

섬모상 생물막을 이용한 유기물 및 질소 · 인 고도처리공법



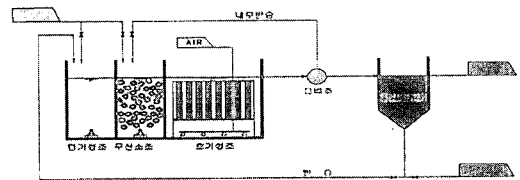
양익배 (주)화랑환경대표이사
제3회 환경기술상 대통령상 수상
환경부 환경정책과 자문위원
한강환경관리청 수처리 기술자문 위원

I. 신기술(CNR) 공정개발의 필요성

- 환경부 하수고도처리사업 시행(98년부터 시행) ; 하수처리장 설치사업 및 증설사업에 대해 단계별 고도처리시설 보급
 - 상수원, 연안지역 : 조기 수질 보전
 - 수질 항목 : BOD, COD, SS, T-N, T-P 추가
- 국내의 곡물위주 식생활 문화로 하수성상이 유기물(BOD)은 낮고 암모니아 농도는 외국보다 2배(20~40ppm) 유입 고도처리방식인 A₂O, AO 등을 적용하는 데는 어려움이 있음.
 - C/N비가 5:1 이상 필요하는 공법이 대다수
 - 국내실정에 맞는 고도처리 기술 필요
- 대안 : 내생탈질반응을 이용 낮은 C/N비에서도 처리 가능
- 계절적인 수온 변화 및 농도 변화에 따른 대응 필요
 - 부유미생물을 이용 방식 : 세균의 유실, 질소분해세균의 증식속도가 느림, 충격부하에 민감
 - 대안 : 섬모상 접촉여재에 의한 부착미생물을 이용하여 문제점 해결
- 잉여슬러지 감량 및 기존 하수처리장 개조 필요성
 - 대안 : 기존시설의 무산소, 호기 공정에 섬모상 생물막 충진으로 잉여슬러지 발생량 20~30% 절감 및 구조물 증설없이 공사 가능

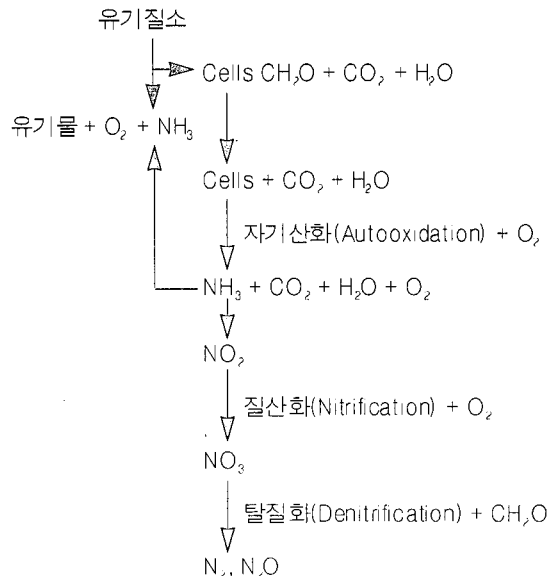
체)을 충전 부착미생물과 부유분산상 미생물을 이용하여. 혐기성조, 무산소조에 유입수를 분할하여 공급하는 방식이다.

유동형 및 고정형의 섬모상생물막은 미생물 부착과 탈리가 양호하고, 폐쇄현상이 없으며, 증식속도가 느린 질산화, 탈질 미생물을 고정화하여 질산화 및 탈질속도를 향상시킨 방식이다.



질소 처리 공정

생물산화 공정에서의 질소 제거

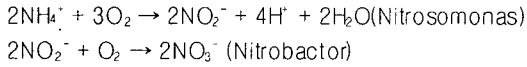


II. CNR공법 개요

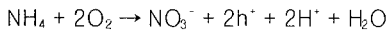
유기물, 질소, 인을 함유하고 있는 하·폐수를 처리하기 위하여 생물반응조를 혐기성조, 무산소조, 호기성조로 분할하고 무산소조에 섬모상 유동형(구형)과 호기성조에 판형의 고정상 섬모상생물막(담

질산화 공정 (Nitrification)

호기성조 내에 충전된 혐모상생물막에 증식속도가 느린 질산화균 (Nitrosomonas, Nitrobacter) 을 다량 고정화시켜 질산화 효율을 상승시킨다.



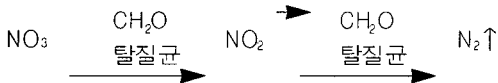
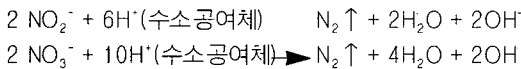
총괄 반응:



내생 호흡에 의한 탈질화 공정

호기성조에서 내부반송된 질산성질소(NO_3^-)를 혐모상생물막이 충전된 탈질반응조에서 탈질균 (Pseudomonas, Micrococcus, Spirillum, Alcaligenes 등)의 질산호흡, 아질산 호흡을 통해 N_2O , NO 등의 형태로 환원되어 탈질 효율을 상승시킨다.

• 내생 탈질상태에서 탈질반응식



탈질화는 무산소 상태에서 유기 에너지원이 있을 때, 종속 영양미생물이 질산성 질소를 수소 수용체로 이용하여 내생호흡에 의해 진행된다.

인 처리 공정

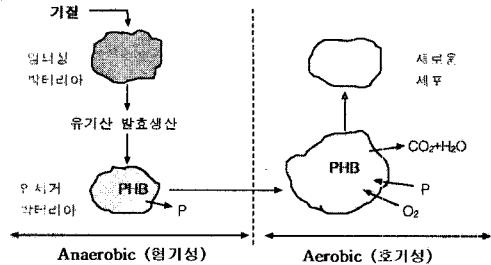
인 방출 공정(혐기성조)

혐기성과 임의성 미생물(Acinetobacter 등)에 의해 유기물을 PHB형태로 저장하고 Polyphosphate의 가수분해에 의해 발생하는 에너지를 이용하여 인이 방출된다.

인 과잉 흡수공정(호기성조)

혐기성조에서 인을 방출시킨 기아상태의 미생물은 호기성 상태에서 저장된 PHB를 사용하여 유기물질 산화와 동시에 인을 3~4배 과잉섭취하여 농축된 상태에서 침전조에서 잉여슬러지로 인출된다.

생물학적 인 제거



III. 혐모상 담체의 형태 및 특징

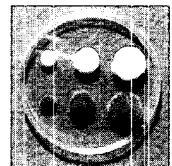
혐모상 담체는 구형의 유동상과 편형의 고정상 있다.

1. 혐모상 유동형(구형)담체

- 혐모상 유동형(구형)담체는 다공성 구조의 혐모 형태 구형으로 미생물을 외부(표면)와 내부에 미생물을 고농도로 부착시키는 결합고정화 담체로서 미생물 부착이 양호하고, 수류에 따라 원형이 유동되며, 담체의 정체현상이 없다.
- 무산소조에 충전된 고농도의 탈질균의 보유로 탈질효율을 증가시키며, 호기성조 충전시 고농도의 질산화균과 미생물의 보유로 질산화 및 유기물의 처리효율이 아주 높다.

1-1. 혐모상 유동형담체 사양

형태	유동상의 구형혐모
규격	직경 8, 15, 20mm
재질	PP, PE 조합
적용	무산소(호기조)
고정화법	결합 고정화



<규격 : 8, 15, 20mm>



<미생물 부착전>

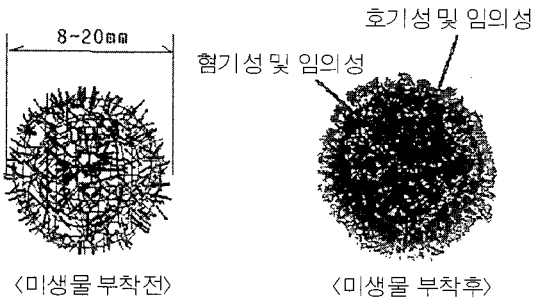
<미생물 부착후>



<미생물 부착전>



<미생물 부착후>
<담체확대사진>



<미생물 부착전>

<미생물 부착후>

1-2. 섬모상 유동형 담체 특징

- 구형형태의 섬모로 비표면적이 크고, 탈질미생물의 고정에 양호하도록 구성되어 있다.
- 외부의 섬모와 내부의 다공처리로 넓은 비표면적을 제공하여 담체의 외부와 내부에 미생물 부착이 빠르게 형성되므로, 종슬러지의 고정화가 필요없다.
- 친수성이 높아 수면위로 부상하지 않는다.
- 적정비중에 의한 미생물 부착시 수류에 따라 원활한 유동으로 담체의 부상이나 누적에 의한 폐쇄현상이 없다.
- 화학적으로 안정되어 있고, 구형의 형태로 마모가 적어 담체의 수명이 길다.

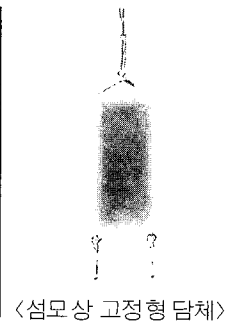
- 균일입경의 대량 생산이 가능하다.(직경 8, 15, 20mm)
- 취급이 용이하고 충전이 간편하다.

2. 섬모상 고정형(판형) 담체

- 섬모상 고정형 담체는 격자판의 기공과 외부의 섬모가 부드러운 직모의 형태로 수류의 흐름에 따라 움직일 수 있는 구조이다.
- 섬모의 기공처리로 슬러지의 폐쇄 현상이 없고 수류에 따라 유동하는 부드러운 직모의 기능으로 슬러지의 부착과 탈리가 원활하게 이루어진다.
- 비표면적이 넓어 다중다량의 미생물 부착이 가능하고, 무산소조에 적용시 고농도의 탈질화균, 호기성조에 적용시 고농도의 질화균 보유로 질소 및 유기물의 처리효율이 높을 뿐 만 아니라 슬러지의 발생량도 20~30% 감소된다.

2-1. 섬모상 고정형 담체 사양

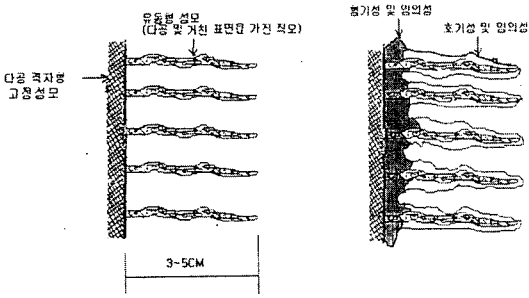
재질	플리에틸렌과 폴리프로필렌
겉보기 비중	1.2
인장강도	650.2 (kg/20cm)
내구성	강
규격	폭 200mm 길이 500~3,000mm
적용	호기조(무산소)



<섬모상 고정형담체>



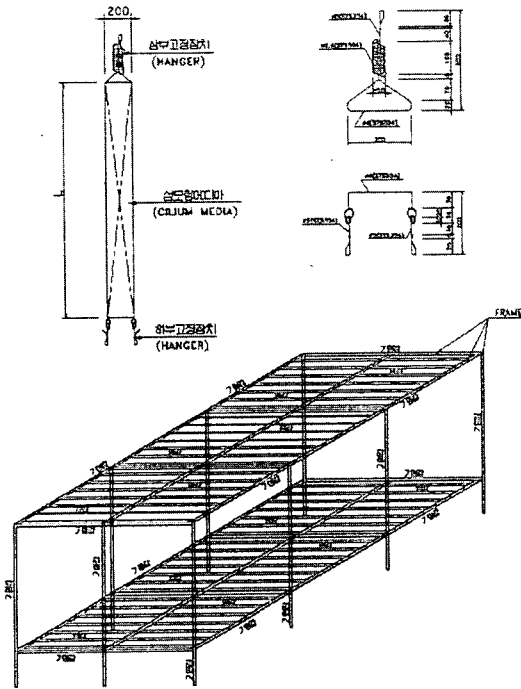
<현장시공>



<미생물 부착전>

<미생물 부착후>

2-2. 섬모형 담체 고정 구조도



섬모상 생물막 고정 트러스

2-3. 섬모상 고정형 담체 특징

- 고정형과 유동형의 장점을 복합시킨 표면이 거칠고 기공이 형성된 부드러운 직모로 된 개량된 담체이다.
- 내부의 섬모판은 다공구조의 섬모로 구성되어 있고, 수류에 따라 유동하는 각각의 섬모는 직모형태로 미생물의 부착과 탈리가 원활하게 일어난다.

폐쇄 현상이 없다.

- 섬모형태의 담체로 다종의 미생물 유지로 침출수, 축산, 분뇨, 공장폐수 유입으로 부하변동이 큰 고농도의 처리에 효율이 높다.
- 저농도의 하수 유입시 섬모담체에 부착하는 미생물에 의해 안정적인 처리로 적용이 가능하다.
- 호기성조에 충전시 유기물의 처리와 고농도의 질산화균 부착활성화로 질산화속도가 높다.
- 담체내부는 혐기성 미생물, 외부는 호기성미생물이 부착되어 다종다량의 미생물이 먹이연쇄로 슬러지의 발생량이 20~30% 줄어든다.
- 담체의 섬모에 오니균집현상으로 동절기의 수온 변화에 강하다.

V. 섬모상 생물막(담체) 설치 방법

◆ 설계기준

항목	설계기준	비고
체류시간	5~8 hr	
BOD 용적부하	0.2~0.5 kgBOD/m ³ ·day	
F/M 비	0.1~0.3 kgBOD/kgMLSS·day	

◆ 섬모상 담체 충전율

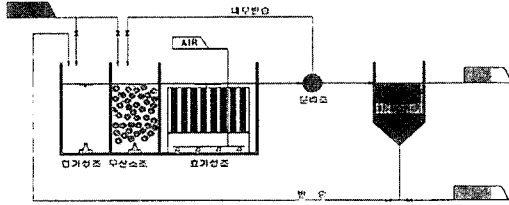
구분	충진율	
	유동상(구형)	고정상(판형)
섬모상담체	10~15%	1.0~1.5m ³ /m ³

◆ 운전기준

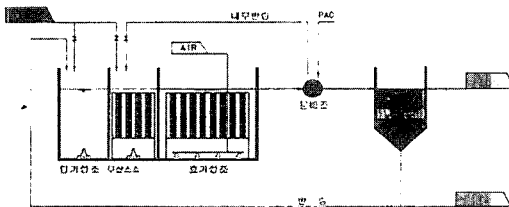
항목	구분		
	혐기성조	무산소조	호기성조
HRT(hr)	0.5~1	1.5~2	3~4
Temp(℃)	15~25	15~25	15~25
DO(mg/l)	0.1이하	0.2이하	2~3
ORP(mg/l)	-250~-150	-200~0	+200 전후
SV(%)	50~70	40~60	30~50
MLSS(mg/l)	5,000~7,000	4,000~6,000	2,000~5,000
내부반송(%)		~100	
외부반송(%)	~50		
교반방식	수중믹서	수중믹서	폭기식의

VI. 처리방법 (CNR 처리계통도)

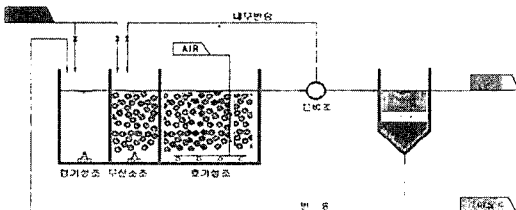
공정도-1 (표준)



공정도-2 (고농도)



공정도-3 (저농도)



4-2. CNR 공정의 차별성

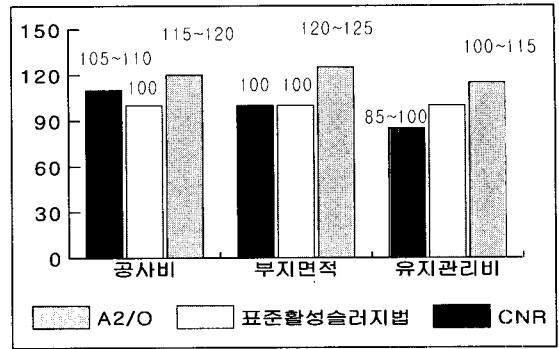
- 고농도의 하수처리에 처리효율이 높다.
축산, 분뇨, 공장폐수가 유입되는 고농도의 하수 처리시 혐모상 담체에 의한 다중다량의 미생물 보유와 질산화균, 탈질균의 안정적인 부착활성화로 처리효율이 높다.
- 낮은 C/N비에서도 질소(T-N)의 고도처리가 가능하다.
곡물위주의 음식문화로 질소에 비해 유기물이 낮게 유입되나, CNR공법은 내생탈질 종속영양미생물을 이용, 낮은 C/N비에서 질소(T-N)고도처리가 가능하다.
- 혐모상생물막은 고정상+유동상 형태로 미생물의 부착 및 탈리가 양호하고 폐쇄현상이 없다.
- 다중다량의 미생물에 의한 먹이 연쇄와 산화세균 및 슬러지를 먹이로 하는 후생동물의 공존으로 슬러지의 발생량이 20~30% 줄어든다.
- 오히려 동결현상으로 동절기의 수온변화에 강하다.
- 기존 하수처리장(HRT 5.5~7hr) 구조물 증설 없이 고도처리가 가능하다.

4-1. 공정설명

혐기성조	임의성 미생물에 의한 인방출 공정 혐기성과 임의성 미생물에 의해 유기물을 PHB형태로 저장하고 Polyphosphate의 가수분해에 의해 발생하는 에너지를 이용하여 인이 방출된다.
무산소조	혐모상 유동상담체 충전, 고농도의 탈질균부착, 탈질처리공정 호기성조에서 내부반송된 질산성질소(NO3-)를 혐모상생물막이 충전된 무산소조에서 탈질균의 질산호흡, 아질산호흡을 통해 N2O, NO 등의 형태로 환원되어 탈질 효율을 상승시킨다.
호기성조	혐모상 고정상담체충진, 질산화 및 인 과잉섭취 공정 혐모상 고정상담체에 증식속도가 느린 질산화균을 다량 고정화시켜 질산화 효율을 상승시킨다. 혐기성조에서 인을 방출시킨 미생물은 호기성 상태에서 저장된 PHB를 사용하여 유기물질 산화와 동시에 인을 3~4배 과잉섭취하여 농축된 상태에서 침전조에서 잉여슬러지로 인출된다.

4-3. CNR 공정의 경제성

- 처리장 부지면적 20~30% 적게 소요
- 처리유량 20~50%증가.
- 슬러지 발생량 20~30%감소.



VII. 효율 및 적용사례

● “K”시 환경 사업소 - 현장 PILOT 연구결과

○하수성상 - 가정하수, 공단폐수		○PILOT 처리용량 - 5 m ³ /day					비 고
구 분	BOD(mg/ℓ)	COD _α (mg/ℓ)	SS(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)		
유입수	75.9	123.6	113.0	30.8	3.7		
방류수	4.8	15.2	5.9	12.2	1.4		
제거율(%)	93.6	87.7	94.7	60.3	62.1		

● “Y”시 환경 사업소 - 현장 PILOT 연구결과

○하수성상 - 가정하수, 축산, 분뇨, 산업폐수		○PILOT 처리용량 - 10 m ³ /day					비 고
구 분	COD _α (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	SS(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)		
유입수	239.0	64.4	163.1	45.71	13.38		
방류수	42.6	13.9	11.6	14.05	0.79		
제거율(%)	82.1	78.4	68.7	69.0	94.4		

● “H” 하수처리장 - 실증 Plant 연구결과

- 섬모상생물막 + DNR 공정 적용

○하수성상 - 가정하수, 산업폐수		○처리용량 - 10,000 m ³ /day													
구 분	유 입 수 (mg/ℓ)					방 류 수 (mg/ℓ)					제 거 율 (mg/ℓ)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
표준활성오니법	78.0	65.6	92	25.9	5.5	14.3	17.2	12.1	23.6	1.9	81.67	73.78	86.85	8.88	65.45
섬모상 + DNR	190.5	160.2	228.25	38.85	4.25	8.55	13.4	7.85	10.8	0.975	95.51	91.64	96.56	72.33	77.06

● “YN”대 환경연구소 PILOT 실험

○하수성상 - 생활하수							비 고
구 분	BOD(mg/ℓ)	COD _α (mg/ℓ)	SS(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)		
유입수	140	326.6	160.1	47.3	3.5		
방류수	14.4	27	8.7	1.5	0.2		
제거율(%)	89.7	91.7	94.6	96.8	94.3		