 될 때까지 운전하였다.

Table 1. Conditions of each experimental

Item	Loading rate(g/ℓ-day)	
	BOD <sub>5</sub>	T-N
Exp. I	0.157	0.023
Exp. II	0.233	0.033
Exp. III	0.317	0.044

### 2) 내부순환을 변화에 따른 처리 특성

2.3의 1)의 Exp. III의 부하조건에서 내부 반송율을 100(Exp. IV), 200(Exp. III), 250(Exp. V) 및 300(Exp. VI) %로 조정하여 실험을 수행하였다.

### 3) 유입분배비 변화에 따른 처리 특성

2.3의 1)의 Exp. VI의 조건에서 제 2 무산소조로 유입유량의 20(Exp. VII), 30(Exp. VIII) 및 35(Exp. IX) %를 분배 유입시켜 실험을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 부하변화에 따른 제거 특성

유기물질 및 질소 부하변화에 따른 제거 특성을 평가하기 위하여 유입 유량을 증가시켜 Exp. I ~ III의 3단계로 실험을 수행하였다. 이 때, BOD 및 T-N 부하량은 각각 평균 0.15

7~0.317 g BOD/ $\ell$ -day 및 0.023~0.044 g N/ $\ell$ -day 범위로 증가하였다. 부하율이 증가함에 따라 유출수 중의 BOD 및 T-N 농도 모두가 다소 증가하는 경향을 나타내고 있었으나 큰 차이는 없었으며, 운전기간 경과에 따라 각 반응조의 미생물이 잘 순치되고 있는 것으로 판단되었다.

보다 자세한 평가를 위하여 각 실험 단계의 평균 농도를 이용하여 나타내었는데, Exp. I~IV의 BOD 제거율은 평균 89.7~94.3 %로 부하량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 유출수 중의 T-N 제거율 역시 평균 72.6~78.9 %로 부하량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 제거율 감소의 정도가 BOD 제거율 보다는 T-N 제거율의 감소가 더 큰 것으로 나타났다.

### 3.2. 내부 반송이 질소제거에 미치는 영향

반송율을 유입유량에 대해 약 6배까지 증가시킴에 따라 고농도의 질소를 함유한 유입수의 희석 효과에 의해 탈질율이 약 30 % 정도 향상되었다고 하였다(배재호, 김상근, 장현식, 이동욱, 1999). 따라서, 본 연구에서도 내부 반송율의 증가에 따른 탈질화에 대한 영향을 고찰하기 위하여 Exp.Ⅲ(내부순환율 200 %)의 용적 부하량 약 0.317 g BOD/ $\ell$ -day 및 0.044 g T-N/ $\ell$ -day에서 내부 반송율을 100, 250 및 300 %로 변화시켜 보았다. 내부 반송율이 증가함에 따라 BOD 제거율 및 탈질율이 모두 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나, 내부 반송율을 300 %까지 증가시켰으나 BOD 및 T-N 제거율이 각각 평균 91.3 및 77.8 %로 나타나 Exp. Ⅲ의 경우보다 각각 약 2.6 및 5.2 %만이 증가하였을 뿐이었다. 이러한 결과는 배 등의 연구와 상이한 결과인데, 이는 그들이 수행한 대상폐수는 고농도의  $\text{NH}_4^+$ -N를 포함한 침출수로서 본 연구에서보다 질소 부하량이 매우 높아 희석에 의한 충격부하의 감소로 내부 반송율이 탈질효율에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

### 3.3. 유입 분배율의 변화에 따른 제거 특성

Exp. VI의 용적 부하량 0.32 g BOD/ $\ell$ -day 및 0.043 g N/ $\ell$ -day, 내부반송율 300 %의 조건에서 제 1 및 제 2 무산소조로의 유입 유량 분배비를 80 : 20, 70 : 30 및 65 : 35로 변화시켜 가며 실험을 수행한 결과 제 2 무산소조로의 유입 유량 분배율 0~30 %까지 증가시킨 Exp. VI~VIII단계까지는 BOD 및 T-N 제거율이 각각 91.3~93.6 % 및 77.8~84.5 %로 유입 유량 분배율이 증가함에 따라 제거효율이 증가하는 경향을 나타내었으나, 유입 유량 분배율을 약 35 %로 증가시킨 Exp. IX에서는 BOD 및 T-N 제거율이 각각 93.1 및 83.1 %로 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 유입 분배율을 30 % 이상 증가시킬 경우 제 2 무산소조 및 RBC 반응조에 부가되는 BOD 및 T-N의 부하량이 높아져 오히려 제거효율을 감소시킨 결과로 추측되어진다.

이러한 원인을 보다 정확히 규명하기 위하여 각 실험 단계에서 제 2 무산소조 및 BRC 반응조로 유입되는 부가되는 BOD 및 T-N 부하를 측정하기 위하여 제 1 RBC 반응조내의 BOD 및 T-N 농도를 측정한 결과와 제 1 무산소조 및 RBC 반응조에서의 BOD 및 T-N 제거율을 계산한 결과 유입분배 없이 동일한 내부 반송비에서 부하량을 증가시킨 Exp. I~III단계에서는 유입 부하량이 증가함에 따라 제 1 무산소조 및 RBC 반응조에서의

BOD 및 T-N 제거율이 감소하여 제 2 무산소조로 유입되는 BOD 및 T-N 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 이 때, 유입 부하량의 증가에 따른 제거효율의 감소 정도는 BOD 보다는 T-N이 더 큰 것으로 나타났다.

동일한 유입 부하량에서 내부 반송비를 변화시킨 Exp. IV~VI단계에서의 제 2 무산소조에 부가되는 BOD 및 T-N 농도 및 제거효율 변화를 관찰한 결과 반송비를 100 %로 감소시킨 Exp. VI의 경우 BOD와 T-N 모두 그 변화 정도가 크게 나타났으나, 반송비를 300 %로 증가시킨 Exp. VI의 경우에는 그 변화 정도가 둔화되는 것으로 나타났다.

Exp. VI의 조건에서 제 2 무산소조로의 유입 유량을 20, 30 및 35 %로 증가시킨 Exp. VII~IX단계에서는 제 1 반응조에서의 BOD 제거효율은 88.9~89.7 %로 거의 변화가 없었다. 그러나, T-N 제거효율은 유입 유량 분배율의 영향이 큰 것으로 나타났는데, 유입 유량 분배율 30 %의 Exp. VIII단계에서는 제 1 반응조에서의 T-N 제거율이 77.8 %까지 증가하였으며, 전체 T-N 제거율이 약 84.5 %까지 나타났으나, 유입 유량 분배율 35 %의 Exp. IX단계에서는 제 1 반응조에서의 T-N 제거율이 76.5 %로 다시 감소함과 동시에 전체 T-N 제거율 역시 약 83.1 %로 감소하는 경향을 나타내었다.

유입수 분배를 하지 않은 Exp. I~VI단계에서는 제 2 무산소조로 유입되는 BOD/N비가 2.51~2.72로 거의 일정한 것으로 나타나, 본 공정에서 유입 부하량 및 내부 반송비를 증가하여도 제 2 무산소조에서의 탈질 가용 탄소원의 결핍으로 인한 T-N 제거율의 증가를 이루지 못하는 것으로 나타났다. 그러나, 유입 유량 분배율을 20, 30 및 35 %로 증가시킨 Exp. VII~IX단계에서는 BOD/N비가 3.65~4.37로 증가함에 따라 제 2 무산소조에서의 탈질 가용 탄소원의 증가에 의한 T-N 제거율의 증가가 일어남을 알 수 있었다.

따라서, 본 실험의 결과는 제 2 무산소조로의 유입 유량 분배율을 변화에 따른 제 2 무산소조에서 질소의 탈질화에 요구되는 탄소원의 양과 거의 일치하는 값으로 계산되었다고 판단된다.

그러나, Exp. IX단계의 경우 BOD/N 비가 4.37임에도 불구하고 전체 BOD 및 T-N 제거효율이 93.1 및 83.1 %로 감소하였는데, 이는 제 2 반응조에 부가되는 부하량의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 내부순환을 포함한 Anoxic-oxic-anoxic-oxic 공정에서 질소제거를 위한 이론적 고찰에서 최적유입수분배비를 22 %로 계산되었으며, 이 때 탈질효율은 약 85 %였으며, 30 및 40 %에서 탈질효율은 각각 약 80 및 75 %로 선형적으로 감소한다고 보고하였다(박영규, 이철희, 이병대, 1995). 본 연구의 결과와는 다소 차이가 있으나, 본 연구에서 이용된 무산소-RBC-무산소-RBC 공정 역시 적당한 유입수 분배가 탈질 효율을 증가시킬 수 있으나, 제 2 반응조로의 과도한 유입수 분배는 오히려 탈질 효율을 감소시킨다는 점에서 실험 결과의 일치성을 보이는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

회전원판법과 무산소 반응조를 조합하여 도시하수 중의 유기물질 및 질소를 동시에 제거할 수 있는 무산소-RBC-무산소-RBC 고도하수처리 공정을 개발하기 위하여 본 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용적 부하율이 증가함에 따라 BOD 및 T-N 제거율 모두 감소하는 경향을 나타내었으

- 나, T-N 제거율이 BOD 제거율보다 부하율 변화에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.
2. 내부 반송율의 증가가 BOD 및 T-N 제거율에 거의 영향을 미치지 못했다.
  3. 유입수 분배율의 증가가 BOD 제거율에는 거의 영향을 주지 못했으나, T-N 제거효율은 유입 유량 분배율의 영향이 큰 것으로 나타났는데, 유입 유량 분배율 30 %에서는 T-N 제거율이 약 84.5 %까지 증가하였다.
  4. 유입수 분배를 하지 않은 경우에는 제 2 무산소조로 유입되는 BOD/N비가 2.51~2.72로 거의 일정한 것으로 나타났으나, 유입 유량 분배율을 20, 30 및 35 %로 증가시킨 경우에는 BOD/N비가 3.65~4.37로 증가함에 따라 제 2 무산소조에서의 탈질 가용 탄소원의 증가에 의한 -N 제거율의 증가가 일어났다.
  5. 무산소-RBC-무산소-RBC 공정에서 적당한 유입수 분배가 탈질 효율을 증가시킬 수 있으나, 제 2 반응조로의 과도한 유입수 분배는 오히려 탈질 효율을 감소시키는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- U. S. EPA, Manual, 1993, Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010.
- Bachelor, B, 1982, Kinetic analysis of alternative configurations for single-sludge nitrification /denitrification, Wat. Poll. Cont. Fed, 54, 1492-1504.
- Toshihied, M., Tetsuo, T. and Tenichi, M. 1991, Nitrification-Denitrification operation in a full-scale plant Utilization of step-feed and return sludge storage tank, 28th Annual Conference of Japan Sewage Work Association, 505-507.
- Hiroshi Iijima, Hidero Esumi, Junko Ishihara and Hirouki Wakuri 1990, Some problems of denitrification-dephosphorus operation in full-scale plant, 28th Annual Conference of Japan Sewage Work Association, 529-531.
- S. Fujii, and f. Boonyarat 1993, Characteristics of ammonium removal in A/O process, The 2nd Ku-Kaist-Nut Tri-Lateral Seminar/ Workshop on Environmental & Sanitary engineering, 219-222.
- 박영규, 이철희, 이병대 1995, 내부순환을 포함한 Anoxic-oxic-anoxic-oxic 공정에서 질소제거를 위한 이론적 고찰, 대한환경공학회지, 17(9), 873-885.
- Nijhof, M., and Bovendeur, J. 1990, Fixed Film Nitrification Characteristics in Sea Water Recirculation Fish Culture Systems, J. Aquaculture, 87.
- Rogers, G. L. and S. L. Klemetson 1985, Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilter, Aquacultural Engineering, 4, 135-154.
- 남궁 완, 1990, 회전 원판을 이용한 고농도 암모니아 폐수처리 가능성, 대한상하수도 학회지, 4(1), 35-42.
- 서형석, 유성호, 1993, 군용 시설물 폐수 처리를 위한 고정 생물막 공법의 연구, 대한상하수도 학회지 7(1), 37-43.
- 이석모, 김도희, 송교욱, 1992, 순환여과식 양식장의 암모니아 제거를 위한 최적 수리학적 부하, 한국수산학회지 25(3), 176-180.

- 장영진, 유성규, 1988, 순환여과 사육시스템에 의한 해산어류의 고밀도 양식가능성, 한국양식학회지, 1(1), 13-24.
- 환경부, 1998, 수질오염공정시험방법, 동화기술.
- 배재호, 김상근, 장현식, 이동욱, 1999, 매립지 침출수의 암모니아성 질소 및 유기물질 제거-III. COD/N비가 탈질에 미치는 영향 및 질소 제거효율, 대한환경공학회지, 21(1), 159-169.
- 윤조희, 이상훈, 1999, A2/O공정을 이용한 고정생물막법에서 C/NqI 변화에 따른 유기물과 질소 제거 특성, 대한환경공학회지, 21(6), 1037-1045.
- 차수길, 2003, Cellulose triacetate 포괄 고정화 담체를 이용한 고도하수처리, 부경대학교 대학원 박사학위논문.