

## 혐기·호기성 생물막 채널 반응기에 의한 오수처리특성

양재경·최경민\*·남승엽

충남도립 청양대학 환경공학과 · (주)일류기술 기업부설연구소\*

### I. 서론

물환경의 부영양화로 인한 피해가 급속히 증가하고 있고 차후 영양염(N,P)에 대한 방출규제가 더욱 강화될 전망이다. 생물학적 질소 및 인의 제거는 주요 연구대상이 되어 왔다. 탈질 공정은 암모니아성 질소를 산화시키기 위한 호기성 조와 질산성 질소를 질소가스로 환원시키기 위한 무산소(Anoxic)조가 반드시 존재하여야 하며, 탈인 공정도 인의 방출을 위한 혐기성 조와 인의 과잉섭취를 위한 호기성 조가 반드시 필요하다. 따라서 이들을 공간적으로 구분해야 함으로서 반응조의 용적이 많이 소요되는 단점이 있다. 질소와 인을 동시에 제거하는 방법 중에서 대표적인 것으로서 SBR(연속회분식반응조)이다. SBR의 일반적인 운전형태는 기본적으로 유입(fill), 반응(react), 침전(settle), 방류(draw) 및 휴지기(idle)등의 5가지 공정으로 이루어진다. 폐수가 유입되어 반응, 침전 및 방류를 거쳐 대기를 할 때까지를 한 Cycle로 하며, 1Cycle에 걸리는 총 소요시간은 다섯 공정에 걸리는 시간의 합으로 표시할 수 있다. 그러나 이러한 방법에서도 각기 성장환경이 다른 미생물 상이 한 동일한 반응기에서 존재를 해야하는데 위에서 기술한 기본 5가지 공정을 각기 연속적인 시간에 따라 수행함으로써 갑자기 변화하는 환경에 적응하는 시간 때문에 탈질 과 탈인 의 효과는 낮을 수밖에 없다고 생각한다.

본 연구에서는 단일 반응기안에서 넷트채널과 미생물 막을 조화로 혐기/호기적 미생물의 기능을 연속적으로 유지시킴으로 암모니아의 산화와 질소의 방출이 연속적으로 일어날 수 있으며 동시에 인을 제거시킬 수 있다고 사료된다. 따라서 생물막 채널 반응기를 이용한 오수에서의 효과적인 생물학적 탈질 및 탈인 가능성을 고찰하는데 있다.

### II. 실험장치 및 방법

Fig. 1에 본 연구에서 이용된 생물막 채널타입반응기(Bio-membrane Channel type Reactor)를 나타내었다. 반응기는 유입부, 산화조, 환원 채널, 침전조, 방류구로 구성되어 있으며 유입부, 산화조 및 환원 채널의 용량은 총 37 l (34×33×33cm, 유효용량; 93.0%)이다. 여기에 원형관의 형태(id:10mm×od:30mm×h:360mm)와 스펀지지대위에 폴리에스텔 섬유 망으로 만든 환원 채널 20개를 삽입하였다. 반응기의 하부인 환원 채널 사이에는 산기관(D; 25mm×L; 320mm)을 설치하여 유기물 산화를 촉진하도록 하였다. 공기는 1 l/min의 속도로 주입시켰다. 오수는 각각 TSS; 80mg/l, CODcr; 240mg/l, BOD<sub>5</sub>; 100mg/l, T-N; 30~63mg/l, NH<sub>3</sub>-N; 18~40mg/l, T-P; 1.9~4.0mg/l, pH; 6.7~7.8 였으며 5.3 l/h의 속도로 주입하였다.

[연락처](우)345-800 충남 청양군 청양읍 벽천리 90번지 충남도립 청양대학 환경공학과 양재경, Tel.: 041-940-6740, Fax.: 041-940-6743, E-mail : kation@cheongyang.ac.kr

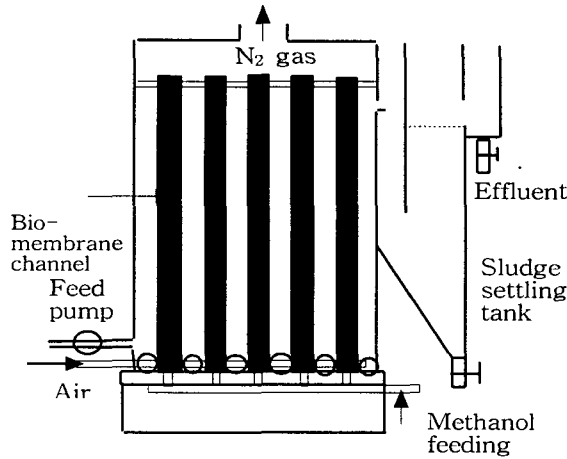


Fig. 1. Schematic diagram of Bio-membrane Channel type Reactor(BCR)

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 용존산소의 변화

오수는 정량펌프에 의해 HRT가 6.5hr의 조건으로 유입되었으며 여기에 따른 유기물, 질소 및 인의 부하는 각각  $0.89\text{kg-CODcr/m}^3 \cdot \text{d}$ ,  $0.15\text{kg-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ,  $11.3\text{g-TP/m}^3 \cdot \text{d}$ 였다. 주입된 오수는 반응조 안의 원통형 넷트로 구성된 채널 밖에서 폭기된다. 폭기된 오수는 원통형의 넷트채널을 함께 채우게 되며, 호기성 미생물이 넷트채널의 표면에 부착증식으로 미생물막이 형성되었다. 결국 안정화단계에 이르렀을 때는 생물막으로 구성된 채널이 형성되었으며 생물막채널의 중심에는 용존산소가 없는 무산소 상태(ORP:  $0 \sim -150$ )로 유지되었고 외부에는 포기에 의해 호기성 상태(DO:  $2.5 \sim 4\text{mg/l}$ )를 유지되는 것이 확인되었다. 채널안쪽에는 실험초기에는 교반과 동시에 DO가 증가하는 경향을 보였으나, 실험을 시작한지 약 8일 이후부터는 서서히 감소하였고 15일 이후로는 유입부의 DO농도와 같은 정도로 유지되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 실험적 결과는 채널의 외부에는 호기성이 유지되고 있음에도 불구하고 채널안 쪽에는 혐기성의 상태로 전이하고 있음을 의미한다. 이러한 현상의 원인으로서는 폴리우레탄 섬유로 만들어진 네트의 담체 표면위에 미생물이 부착 증식하여 막을 형성함으로써 채널내부의 용존산소가 먼저 고갈되었기 때문이다.

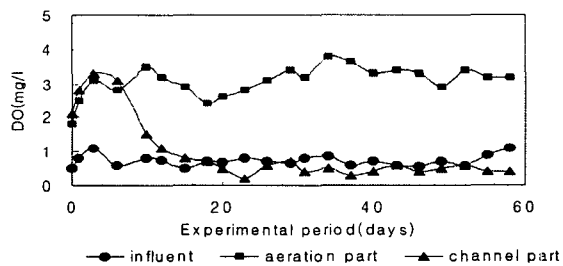


Fig. 2. Change of DO with respect to the experimental period in the bio-membrane channel type reactor(BCR)

#### 2. 암모니아성 질소의 변화

유입수중의 암모니아성 질소는  $18 \sim 40\text{mg/l}$ 으로 평균  $33.0\text{mg/l}$ 을 유지하였다. 이때 총질소는  $30 \sim 60\text{mg/l}$ 이었으며 평균  $42\text{mg/l}$ 을 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 포

기에 의한 호기성 부분에는 암모니아의 산화에 의해 약 5mg/l 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 또한, 유출수에서도 호기성 부분과 큰 차이 없이 약 8mg/l 이하의 농도를 유지하였다. 포기부분보다도 유출수의 암모니아성 질소의 농도가 다소 높은 경향이 관찰되었는데 이는 침전조 부분에서의 질소의 용출현상 때문으로 사료된다. 채널내부에서의 암모니아성 질소는 실험직후 서서히 감소하여 10일 후에는 20.0mg/l 을 나타내었고, 20일 후에는 10.0mg/l 이하를 나타내었으며, 본 실험이 종료할 때까지 유출수와 같은 수준을 유지하였다.

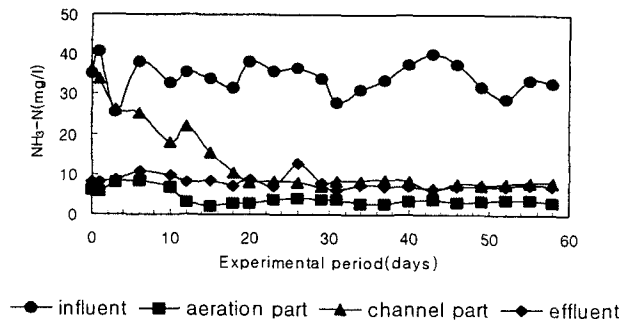


Fig. 3. Change of NH<sub>3</sub>-N with respect to the experimental period in the Bio-membrane channel type reactor(CBR)

### 3. 유기물 제거율

유입 오수중의 CODcr는 185~315mg/l 으로 평균 240mg/l 를 나타내었다. 실험개시직후부터 서서히 감소하여 10일 이후에는 약 150mg/l, 20일 이후에는 100mg/l, 30일 이후에는 10mg/l 이하의 유기물농도를 나타내었다. 유기물 농도가 서서히 감소하여 30일 이후에 낮은 농도를 보이는 이유로는 생물막의 형성에 기인된 것으로 사료된다. 본 연구에서 폴리 에틸렌 섬유담체표면위에 미생물이 형성된 것은 실험 개시 2주일이 지나서야 형성되기 시작하여 20일에는 겔보기 약 2mm 정도의 미생물 막이 형성되었다. 따라서 유기물의 효과적인 제거현상은 미생물 막이 형성된 후에 비로소 활성화되었다고 보아야 할 것이다. Fig. 8은 유기물, 질소와 인의 제거효율을 나타낸 것이다. 오수의 HRT가 6.5hr, 유기물, 질소 및 인의 부하가 각각 0.89kg-CODcr/m<sup>2</sup>·d, 0.15kg-NH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>·d, 11.3g-TP/m<sup>2</sup>·d 인 조건에서 유입된 유기물의 95%, 질소는 75% 그리고 인은 97% 이상이 제거되었다. 이는 본 연구에서 이용된 생물막 채널타입 반응기 (Bio-membrane Channel type Reactor ; BCR) 안에서 높은 미생물 농도, 담체의 충전에 의한 암모니아 충격부하 방지 등 호기성 및 혐기성 미생물의 활동조건을 충분히 보장해 줌으로서 가능하였다고 사료된다.

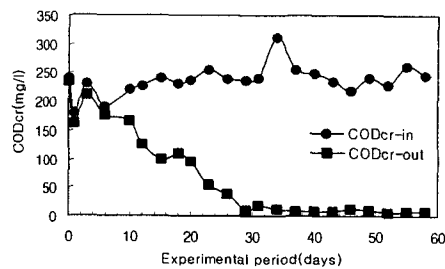


Fig. 4. Change of CODcr with respect to the experimental period in the bio-membrane channel type reactor(BCR)

### 4. 질소제거 메카니즘

호기성 부분의 생물막에는 활성오니 공정에서 많이 관찰되는 *Verticella*. spp.을 중심으로 한 원생동물이 주로 관찰되었으며 생물막의 안쪽에는 rotifer와 같은 후생동물이 주로 관찰되었다. 이러한 결과는 유입된 암모니아성 질소가 호기적인 조건에서의 질산

화 미생물에 의해 아질산성 질소 또는 질산성 질소로 활발히 산화되고 있음을 나타낸다 이때 원통형 생물막 채널 안에는 호기성 생물막이 증식하여 밀려들어옴으로서 호기 조건과의 차단을 촉진하고 이는 산소의 고갈을 유도하였으며 혐기성 상태에서 슬러지는 분해되었다고 본다. 산화물인 질산성 질소는 농도구배에 의해 원통형 생물막 채널 안쪽으로 이동, 혐기적인 상태 하에서 탈질균에 의해 환원되어  $N_2$ 로 전환, 대기 중에 방출되고 이때 탈질을 위해 전자 공여체로서 탈리된 생물막의 분해생성물이 이용된 것으로 사료된다.

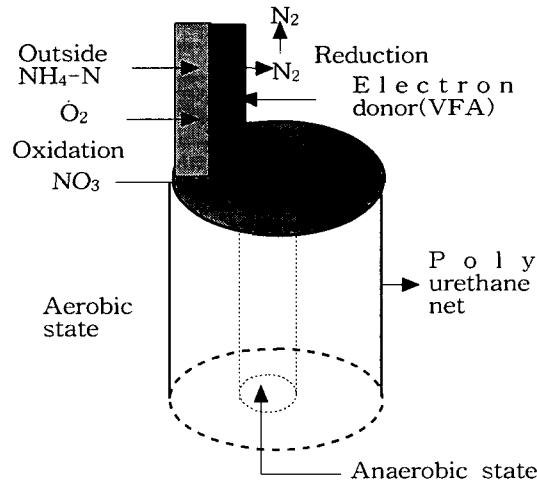


Fig.5. Model of denitrification in the wastewater by the Bio-membrane Channel type Reactor(BCR)

여 탈질효율이 높게 나타났다. 이는 탈리된 생물막이 분해되어 C/N비를 높임으로서 가능하였다고 생각된다. 이와 같은 메카니즘 때문에 침전조에 유입되는 폐슬러지의 양은 거의 발생하지 않았다. 인의 제거효율 또한 평균 95%이상의 양호한 결과를 나타내었으며 인산염의 방출과 과잉섭취의 변화는 유입농도가 낮았기 때문인지 큰 차이가 없었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 오수의 HRT가 6.5hr, 유기물, 질소 및 인의 부하가 각각  $0.89\text{kg-CODcr/m}^3 \cdot \text{d}$ ,  $0.15\text{kg-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ,  $11.3\text{g-TP/m}^3 \cdot \text{d}$  인 조건에서 유입된 유기물의 95%, 질소는 75% 그리고 인은 97% 이상이 제거되었다. 이는 본 연구에서 이용된 BCR이 호기성 및 혐기성 미생물의 활동 조건을 확실히 보장해 줌으로서 가능하였다. 장차 수계의 부영양화 방지를 위해 질소와 인의 방출농도규제가 확실시되고 있고 이제까지 영양염류를 처리하고 있지 않은 기존 하수처리장에서 영양염류를 처리하고자 할 경우 본 연구에서 이용된 Bio-membrane Channel type Reactor(BCR)를 적용한다면 경제적이고 효율적으로 이용될 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1) A. Schramm, R. Amann, and K.H. Schleifer, "Structure and function of a nitrifying biofilm as determined by in situ hybridization and the use of microelectrodes". *Applied Environ. Micro.* 62. 4641-4647(1996)