

## PF5) A<sup>2</sup>/O공법을 이용한 하수중의 질소·인 제거

장성호\*, 서종환, 이철승<sup>1</sup>, 박진식<sup>2</sup>, 문추연<sup>2</sup>

부산대학교 지역환경시스템전공, <sup>1</sup>(주)울트라텍, <sup>2</sup>경운대학교  
보건환경학전공

### 1. 서 론

산업화와 인구의 증가로 배출되는 하·폐수의 특성이 다양해져서 효율적인 수처리에 많은 어려움이 있으며, 질소·인과 같은 영양염류는 부영양화를 유발시키는 주요 원인물질로서 관리의 중요성이 더욱 증가하고 있다. 이러한 영양염류를 규제하기 위해 정부에서는 총 질소와 총인에 대한 배출허용기준을 각각 60mg/L, 8mg/L로 정하여 2003.1.1부터 적용하였으며, 하수종말처리장 방류수질기준을 각각 20mg/L, 2mg/L로 정하여 일부 권역부터 시행중으로 2008년부터는 전지역을 대상으로 확대 적용할 계획이다. 따라서 표준활성슬러지 등 국내 대부분의 2차 처리법을 사용중인 하·폐수 처리장은 고도처리공정으로서의 개선이 불가피한 실정이다.

다양한 고도처리공법 중에서 A<sup>2</sup>/O공정은 인의 처리에 이용되는 공정에 무산소반응조를 추가시켜 호기성반응조에서 질산화된 질소를 탈질시켜 제거하는 공정으로서 질소와 인을 동시에 처리하는 공정 중 가장 간단한 구조로 구성되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 생물학적 질소 및 인 제거 공법중의 하나인 A<sup>2</sup>/O공법을 이용하여 실제 생활하수의 오염물 제거효율을 조사·분석하여 A<sup>2</sup>/O공법의 도시생활하수의 질소 및 인제거를 위한 현장적용 가능성을 검토하고자 한다.

### 2. 재료 및 실험방법

#### 2.1. 재료

실험에 사용된 시료는 분류식 하수관거로 차집되는 도시하수를 이용하였으며, 원수의 BOD<sub>5</sub>는 93-240mg/L의 범위로 평균 155mg/L를 보였으며 COD<sub>Cr</sub>의 범위는 150-499mg/L로 평균 320mg/L를 나타내었으며 유입수의 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub>의 비는 약 2로서 전형적인 도시하수의 성상을 나타내고 있으며, 생물학적 질소제거에 있어서 탈질율은 유기물과 질소의 비율에 따라 달라지는데 유입수의 COD<sub>Cr</sub>/T-N의 비가 7.46으로 나타나 생활하수에서 COD/TKN의 비는 10-15:1이고 일반적으로 외부탄소원의 공급없이 충분한 탈질효율을 얻을 수 있다고 한 Henze와 US EPA의 보고에 의하면 탈질에 불리한 C/N비는 아니다.

본 실험에 사용된 Pilot Plant는 Fig. 1과 같이 최초 침전지(185L), 생물반응조로서 전단에 임의성 미생물에 의한 인의 방출을 위한 혐기성 반응조(210L), 탈질화를 위한 무산소조(430L), 질산화와 인의 과잉섭취를 위한 호기성 반응조(650L), 그리고 활성슬러지 분리를 위한 최종침전지(145L)로 구성되어 있다. 각 반응조는 직렬로 연결되어 있으며, 생물 반응조의

유효 용적은 1.29m<sup>3</sup>이었으며, 전체 Pilot Plant의 규격은 W0.6 m × L3.64 m × H0.7 m로서 총 용적은 1.53m<sup>3</sup>이다.

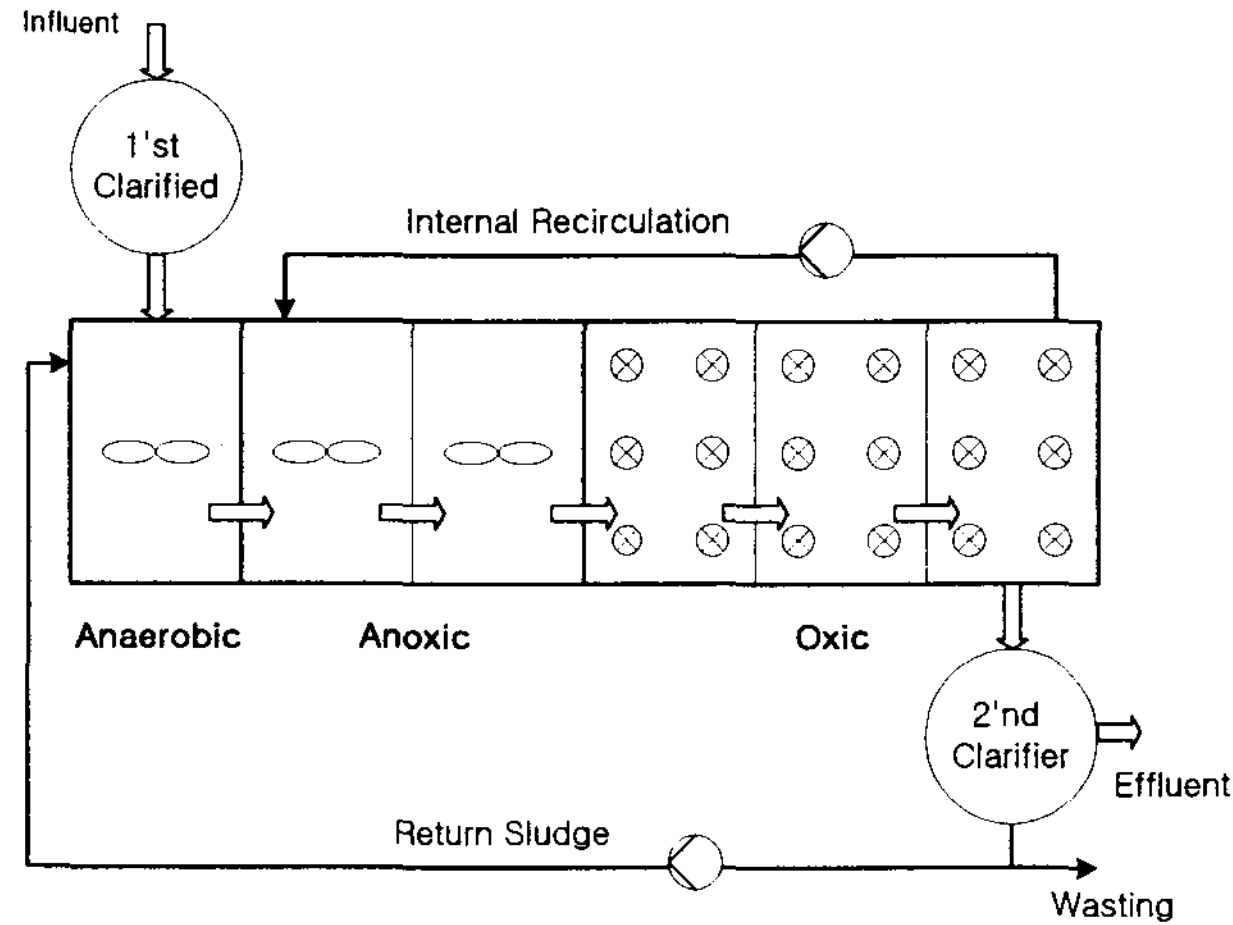


Fig. 1. Diagram of pilot plant.

## 2.2. 실험방법

혐기조와 무산소조의 DO를 각각 0.07, 0.1mg/L미만으로 유지하였으며, 이들 반응조에서 교반속도는 30-40 rpm이하로 유지하였다. 호기조에서는 MLSS농도를 3,000-4,000mg/L로 유지하였으며 DO는 2.0-3.0mg/L를 유지하였으나 온도상승에 따라 감소하는 경우도 있었다. 유입수의 pH는 7-8로서 조절이 필요하지 않았지만 폭기조에서 질산화가 진행될 때 감소되어 NaOH를 주입하여 7로 유지하였다. Pilot plant내의 충격부하를 방지하기 위하여 유입수는 저류조를 통하여 공급될 수 있도록 하였다.

분석을 위한 시료는 최종침전지 유출구에서 채취하였으며 환경오염공정시험법(수질편)과 Standard Methods에 따라 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물 제거

실험초기 전체 체류시간은 14시간으로 비교적 긴 체류시간임에도 불구하고 유입수 및 유출수의 BOD<sub>5</sub>농도가 148.1mg/L 및 21.8mg/L로 각각 나타나 제거율이 약 85%로서 그리 높지 않았다. 이는 초기 단계에 미생물 식종 후 1주일간의 적응기를 거쳤지만 A<sup>2</sup>/O시스템에서 온도 등 환경인자 및 운전미숙에 따라 정상상태에 도달하지 못한 것으로 판단된다. 그러나, 운전일수 26일이 지난 후부터 정상적으로 운전되어 BOD<sub>5</sub>제거효율은 89.9%-98.2%의 범위로서 평균 94.6%의 제거효율을 보임으로서 실험에 사용된 생활하수가 A<sup>2</sup>/O공법에서 잘 처리됨을 확인할 수 있었다

폭기조내에서의 DO는 2-3mg/L, pH는 6.8-7.5, MLSS농도는 2,340-4,560mg/L, MLVSS는 1,960-3,080mg/L로 유지되었다. 또한 폭기조에서 수리학적 체류시간은 7, 6, 5시간으로 운전

되었으며 BOD<sub>5</sub>용적부하는 0.38-0.90kg/m<sup>3</sup>·d, 슬러지부하(F/M비)는 0.14-0.34 kgBOD<sub>5</sub>/kgMLVSS·d로 유지되었다.

COD<sub>Cr</sub>의 경우 제거효율은 운전개시 66일째에 유입수 264mg/L, 유출수 24mg/L로서 최대 90.9%이었으며, 평균 84.5%의 제거효율을 나타낸다. 운전기간동안 유입 COD<sub>Cr</sub>용적부하는 전체 생물반응조에 대하여 0.26-1.62 kg/m<sup>3</sup>·d로 유입 COD<sub>Cr</sub>농도가 크게 변함에 따라 넓은 범위로 운전되었다. 운전일 55일에서 57일 사이에는 유입수의 COD<sub>Cr</sub>농도가 약 620mg/L로서 농도변화에 따른 충격부하로 운전의 방해를 받아 COD<sub>Cr</sub>의 제거효율이 갑자기 낮게 떨어졌다.

처리수의 SS농도는 초기 운전일수에서는 20mg/L이상이었으나 운전시간 약 20일이 지난 후에는 평균 93%의 제거효율로서 유출 농도는 4-17mg/L로 떨어졌다. 유입수의 SS농도가 92-280mg/L로 농도변화가 매우 심함에도 불구하고 처리수의 SS는 매우 안정적이었다.

### 3.2. 질소 제거

처음 안정기간과 운전 방해 받는 기간을 제외하고 T-N의 유입수 농도는 23-78mg/L, 제거효율은 60-80%로서 떨어졌으며, 정상적으로 운전되어진 26일 이후의 처리수의 T-N농도는 15mg/L이하로 안정된 처리결과를 보였다.

질소제거를 위하여 우선적으로 암모니아성 질소는 질산염으로 생물학적으로 산화되어야 하는데 운전 초기에 폭기조에서 질산균의 분율이 낮고 약 10℃정도의 일교차 등에 영향을 받는 것으로 판단되어 질산화율이 낮으나 운전일수 약 30일이 지나 정상상태에 도달하였다. 질산화율은 운전중 충격부하를 받는 일수를 제외하고 97%이상으로 충분한 질산화가 일어났다. NH<sub>4</sub>-N의 제거율은 NH<sub>4</sub>-N 용적부하에 영향을 받는데 용적부하 0.16 kg NH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup>·d까지 97%이상 질산화 되었다. 원수의 알칼리도가 낮을 경우 폭기조에서 질산화가 진행되는 동안 생성되는 H<sup>+</sup>이온에 의하여 pH값이 때때로 6이하로 감소되었으며 적정 pH값을 유지하기 위하여 NaOH가 주입되었다.

본 실험에서 원수유입량의 약 250%가 내부순환되었고 최종침전지의 활성슬러지는 50%가 혐기조로 반송되어 질산염이 함유된 혼합물의 전체 순환량은 300%에 달한다. 정상운전에서 탈질효율은 80%이상으로 양호한 것으로 판단된다.

### 3.3. 인 제거

생물학적 인 제거 메카니즘에 따라 얻어진 인의 제거효율은 운전초기인 26일까지의 불안정한 운전일수를 제외하고 80%이상으로 나타났다. 이때 처리수의 인농도는 2mg/L미만으로 아주 만족할 수 있다. 이때 잉여슬러지는 전단의 혐기조로 50% 반송되었다. 또한 혐기조에서 인의 방출을 위하여 산소 외에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 같은 전자수용체로 작용하는 물질들을 반드시 제한시켜야 하며 A<sup>2</sup>/O공법에서는 반송 잉여슬러지량의 조절이 요구되었다.

혐기조 및 호기조에서의 PO<sub>4</sub>-P의 거동은 50% 반송되는 잉여슬러지가 혐기조에서 잉여슬러지 중의 Poly-phosphate가 PO<sub>4</sub>-P로 방출되어 유입 PO<sub>4</sub>-P보다 2배 이상으로 훨씬 높음을 볼 수 있었다. 그리고 혐기조에서 방출된 PO<sub>4</sub>-P는 호기조로 유입되어 호기상태에서 유기물 산화분해가 일어나면서 과잉 섭취되는데 유입수 및 혐기조의 PO<sub>4</sub>-P농도에 비해서 호기조 내의 PO<sub>4</sub>-P농도가 낮게 나타남으로서 거의 섭취되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

우리 나라 도시하수처리를 위하여 유기물뿐만 아니라 질소와 인을 동시에 제거할 수 있는 A<sup>2</sup>/O공법을 Pilot Plant로 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) BOD<sub>5</sub>의 제거효율은 체류시간 12시간 및 10시간에서 각각 평균 95%와 94%으로 이들 체류시간에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이때 처리수의 BOD<sub>5</sub>농도는 10mg/L로 배출허용기준을 만족시켰다. COD<sub>Cr</sub>은 평균 87% 제거되었으며 처리수의 COD<sub>Cr</sub>의 농도는 평균 34mg/L에 달하였다.
- 2) SS는 유입수의 농도가 92-280mg/L로 변화가 매우 심함에도 불구하고 평균 93%의 제거효율로서 유출 농도는 4에서 17mg/L로 안정적이었다.
- 3) T-N의 제거효율은 60-80%로 얻어졌으며, 처리수의 T-N농도는 15mg/L이하로 안정된 처리결과를 보였다. 호기조에서 NH<sub>4</sub>-N는 용적부하 0.16kg NH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup>·d까지 97%이상 질산화 되었으며, 무산소조에서 탈질효율은 잉여슬러지 반송율 0.5Q와 내부순환율 2.5Q 에서 80%이상 얻어졌다.
- 4) 인은 혐기조로의 2차침전지 잉여슬러지 반송율 0.5Q에서 80%이상 제거되었으며 처리수의 인농도는 2mg/L미만으로 아주 만족할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- 최돈혁, 서인석, 강호, 2004. A<sub>2</sub>O와 Media-A<sub>2</sub>O 공법을 이용한 저농도 유기물 및 고농도 질소폐수 처리에 관한 연구, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2004공동 추계학술발표회 논문집, pp.24-28.
- M. L. Arora, 1991. Maximising the use of existing facilities to meet newly promulgated nutrient removal requirements, Nutrient removal from wastewater, pp. 229-238.
- Mogens Henze, 1993. Characterization of Wastewater for Modeling of Activated Sludge Processes, Wat. Sci. Tech. 25(6), pp. 1-15.
- US EPA, 1993. Manual Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010.
- 동화기술, 1997, 수질오염공정시험법.
- APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed.