

# 탈질소 설비의 생물학적 처리 제어공정에 관한 연구

한상남, 송주훈, 조호성, 손영득  
한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

e-mail: hanneh, song\_juh01, bikilove99, ydson@koreatech.ac.kr

## A Study on Biological Treatment Control Process of Denitrification System

Sang-Nam Han, Ju-Hoon Song, Ho-Sung Cho, Yung-Deug Son  
Dept. of Mechanical Facility Control Engineering, KOREATECH

### 요약

본 연구는 스테인리스강의 산세시 사용하는 질산에서 파생한 Total 질소(T-N)을 저감하기 위함이다. 질소나 인이 물속에 많아져 플랑크톤 증식이 활발해지면 적조현상이 발생하게 된다. 이는 매년 여름 어패류의 폐사를 불러오며 바다나 강에 큰 영향을 끼친다. 이를 방지하고자 생물학적 탈질소 방법을 사용한다. 기본 메커니즘은 탈질균이 영양물질인 메탄올과 인과 반응하여 질소 가스로 환원시켜 제거하는 것이며 탈질소 설비 추가에 따른 처리공정제어의 유기물 부하속도 등을 제어하여 질소와 COD의 저감효과에 대한 유효성을 확인한다.

### 1. 서론

세계적으로 환경이 강화되고 있고 우리나라도 바다의 중요성을 인식하고 해양으로 배출되는 처리 배출수에 대하여 생물환경보호법을 강화하여 질소배출을 강화 하였다. 질소(N<sub>2</sub>)나 인(P)등의 영양염류가 많아지면 플랑크톤이 과다하게 증식되어 산소가 부족하게 되고 수질이 부패하게 되어 결과적으로 수중 생태계에 큰 영향을 미치게 된다. 대표적으로 여름에 남해안에 적조현상이 그러하다. 부영양화에 의해 플랑크톤이 대량 증식되어 바닷물의 색이 붉게 되는 현상으로 수온이 상승되는 것에 기인하는 것이 크다. 또한 육지에서 질소나 인 등의 영양분이 바다로 유입되어 플랑크톤이 증식되어 산소가 부족하게 되고 산소농도가 낮아지기 때문에 어패류가 질식사하여 폐사하게 되는 원인이 된다.

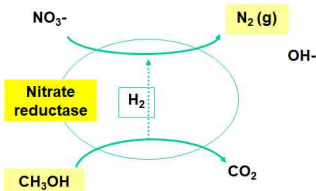
본 논문에서는 이의 원인 중의 하나인 질소 발생원부터 그 제거기술을 연계하는 제어공정에 관한 연구이다. 총질소(T-N)이 발생하는 것은 스테인리스 산세공정에 질산(HNO<sub>3</sub>)을 사용하여 세척하는데 산세후의 폐산과 폐수 속에 다량의 질소가 잔존한다. 이것을 기존에는 산성의 폐수를 중화처리만 하고 바다로 배출하여 질소가 다량 바다로 유입되었었다. 이로 인한 인근 바다의 여름철 적조현상이 증가되는 부분이 커져 수질환경법이 개정 강화되었다. 질소 제거기방법으로 물리적 방법으로 확산투석법, 전기투석법, 음이온교환법, 역

삼투압법 등이 있으며 생물학적으로는 탈질법이 있다. 탈질법은 산소가 없는 조건에서 탈질균에 의한 질산, 아질산염을 질소가스로 환원시켜 제거하는 방법으로 우리나라에서 주로 적용하는 방법으로 공정 확대에 따라 불안정한 상황이다.

### 2. 본론

#### 2.1 질소 제거 메커니즘

폐수와 활성슬러지가 혼합되면 폐수 중의 유기물이 급속히 활성슬러지에 부착 고정되고 미생물이 생체의 유지, 세포의 합성 등에 필요한 에너지를 얻기 위하여 활성슬러지에 흡착된 유기물을 산화시킨다. 이때 산화에서 얻은 에너지를 이용하여 세포물질을 합성하는 것을 동화라고 한다. 폐수 중에 유기물이 고갈되면 미생물은 자기의 세포물질을 산화시켜 생명을 유지하게 되는데 그때에는 상대적으로 슬러지 침강성은 저하된다. 여기에서는 반응의 미생물상→안정과과→이상현상 형태 반응을 한다. 슬러지 농도가 높을수록 독성물질에 대한 저항성은 증가하지만 미생물의 적응력은 높은 편이다. 생물학적 탈질 반응은 미생물이 산소 없는 조건하에서 아질산(NO<sub>3</sub>)을 질소가스(N<sub>2</sub>)로 전환하는 반응으로써 아질산이 산소 대신 미생물이 필요로 하는 에너지를 발생시킨다. 그림 1은 질소가스 반응 메커니즘이며 즉 탈질균에 의해 NO<sub>3</sub>를 N<sub>2</sub> 가스로 환원하는 기술이다.

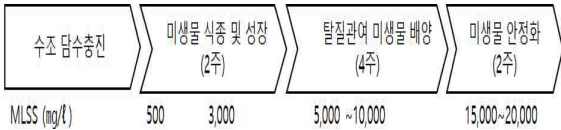


[그림 1] 질소제거 반응 메커니즘

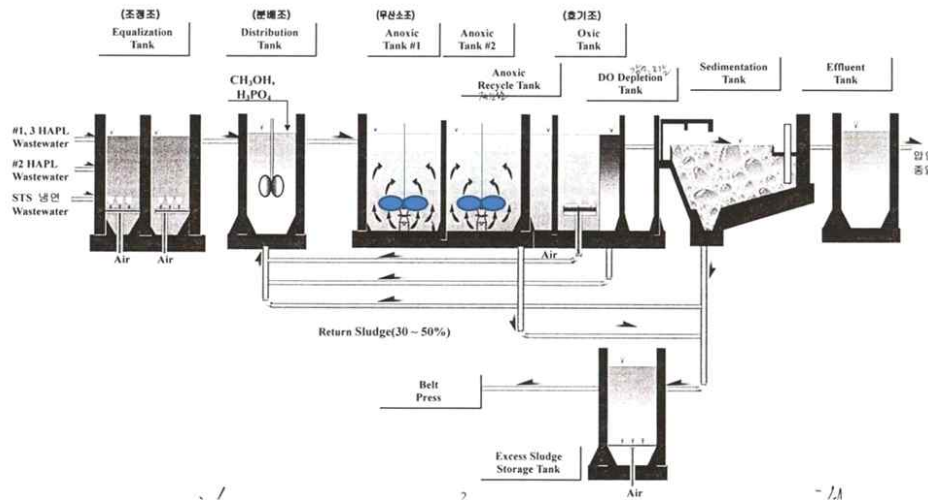
### 2.2 탈질 설비의 공정설비의 구성

탈질설비는 기본적으로 폐수를 중화처리한 후에 질소를 제거하기 위한 설비로 그림2와 같은 구성을 가진다. 탈질소 설비 공정은 여러 공정에서 배출되는 배출수를 모으는 조정조, 여기에 메탄올과 인산을 공급하여 분배하는 분배조와 반응을 시키는 무산소조가 있다. 산소반응을 촉진시키는 호기조(Oxic Tank)와 산소를 감소시키는 DO(Depletion Tank)조 및 침전조로 구성되어 있다. 부속설비로는 유출수 탱크와 슬러지 탱크, 쿨링타워, 필터 프레스, 에어블러워 등이 있다.

탈질설비를 가동하기 위해서는 초기에 미생물을 키워야 하는데 이것을 식종이라 한다. 미생물 식종은 그림 3은 미생물 식종방법으로 무산소조에 담수를 충전하고 미생물을 주입 후 약품을 투입하는데 이때 폐수 유입은 차단하고 균등화를 위하여 순환시킨다. 안정화를 위해서는 약 8주간이 소요된다. 그 후에 미생물이 성장 할 수 있도록 증식에 필요한 메탄올과 인산을 투입하고 T-N 함유 폐수를 무산소조에 투입하여 미생물을 배양한다. 이때 무산소조에는 호기성 미생물은 존재하지 않고 산소조에만 일부 생존하도록 한다.



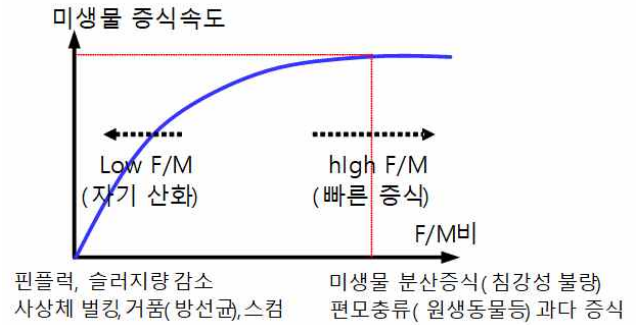
[그림 3] 미생물 식종방법



[그림 2] 탈질설비 공정설비

### 2.3 탈질설비의 자동화 운전조건

유기물의 부하속도(Food to Microorganism ratio: F/M비)는 중요하다. 이것은 그림 4와 같이 F/M비와 미생물의 증식 속도에 따라 슬러지량과 미생물의 형태가 달라지기 때문이다. 이로 인한 질소와 인의 영양 밸런스가 필요하고 미생물 먹이의 종류와 농도가 매우 중요하다. 또한 T-N이 높은 유입수 수온도 직접적으로 관리하여야 한다. 가능 수온은 10~40℃를 유지하여야 하는데 온도가 낮을수록 탈질균 활성도가 떨어지고, 높으면 증식속도가 빨라져서 사멸하는 경우도 발생한다. 온도가 낮으면 산소가 잘 녹지만(DO농도 높음) 여름철에는 DO농도가 낮아서 미생물이 부패되기도 한다.



핀플렉, 슬러지량 감소, 사상체 벌집 거품(방선균), 스크럼, 미생물 분산증식(침강성 불량), 편모충류(원생동물등) 과다 증식

[그림 3] 미생물 식종방법

### 2.3 탈질설비의 자동화 운전분석

공정제어를 위해서는 구성된 센서들을 표2에 나타내었다. pH센서는 유입수의 pH를 측정하여 중성을 유지하도록 하고, 아질산염(NO<sub>2</sub>)센서는 농도를 모니터링하여 메탄올과 인산의 영양공급을 조정하고 유출수중의 T-N이 기준을 초과할 때는 회수하여 재투입하도록 한다. 기존에는 A계열에 적용되었던 MLSS, ORP을 C계열이 추가하였으며 그 외에도 Level계, 온도계 등을 통하여 제어하도록 하였다.

[표 1] 공정제어를 위한 센서의 구성

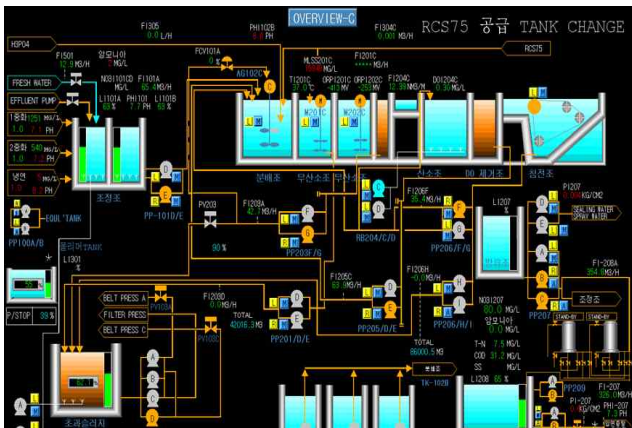
센서명	위치	
pH	탈질 유입수	조정조
NO <sub>3</sub>		←STS1열연
		←STS2열연
NO <sub>3</sub>	유출수(압연종말->바다)	←STS냉연
COD		
T-N		
SS		
MLSS		
MLSS	무산소조	A, C계열
ORP	무산소조	A, C계열
DO	A, C계열	

미생물 관리를 위한 메탄올(RCS75)의 양(M)과 인산의 투입 비(P)를 식 (1)과 (2)에 나타낸다.

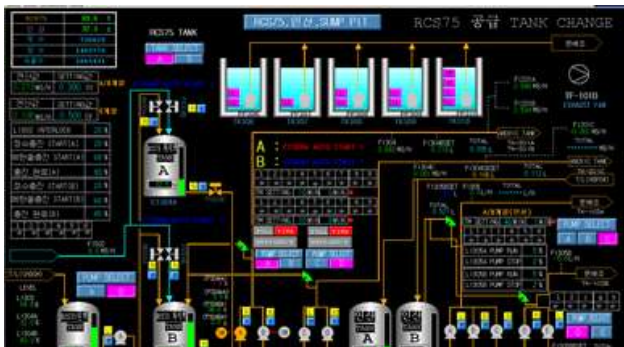
$$M=2.47NO_3-N+1.53(NO_2-N)0.87DO \quad (1)$$

$$P=\text{메탄올 투입량}(M)*0.0016 \quad (2)$$

식(1)과 (2)에 의해 메탄올과 인산의 투입량을 로직에 의하여 자동제어 되도록 HMI화면과 프로그램 연계제어가 되도록 하였다. 그림 4는 C계열 HMI화면으로 기존의 A, B계열과 별도로 추가된 탈질설비의 공정제어를 위한 화면이다. 스테인리스 생산의 증가로 탈질소설비의 분배조, 침전조 등을 5,500m<sup>3</sup>/day에서 7,000m<sup>3</sup>/day 증가시켰다. 그림 5는 메탄올과 인산의 공급 HMI화면이다.



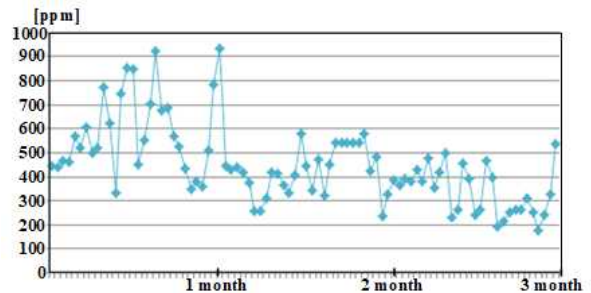
[그림 4] 탈질C계열 HMI화면



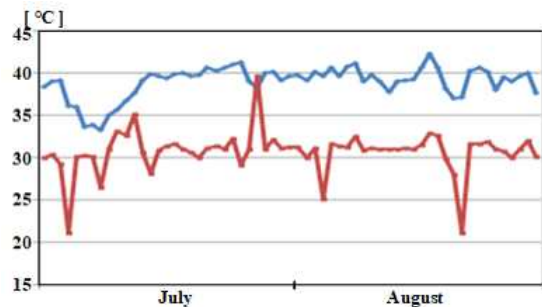
[그림 5] 메탄올과 인산 공급 HMI화면

탈질처리를 위하여 메탄올(RCS75)과 인산을 A, B계열에서 투입하였던 것처럼 동일한 투입을 위해 T-농도에 맞추어 메탄올을 투입하고 메탄올 투입 양과 연계하여 비율에 따라 식 (1)과 (2)를 적용하였다.

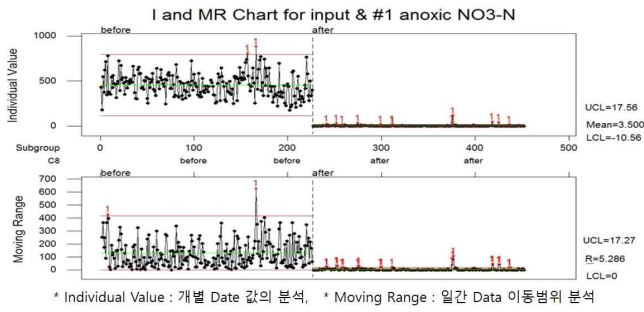
그림 8과 같이 유입수의 T-N의 농도가 117~930ppm이고 평균적으로 456ppm이다 조건에 따라 최대 1,000ppm을 초과, 최저는 100ppm이하의 경우도 있다. 균일한 T-N이 유입을 위해 메탄올과 인산의 영양분 관리와 온도관리 등 필요하며 이로 인해 시간과 용량의 문제로 미생물 사멸(Shock)에 대한 문제가 제시된다. 사멸의 문제로 기존 A공정이 두 개(A, B계열)과 C계열 증설과 함께 분산제어를 실시하였으며 여름철에는 온도 상승으로 미생물의 사멸 현상하는 경우가 발생하며 공장 가동 등에 큰 영향을 미치게 되었다. 탈진 설비의 온도 상승을 방지하기 위해 Cooling Tower를 설치하고 입·출구온도를 그림 7에 나타내었다. 실험 결과로 여름철 가장 무더운 7월과 8월의 Cooling Tower 입구 평균온도가 38.9℃, 출구온도는 30.7℃로 ΔT가 8.2℃로 여름철에도 사멸되지 않고 안정된 작업을 할 수 있게 되었으며 40℃ 이하로 관리기준을 정하였다. 그림 10은 무산조에서의 T-N 농도로 유입수 분배조에서 메탄올과 인산을 배합한 후에 A, B 그리고 C계열 각각의 무산소조로 보내는데 이때 T-N과의 반응으로 T-N제거 효율이 99.2% (457 → 3.5ppm) 수준으로 나타남을 보여 준다. 이로 인해 유입수의 농도 차이가 증가 하는 경우 적정히 대응 할 수 있으며 미생물이 사멸하는 경우도 발생하고 있지 않다. 그림 11은 압연종말처리설비 가기 전 유출수 탱크에서 화학적 산소요구량(COD:chemical oxygen demand) 와 부유물질(SS:suspended solid) 변화량을 조사한 것이다.



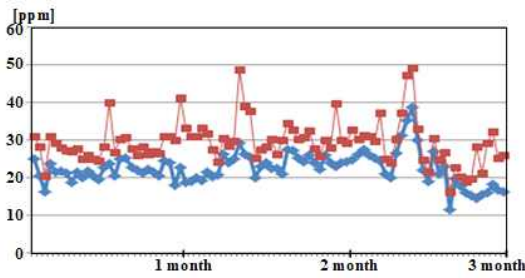
[그림 6] 유입수 T-N농도(ppm)



[그림 7] Cooling Tower 입·출구온도 (℃)

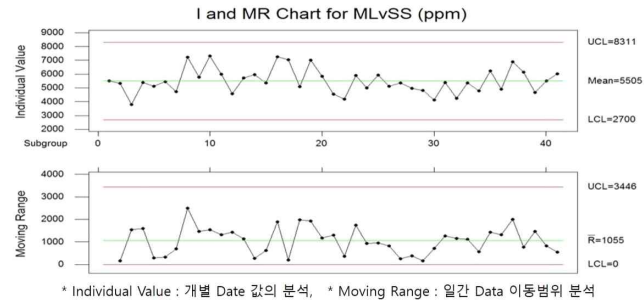


[그림 8] 무산소조에서의 T-N농도 (ppm)



[그림 9] Final유출수의 COD와 SS (ppm)

T-N에 대한 메탄올과 인산과의 반응에 대한 3개월 동안의 결과를 나타낸 것으로 C화학적산소요구량(COD)는 평균 22.5이고 Max 38.7ppm이고 SS는 평균 6.9이고 Max 19.3ppm으로 법기준치를 관리가 양호함을 알 수 있다. 그림 10은 무산소조에서의 MLvSS로 평균 5,500ppm 수준으로 MLvSS/MLSS비가 약 15% 수준으로 양호하게 나타났다. 즉 슬러지가 적정하게 발생하여 처리됨을 알 수 있다.



[그림 10] 무산소조에서 MLvSS농도(ppm)

### 3. 결론

본 연구를 통하여 탈질소 설비의 확장에 따른 생물학적 처리 제어에 대하여 분석하였다. 환경이 고려된 생물학적 처리공정 방법이 물리적·화학적 방법에 비해 어려운 점은 있지만 추가된 공정설비로 인해 무산소조에서 침전조까지 3개월 동안 T-N이 메탄올등과 반응한 무산소조에서의 T-N, Cooling Tower 입·출구 온도, COD와 SS의 결과, MLvSS 및 각종 센서별로 데이터 비교 분석을 통해 유효성

확인하였다. 특히 유기물 부하속도(F/M비)에 따른 미생물 증식속도가 온도에 따라 급격히 변하는 것을 확인하고 미생물 영양소인 메탄올과 인산의 투입비를 DCS 분산제어를 통하여 안정화 할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 최상교, 전희동, 이대성, 오세경, “수질모델링 결과를 통한 생물학적 질산화·탈질 설비의 운전변수 최적화 연구”, 한국 대기환경학회 학술대회논문집, pp. 2276-2279, 5월, 2007년.
- [2] 김이태, “하수처리장 반류수의 바이오메디아 부착 미생물과 메탄 공급에 의한 탈질 특성”, 한국수처리학회지, 제 27권, 6호, pp. 13-32, 5월, 2019년
- [3] 김용학, 채규정, 임성균, 이영만, 배우근, “고농도 도시하수 처리를 위한 입상황 탈질 반응조의 설계 및 운영인자 평가”, 대한환경공학회지, 제 32권, 12호, pp. 1087-1093, 2010년.
- [4] 이문호, 환경관리자를 위한 생물학적 하 폐수처리 실무, 홍문관, 12월, 2014년