

국내의 고도처리 기술기반이 매우 취약하여 질소 및 인 규제가 강화될 경우 막대한 기술료를 지불하고 외국의 기술을 도입해야만 하는 상황이나 국내 하수성상이 외국과 판이하고 유지관리가 복잡하기 때문에 기술도입시 국내 하수를 대상으로 실제 조건에서 pilot plant를 통한 검증실험이 반드시 수행되어야 한다.

# 하수 질소·인 처리기술

## (Daewoo Nutrient Removal(DNR) Process)

이 의 신  
(주)대우건설기술연구소  
책임연구원

### 1. 개발 배경

급속한 경제발전에 따른 산업폐수와 생활하수 등의 증가로 인하여 상수원인 호소 및 하천이 오염되고 있으며 특히 하수 중에 포함된 질소 및 인이 미처리된 채 그대로 상수원에 유입되므로써 부영양화현상(Eutrophication)을 심화시켜 상수원의 오염을 가중시키고 있다. 이에 따라 환경부에서 1996년부터 하수처리장 배출수 수질 허용기준에 질소 및 인의 규제를 추가하였다. 그러나 아직 그 규제치가 낮아 즉각적인 실효는 거둘 수 없으나 향후 호소 수질 강화에 따라 질소·인 처리의 중요성이 점점 높아질 것으로 보인다.

현재의 하수처리방식은 주로 유기물질 및 현탁물질을 제거하는 표준활성슬러지법이 준용되기 때문에 질소·인의 처리에 대해서는 아직까지 기술면이나 유지관리면에서 정립된 기술은 없는 실정이다. 국내에서 질소·인 제거기술에 대한 연

구는 이미 초보적인 단계에서는 벗어났고, 현재 국내 하수처리장에 적합한 실용화된 기술을 개발하기 위하여 산·학·연 각 기관들이 기술개발에 몰두하고 있다. 반면에 외국에서는 이미 Pilot plant 운전을 마치고 실제처리장에 적용, 운전 중에 있는 공정이 다수에 이르고 있으며, 특히 생물학적 처리기술을 중심으로 질산화·탈질산화 및 탈인반응을 일으키는 미생물 특성을 이용한 질소, 인 처리기술에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

그러나 국내의 고도처리 기술기반이 매우 취약하여 질소 및 인 규제가 강화될 경우 막대한 기술료를 지불하고 외국의 기술을 도입해야만 하는 상황이나 국내 하수성상이 외국과 판이하고 유지관리가 복잡하기 때문에 기술도입시 국내 하수를 대상으로 실제 조건에서 pilot plant를 통한 검증 실험이 반드시 수행되어야 한다.

따라서 당연구소에서는 국내 처리장의 유입하수성상과 운전현황을 충분히 고려하여 '92년부터 하수고도처리기술개발에 착수하여 약 3년에 걸친 Lab 실험과 Pilot plant 실험을 수행하였으며, 환경부 G-7 과제로 5,000톤/일급 실증 plant를 남양주시 화도하수처리장에 설치하여 3년간의 실증운전을 통해 국내 하수처리장에 적합한 영양소 제거공정개발하였다.

## 2. 국내 하수처리장 현황

우리나라의 하수처리장은 '97년말 현재 전국에 97여개 하수처리장이 가동되고 있다. 표 1에 나타난 바와 같이 시설규모면에서 보면 전체 하수처리장의 37% 이상이 100,000 m<sup>3</sup>/d 이상의 대규모 처리시설로써 운전관리상에 문제가 발생할 경우 중, 소규모에 비해 해결방안이 용이치 않은 단점이 있다. 한편 하수배제방식의 경우 3~4개 하수처리장을 제외하곤 대부분 합류식 하수배제방식에 의해 처리장으로 유입되므로 하수내 유기물 농도가 높지 않은 특징을 갖는다.

'94년 수도권 지역에서 표준활성슬러지법으로 운전중인 하수처리장을 대상으로 유입·유출수질을 조사한 결과 유입수의 BOD, SS는 각각 100mg/L 정도로 외국에 비해 약 절반정도로 유입되었고 방류수는 BOD와 SS가 각각 21mg/L, 22mg/L로 1996년 1월 1일부터 적용되는 방류수의 BOD, SS 허용배출농도인 20mg/L를 상회하고 있으며 특히 하수내에 포함되어 있는 질소 및 인은 제거율이 10% 내외로 거의 처리되지 않은 채 방류되고 있었다.

표 1 국내 하수처리장의 시설현황(환경백서, 98년)

구분	계	유량(천톤/일)	유량	처리방법	
50만 이상	9	8,090	46.2	표준활성슬러지법	71개
10만~50만	27	7,973	45.5	장기포기법	10개
3만~10만	22	1,106	6.3	산화구법	3개
3만 이하	39	349	2.0	혐기-호기법	1개
계	97	17,518	100	기타	12개

### 3. DNR 공법

DNR 공정은 표준활성슬러지법을 근간으로하여 반응조에 혐기 및 무산소조 조건을 형성하여 생물학적으로 질소 및 인을 동시에 처리할 수 있는 공법으로 선진국의 A<sub>2</sub>/O 공법, MUCT 및 VIP 공정의 단점을 보완한 공법이다. A<sub>2</sub>/O 공법에서는 반송슬러지내의 질산성 질소에 의해 혐기조에서의 인 방출이 억제된다. 따라서 A<sub>2</sub>/O 공정처럼 반송슬러지가 혐기조로 유입되는 경우에는 인 제거율뿐만 아니라 질소 및 유기물 제거율도 저조하게 된다. 이러한 단점을 보완한 MUCT 및 VIP 공정이 질소·인 처리를 위해서는 A<sub>2</sub>/O 공정보다 우수한 결과를 보이고 있으나 MUCT 및 VIP 공정은 반송슬러지내의 질산성 질소를 제거하기 위해서 무산소조로 반송하여 탈질산화후 내부 반응으로 혐기조로 미생물을 공급하기 때문에 내부순환 펌프의 추가 설치로 경제성 저하뿐만 아니라 유지관리가 복잡하다는 단점이 있다.

본 DNR 공정은 A<sub>2</sub>/O 의 단점 및 MUCT 의 단점을 보완한 신 공법으로 반

송슬러지내의 질산성 질소 제거 및 유지관리의 편리성을 도모하기 위하여 개발되었다. 그림 1에서 보는바와 같이 반송슬러지를 슬러지탈질조로 반송시켜 질산성 질소를 제거한다. 이때, 외부탄소원이 없는 내생상태에서 탈질산화 반응에 의하여 6~8mg/l 정도의 질산성 질소를 3 mg/l 이하로 제거시킨다. 혐기조에서는 유입되는 하수와 슬러지 탈질조에서 유입되는 미생물을 이용하여 인을 유입농도의 3~4배까지 방출시킨다.

무산소조에서는 포기조에서 질산화된 혼합액을 탈질산화 반응에 의하여 질산성 질소를 질소 가스로 제거시켜 대기중으로 방출한다.

포기조에서는 혐기조에서 방출된 인을 과잉 섭취하여 제거시키고 유입하수의 암모니아성 질소를 질산성 질소로 질산화시킨다. 또한 혐기, 무산소에서 미제거된 유기물도 함께 제거된다. 포기조의 용존산소 농도는 2.0~3.0 mg/l 를 유지하며, 포기조 유출부에서 용존산소 농도는 1 mg/l 이하로 억제시킨다. 이는 내부 반송시 과도한 용존산소가 무산소조로 반송되는 것을 억

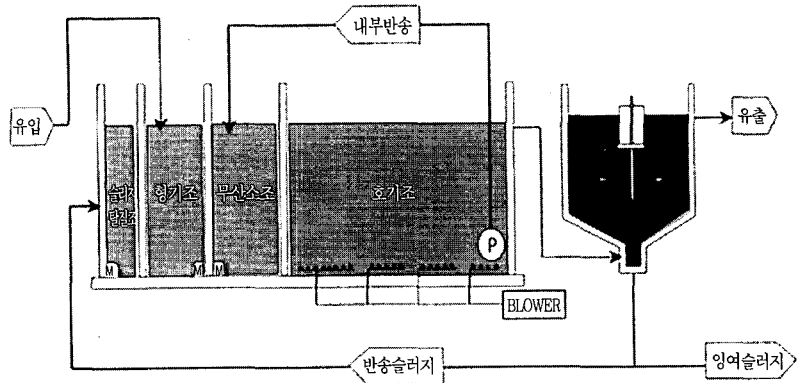


그림 1 DNR 공법 처리계통도

제하고 최종침전지내에서 혐기성 상태로 인한 인의 재방출을 방지하기 위함이다. 이와같은 DNR 공정의 운전인자를 종합정리하면 다음 표 2와 같다.

본 DNR공법은 고려대 환경기술 정책연구소(소장: 최의소교수)와 산학연구로 3년간에 걸쳐 개발한 공정으로, 세계적인 질소·인 처리의 권위자이며 VIP 공정의 창시

자인 미국 VPI (Virginia Polytech Insititute) 대학의 Randall 교수의 자문으로 보완, 완성된 신 공법이다. 현재 본 공정은 건교부신기술, 국산신기술(KT-Mark)등을 획득하였고 국내 특허 5건 등록을 비롯하여 다수를 출원하였고 미국 및 일본에도 특허를 출원하였다.

표 2 DNR 공법의 운전인자

설 계 인 자	적 정 범 위
수리학적 체류시간, HIRT(시간)	슬러지탈질조 : 0.5 혐기조 : 1.0 ~ 1.5 무산소조 : 1.5 ~ 2.0 포기조 : 3.5 ~ 4.0 전체 체류시간: 6.0 ~ 8.0
고형물 체류시간, SRT(일)	여름철 : 8일, 겨울철 : 15일
반송슬러지율(%)	25 ~ 50 %
내부반송율(%)	100%
용존산소농도, DO(mg/l)	포기조 2.0~3.0 (유출부 1.0) 무산소조 0.2 이하)
미생물농도MLSS(mg/l)	2,000 ~ 3,500

표 3. DNR 공법의 신기술 보유 현황

구 분	명 칭	등록번호	출원일	등록일
건교부신기술	슬러지탈질조를 이용한 저농도하수 영양소 제거공법(DNR 공법)	제95호		'98.03.24
국산신기술(KT)	하수의 영양소 제거공법및 장치	제0177호		'96.05.10
특허등록(5)	하수처리방법 및 장치	제153211	'94.12.30	'98.07.02
	하수처리장치	제140446	'94.12.30	'98.03.12
	하수처리장치	제164676	'95.12.14	'98.09.14
	하수처리장치	제164675	'95.12.14	'98.09.14
	하수의질소, 인고도처리장치	제165630	'96.04.23	'98.09.17
의장등록(3)	최종침전지용 baffle	97-2889	'97.02.22	'98.02.14
	최종침전지용 baffle	97-2890	'97.02.22	'98.02.14
	최종침전지용 baffle	97-2891	'97.02.22	'98.04.30
프로그램등록(2)	DNR O/M	96-1591	'96.03.15	'96.04.15
	WWT O/M	96-1594	'96.03.15	'96.04.15

결론적으로, 본 DNR 공정의 특징을 요약하면 다음과 같다.

1) 공정의 즉각적인 현장 적용 : 기존 하수처리장의 시설변경을 최소화하여 신·증설 처리장뿐 아니라 기존처리장에도 즉각적인 적용이 가능.

2) 운전용이 : 표준활성 슬러지법의 운전기법을 크게 변형치 않아 기존의 운전기술로 충분히 유지 가능. 특히 타 질소·인 제거 공정에 비하여 유지관리가 용이.

3) 혐기조내에서 인 방출의 저해를 억제 : 슬러지탈질조를 두어 반송슬러지내에 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )을 탈질시키고 하수를 혐기조로 유입시키므로써 혐기조에서 인 방출시 저해를 최대한 막아 인 방출을 크게 함.

4) 처리효율 우수 : BOD 90%, TN 70%, TP 85% 이상 제거하여 유출수의 BOD 10mg/l, TN 10mg/l, TP 1mg/l 이하로 유지하는 것이 가능.

5) 시설비 및 운전 유지비 최소화 : 질소·인 처리시 소요되는 시설비 및 운전유지비 최소화, Diffuser 설치비용 및 운전비 감소로 추가시설 비용이 대체.

#### 4. 개발성과

DNR 공법은 국내 기존, 신설 및 증설

하수처리장에 즉각적인 적용이 가능하고 유지관리가 용이하여 표준활성슬러지법에 익숙한 운전실무자들도 쉽게 운전 및 관리가 가능하다. 한편, DNR 공법은 이미 고성·거진 하수처리장, 경주·감포하수처리장 및 천안하수처리장등 현재 8개 하수처리장에 주 공법으로 채택되어 실시설계를 마친 상태에 있고 이 밖에 7개 하수처리장 기본설계 및 계획 등에도 DNR 공법이 채택되었거나 또는 적극적인 검토 대상이 되고 있다. 그리고 DNR 공정의 적용 범위가 제한될 수도 있는 기존 처리장에 대한 범위를 확대하기 위하여 후속공정에 대한 개발을 G-7 과제를 통하여 진행중에 있고, 이를 통하여 더욱 발전된 공법으로 발전될 것으로 전망하고 있다.

DNR 공법의 개발은 국내 하수처리장의 운전수준과 운영현황에 적합한 생물학적 질소·인 제거 기술의 보급을 가능하게 하였고 이를 통하여 취약한 국내 생물학적 질소·인 제거 기술 기반을 확고히 하였다고 보고 있으며 향후 관련 응용 및 실용화 기술 발전에도 큰 기여를 할 것으로 본다. 그리고 국내 및 외국의 타 공법과는 달리 DNR 공법에 소요되는 모든 기계, 계장 및 기타 자재들의 국산화가 가능하기 때문에 국내 관련 산업체들에 대한 기술적, 경제적 파급 효과는 매우 클 것으로 내다보고 있다.

표 4 DNR공법 적용 하수처리장 현황

처리장 명	처리용량, m <sup>3</sup> /d	진행 상황
경주 감포	5,000	실시설계 반영
고성 거진	5,000	실시설계 반영
천안시 천안	시동 70,000, 증설 80,000	공사중
경기도 안성	17,500	입찰 완료