

# 요 약 문

## I. 연구개요

- 하수처리장의 혐기성 소화조 처리 후 발생하는 높은 질소화합물을 함유한 탈리액은 공정 방류수에 합류되어 질소 처리 효율을 저해시켜 방류수 수질 기준 강화에 따른 총 질소 기준 준수에 큰 부담으로 작용하고 있음.
- 안정적인 질소 처리를 위해 아나모스를 이용한 탈암모니아 공정이 많은 관심을 받고 있으며, 전 세계적으로 적용되고 있음. 하지만, 아직까지 국내 하수처리장에는 성공적으로 적용된 사례가 없음.
- 따라서, 본 연구에서는 공공하수처리시설 소화조 방류수의 질소 처리에 적용 가능한 pilot 단일 반응조 아나모스 시스템의 최적 운전 방안을 확보하기 위하여 공정 운전 인자를 연속적인 모니터링하고, 안정적으로 제어하는 방안을 도출하고자 함.

## II. 연구의 필요성 및 목적

- 소화처리 후 발생하는 방류수(탈리액)와 같은 고농도 질소 함유 폐수의 처리량 증가에 따른 문제 해결을 위한 대응 기술 개발 필요.
- 국내 공공하수처리장의 고농도 질소 처리는 과도한 산소 공급, 과도한 외부탄소원 투입에 의한 운영 비용 증가와 유입 부하 변동에 따른 안정적인 방류수 수질 확보에 어려움이 있기 때문에 보다 효과적인 탈암모니아 공정 적용이 필요.
- 효율적인 고농도 질소 제거를 위해 아나모스를 이용한 탈암모니아 공정의 안정적인 적용이 가능할 수 있도록 국내 독자적인 기술 개발 연구를 통하여 탈암모니아 공정의 핵심 운전 인자를 확보함으로써 성공적인 탈암모니아 공정을 도입하고자 함.

### III. 연구의 내용 및 범위

가. 단일 반응조 아나목스 공정의 전처리 방안 확보

- 1) 부유물질 제거를 위한 전처리 장치 운전인자 확인
- 2) BOD 제거 반응조 운전 방안 확보
- 3) 전처리 장치와 아나목스 공정 연계 운영 방안

나. 아나목스 미생물 및 부분아질산화 미생물 대량 배양

- 1) 아나목스 미생물 확보를 위한 300 L 규모 배양장 운영
- 2) 실패수를 이용한 부분아질산화 미생물 대량 배양

다. 실패수 적용 단일 반응조 아나목스 공정의 안정적인 운전 방안 도출

- 1) 1 m<sup>3</sup> 규모 단일 반응조 아나목스 공정 운영  
: 총 질소제거효율 85% 달성
- 2) 실규모 적용을 위한 핵심 운전인자 도출 및 제어 알고리즘 개발

### IV. 연구결과

가. 단일반응조 아나목스 공정의 전처리 방안 확보

- 1) 부유물질 제거를 위한 전처리 장치 운전인자 확인
  - 화학처리조에서 유입수의 부유물질 제거를 위해 PAC 응집제를 이용한 Jar-test에서 응집제량 0.1 mL (0.0024%)에서 부유물질 처리효율 81%를 얻었으므로 파일럿 규모의 화학처리조에 적용할 최적 응집제량 산정.
  - 현장 화학처리조에 Jar-test에서 산정된 최적 결과를 바탕으로 응집제량 0, 0.0012, 0.0024%을 적용하여 운영한 결과, 응집된 부유물질은 침전조 내에서 침전되지 않고 부유하여 처리수 내 부유물질 농도를 증가시켜 유입 반류수의 부유물질농도  $90 \pm 14$  mg/L 보다 높아 처리효율 도출이 어려우므로 반류수 부유물질 전처리에 적합하지 않음으로 사료.
  - 탈암모니아 공정에서 공정 운영 가능 유입 부유물질 농도는 200-300 mg TSS/L으로 알려져 있으며, 수영사업소에서는 소화조와 탈수시설의 관리/운영으로 종합 반류수의 고형물 농도는  $78 \pm 18$  mg/L로써 매우

낮으며 연간 큰 변화없이 유지되고 있으므로 탈암모니아 공정 연계시 화학 응집/침전 전처리 없이 적용가능하다고 판단되며 별도의 화학처리 전처리 공정을 운영하지 않으므로 공정운영비 절감에도 기여할 것으로 판단.

## 2) BOD 제거 반응조 운전 방안 확보

- 수영사업소 활성슬러지를 이용하여 MLVSS  $5900 \pm 47$  mg/L 점중하였으며, 폴리우레탄 담체를 적용하여 CSTR에서 DO 농도  $4.0 \pm 0.1$  mg/L, HRT 6시간으로 운영한 결과, 유기물 농도는 처리 전  $162.3 \pm 1.6$  mg/L, 처리 후  $127.1 \pm 3.8$  mg/L로 약 22%의 제거효율 달성.
- 고농도 질소를 함유한 반류수 처리를 위한 탈암모니아 공정에 적용 가능한 유입 유기물 농도는 최소 0.3에서 최대 3.7의 C/N 비로 알려져 있으며, 수영사업소의 공정 종합 반류수의 유기물 농도는  $130.9 \pm 10.6$  mg/L이며, 암모늄 농도는  $228.4 \pm 99.2$  mg/L으로 C/N 비 0.57로써 탈암모니아 공정 연계시 BOD 산화조 전처리 없이 적용 가능하다고 판단.

## 3) 전처리 장치와 아나목스 공정 연계 운영 방안

- 수영사업소 종합 반류수에는 부유물질과 유기물이 낮은 농도로 존재하고 있기 때문에 별도의 전처리 공정없이 단일 탈암모니아 공정 적용이 가능할 것으로 판단.
- 단일 탈암모니아 공정 적용 처리시 전처리시설 구축비용 및 운영비용과 부지 절감이 가능하며, 화학처리조 운영에 따른 약품사용이 없고 탈암모니아 공정에서 요구되는 알칼리도 추가 보충이 필요하지 않아 약품비 절감이 가능하므로 전체 공정 운영비 절감에 기여할 것으로 판단.

## 나. 아나목스 미생물 및 부분아질산화 미생물 대량 배양

### 1) 아나목스 미생물 확보를 위한 300 L 규모 배양장 운영

- 300 L 규모의 CSTR 아나목스 미생물 배양 시스템을 운영하였으며, 아질산염 제거 효율 최대 100%, 총 질소제거속도  $0.66$  kg/m<sup>3</sup>/d 달성.

- HRT를 낮추어 점차적인 질소 부하 상승을 적용하여 아나목스 미생물의 성장 촉진을 유도한 결과, Pilot 단일 탈암모니아 공정 접종원으로 약 0.5 kg/m<sup>3</sup>의 아나목스 미생물 확보.

## 2) 실패수를 이용한 부분아질산화 미생물 대량 배양

- Pilot 단일 탈암모니아 시스템 운영에 요구되는 부분아질산화 미생물 확보를 위해 수영사업소 내 활성슬러지를 이용하여 DO농도 0.8-1.0 mg/L의 조건에서 연속 회분식으로 운영한 결과, 합성 폐수로 유입된 암모늄의 50% 이상 아질산염으로 아질산화되어 부분아질산화 미생물 성공적으로 발현.
- 실패수로 유입된 암모늄의 30% 이상이 아질산염으로 전환되었음. 부분아질산화 성공적 수행.
- 안정적인 부분아질산화 반응에 따라 질소부하 상승을 적용하여 부분아질산화 미생물의 성장 촉진을 유도하였으며, 실패수에서 최대 1.11 kg N/m<sup>3</sup>/d의 높은 암모늄 제거 속도 달성.
- 파일럿 규모의 단일 탈암모니아 공정 접종원으로 약 1.6 kg/m<sup>3</sup>의 부분아질산화 미생물 확보.

## 다. 실패수 적용 단일 반응조 아나목스 공정의 안정적인 운전 방안 도출

### 1) 1 m<sup>3</sup> 규모 단일 반응조 아나목스 공정 운영

: 총 질소제거효율 85% 달성

- 수영사업소 현장에 전처리 계열로 부유물질 처리를 위한 화학처리조 (급속조 0.05 m<sup>3</sup>, 완속조 0.1 m<sup>3</sup>), 유기물 처리를 위한 BOD 산화조 (0.1 m<sup>3</sup>)를 구성하였고, 질소 화합물 처리를 위한 주처리 계열로 1 m<sup>3</sup> 규모 단일 탈암모니아 공정을 연계하여 실패수 적용 단일 탈암모니아 시스템 구축 완료.
- 확보된 아나목스 미생물과 부분아질산화 미생물을 1 m<sup>3</sup> 규모 단일 탈암모니아 반응조에 접종하였으며, 접종 후 혼합 탈암모니아 미생물의 농도는 2.72 g VSS/L으로 나타났음.

- 선행되어진 Lab-scale 단일 탈암모니아 운영에서 도출된 결과를 적용하여 연속 회분식으로 운영되었으며, 낮은 DO농도 0.3 mg/L 이하에서 운전한 결과, Pilot 단일 탈암모니아 공정 운영에서 HRT 8.6시간 동안 총 질소제거효율 87.9%, 총 질소제거속도 0.56 kg N/m<sup>3</sup>/d 달성.

## 2) 실규모 적용을 위한 핵심 운전인자 도출 및 제어 알고리즘 개발

- 1 m<sup>3</sup> 규모 단일 탈암모니아 공정 운영에서 부분아질산화 미생물은 현장 활성슬러지를 이용하여 발현 및 농화배양하여 확보 가능하고 탈암모니아 공정에 빠르게 적용 가능.
- 단일 반응조에서 질산화 반응인 부분아질산화(AOB)와 탈질화 반응인 암모늄 산화(ANAMMOX)의 동시 수행은 낮은 DO 농도 0.3 mg/L 이하를 유지하므로써 안정적으로 운영 가능.
- 실규모 적용을 위한 단일 탈암모니아 공정 운영 알고리즘 확보.

## V. 연구결과의 활용계획

- 파일럿 규모의 단일 반응조 아나목스 시스템 구축 및 운전을 통해 확립된 핵심 설계 및 운전인자는 향후 부산시 및 국내 하수처리장내 종합 반류수 처리를 위한 실규모 단일 탈암모니아 공정 설계 및 운전인자 도출시 활용.
- Pilot plant 단일 반응조 아나목스 시스템 운전을 통해 확보된 탈암모니아 미생물은 실규모 공정 적용 시 식종 미생물로 활용 가능.
- 아나목스 및 부분아질산화 미생물 대량 배양기술은 국/내외 실규모 단일 탈암모니아 공정 start-up시 필요한 미생물 확보방법으로 활용.
- 구축된 Pilot plant 단일 반응조 아나목스 시스템을 이용하여 실규모 현장 적용시 필요한 운영 방법 및 운영 진단 등 운전자를 고려한 체계적인 공정 정보화 도구 개발 연구에 활용
- 기존의 고농도 질소화합물을 함유한 폐수의 처리 공정과 비교하여 처리 효율 및 경제성 분석을 위한 기초 자료로 활용