

---

---

분리막을 이용한 하수고도처리 MBR  
시스템 및 막분리 슬러지 농축처리기술

---

---

허 형 우 부장

제18회 한국막학회 심포지움 2003. 10. 15

**분리막을 이용한  
하수고도처리 MBR 시스템 및  
막분리 슬러지 농축처리 기술**

한화환경연구소 허형우



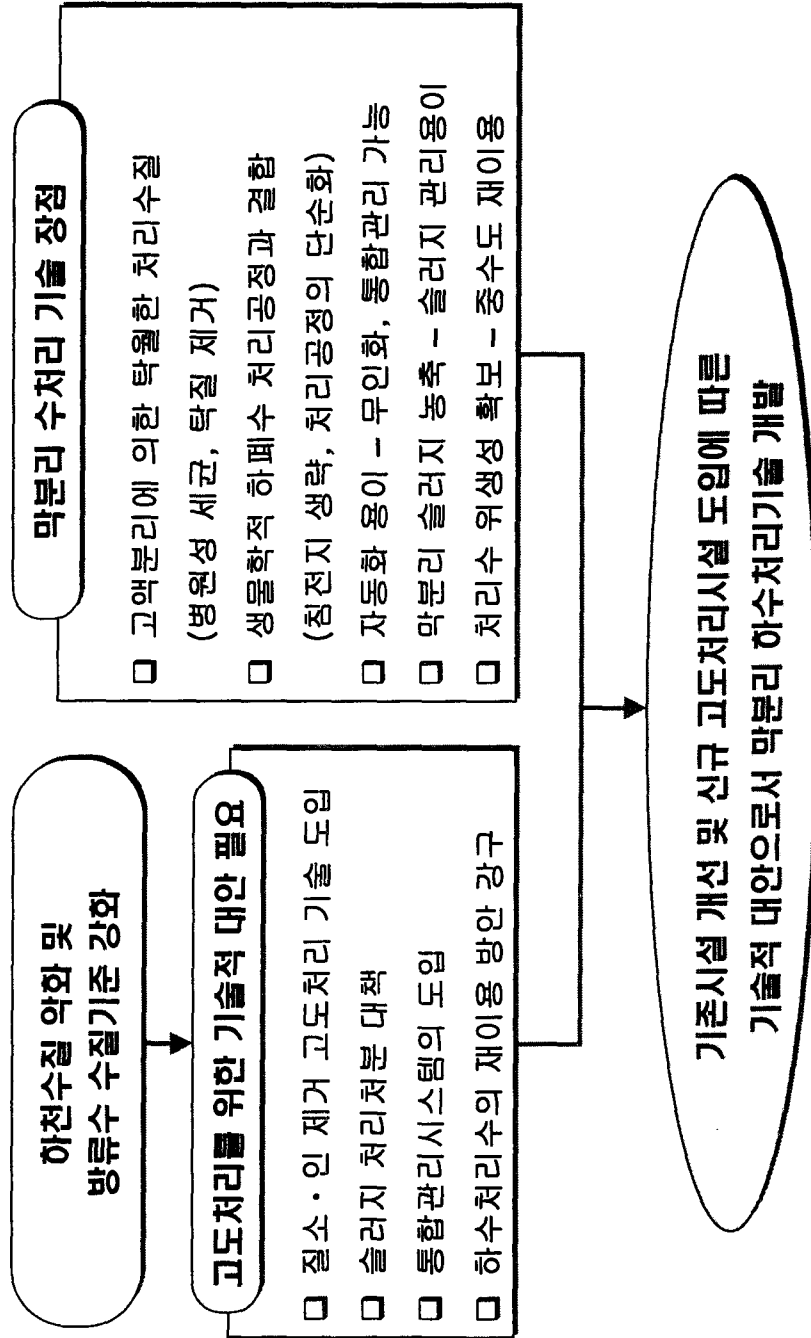
(주)한화건설

SAEHAN (주) 새한

# 발표순서

1. 기술개발의 배경 및 연혁
2. 기술의 개요
3. Pilot Plant의 운전현황 및 개요
4. 운전결과
5. 맺음말

# 1. 기술개발의 배경



㈜한화건설

SAEHAN (주) 새한

# 막분리 생물반응조 (MBBR)

## 표준 활성슬러지 공법

### Conventional AS process

- 미생물에 의한 유기물 및 영양염류 제거

## 막분리 공법

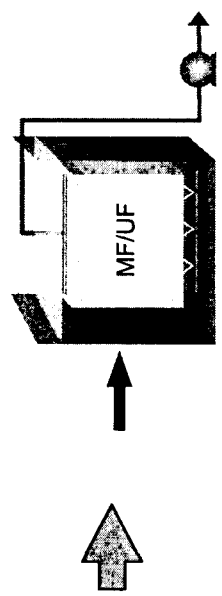
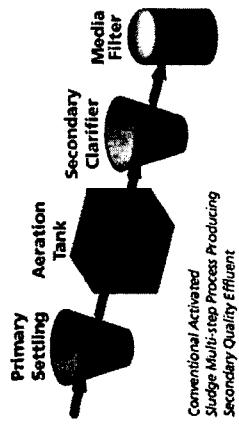
### Conventional AS process

- 분리막의 완벽한 고액분리 성능
- 고농도 미생물 유지

## 막분리 생물반응조

### Membrane bio-reactor process

- 고농도 미생물 유지 : 반응조 용량 축소
- 침전조 기능을 막분리가 담당
- 탁월한 여과성능 : 별도 여과설비 불필요
- 병원성 미생물의 완벽 제거 : 소독시설 불필요
- 시설의 컴팩트화, 자동화 용이



# 기술개발연혁

## ㈜ 한화건설

### 하수고도처리 공정기술

- 1993. 2 - 1995. 6 HDF공정 구성
- 1995. 7 - 1998. 10 G-7 프로젝트 수행
- 1999. 2 - 1999. 7 환경신기술평가 완료

## SAEHAN (주) 새한

### 분리막 기술

- 2000. 2 캐나다 ZENON사와 국내특점사업권 체결
- 2001. 12 삼성전자(기흥), 남양주축산폐수 처리장, 대신마을하수처리장 등 MBR공정 설치 및 가동

### ← ㈜한화건설 / (주)새한 공동연구

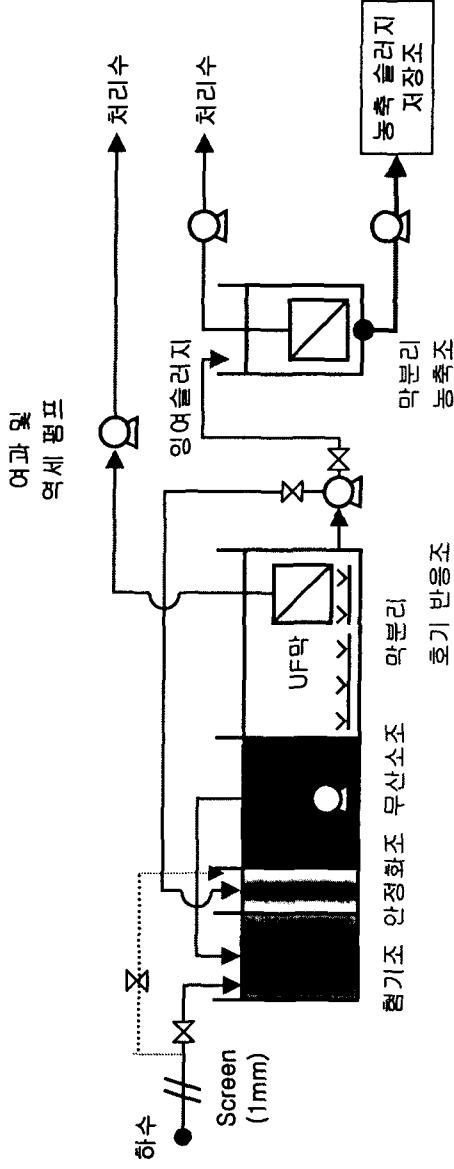
- 분리막을 이용한 상수 및 하수처리공정개발

### ← 하수고도처리 Pilot Plant 설치 및 운영

- 분리막을 이용한 하수고도처리 MBR시스템 및 막분리 슬러지 농축기술 환경신기술평가신청

## 2. 기술 개요 (1)

### ■ MBR 시스템과 막분리를 이용한 슬러지 농축처리 공정 개요



#### 1. 혐기조-안정화조-무산소조-막분리 호기반응조로 구성

- ▶ 생물학적 공정과 막분리 공정의 결합 : 유기물, N, P, 병원성 미생물의 제거
- ▶ 침전지 없이 분리막에 의한 고액분리로 처리수질 안정적유지
- ▶ 안정화조 : 반송슬러지의 용존산소의 저감으로 무산소조 탈질 기능 강화

## 기술 개요 (2)

### 2. 역세정, 유지세정 및 사이클릭 공기세정으로 중공사 UF막의 Fouling 제어

및 공기소요량을 절감

- 역세정 : 처리수 이용(약품 무사용), 공기세정과 병행 실시, 막표면 세척
- 사이클릭 공기세정 : 분리막에 교대로 공기공급. 과폭기 방지 및 공기소요량 절감
- 유지세정 : 처리수 이용(약품 첨가), 주 2-3회 주기, 막표면 미생물 증식 방지

### 3. 막분리 슬러지 농축처리 공정

- MBR시스템의 잉여슬러지를 호기적 조건에서 막분리를 이용하여 단시간 농축
- 슬러지 발생 부피를 저감하고 농축처리수 수질을 개선(인방출 억제, SS 유출 방지)
- 소규모 처리장의 슬러지 저류 및 이송 비용 절감 효과



㈜한화건설

SAEHAN (주) 세한



# 본 기술의 특징 (1)

## 안정적인 처리수질 확보

- 고농도미생물 유지로 충격부하 대응성 확보
- 막여과에 의한 현탁물질 및 병원성 미생물 제거로 완벽한 처리수질 확보
- 생물학적 분해 및 물리적 막여과를 통한 안정적인 처리수질

## 슬러지 농축/ 감량

- 막분리농축을 통한 배출량 저감으로 슬러지 저류조 용량 축소 및 이송성개선
- 호기조건에서 단시간의 농축 : 기존 중력농축의 인 방출문제해결

## 공정축소

- 침전조 불필요, 여과 및 소독공정 생략 가능
- 고농도 MLSS유지로 생물반응조 Compact화, 긴 SRT로 슬러지 발생량 감소 (MLSS 8,000 ~12,000 mg/L)

## 기술의 특징 [2]

### 유지관리용이

- 종력침전조의 슬러지 벌킹문제 원천 해소
- 운전자동화를 통한 유지관리 최소화, 무인운전화

### 처리수의 활용

- 추가공정 없이 중수 이용가능
- 하천유이용수로 친수공간 확보

### 시공성 양호

- 장치제작 과정의 단순화 및 공기단축
- Scale Up 용이

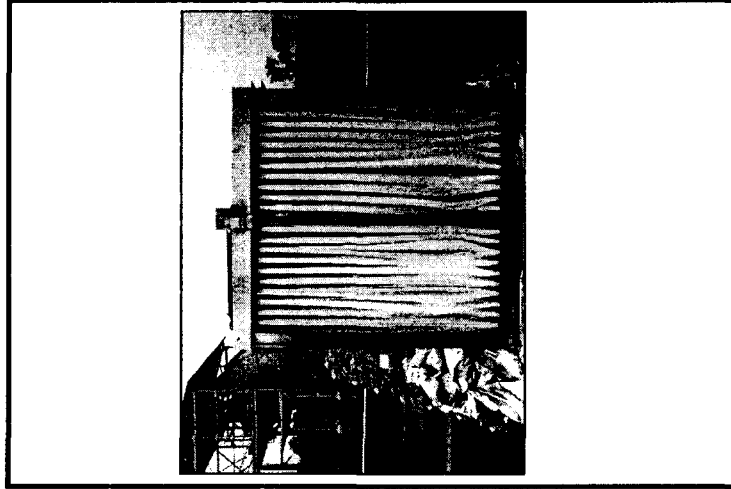
### 3. Pilot Plant 운전 현황

시 설 명	하수고도처리 MBR (membrane bio-reactor) 및 막분리 슬러지 농축처리 시스템		
처 리 용 량	180 m <sup>3</sup> /일	처리대상물	하 수
시 설 구 성	하수고도처리용 MBR 시스템 + 잉여슬러지 농축용 막분리 설비		
운 전 기 간	2003.6 ~ 현재 (환경기술검증 평가 수행중)		

# 평가대상시설 현황

## ■ 사용 분리막의 사양

구 분	제 원
MODEL 및 구조	ZW500C-22 (캐나다 Zenon사) 외압식 증공사막
모듈수	22 modules/cassette
막 표면적	440 m <sup>2</sup> /Cassette
막 재질	PVDF
공칭공경	0.04 $\mu$ m
최대 막차압	0.83bar(83KPa)
운전압력범위	0.07-0.55bar (7-55kPa)
운전 pH범위	5~9.5
최대 OCl <sup>-</sup> 노출량	1,000,000 ppm-hrs
하부에 사이클릭 공기세정 배관 설비	

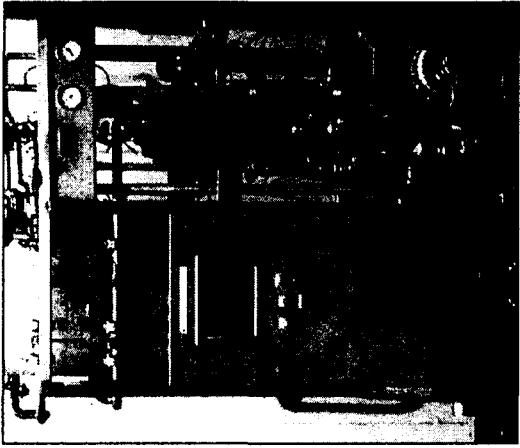




유한화학

SAEHAN (주) 세한

# 평가대상시설 현황 (2)

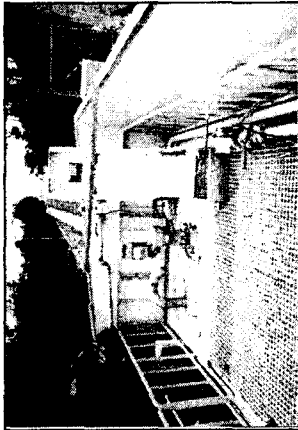
## ■ 막분리 슬러지 농축처리 설비

<p>□ 제어판넬 및 부대설비</p> 	<p>□ 농축조 전경</p> 	<p>□ 농축용 막모듈</p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 제어판넬상에서 자동제어 및 모니터링</li> <li>■ 여과, 역세정, 공기세정 관련 설비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 침지식 분리막을 내장</li> <li>■ 슬러지 유입 및 공기공급 배관</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 침지식 UF막</li> <li>■ 모델: ZW500a</li> <li>■ 면적: 46.5m<sup>2</sup>/module</li> </ul>

# 평가대상시설 현황 (8)

## ■ MBR 시스템

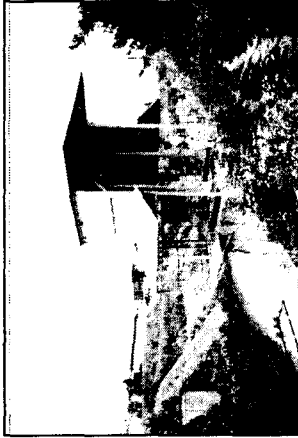
□ 반응조 (유입방향)



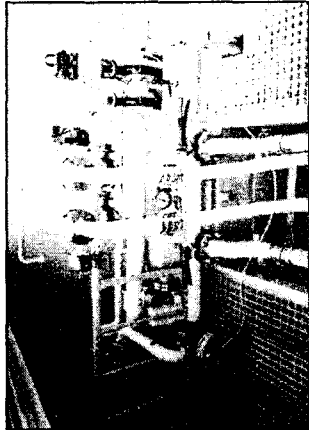
□ 반응조 (유출방향)



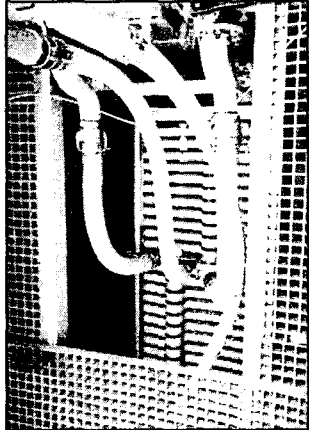
□ 원수펌프실



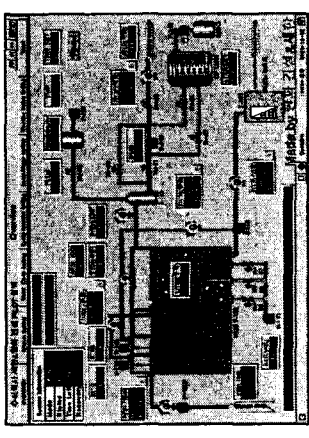
□ 여과 및 공기공급 배관



□ 호기조내 침지 분리막



□ 시스템제어



# 각 반응조의 기능

- 혐기조 : 인 방출
- 안정화조 : 반송슬러지의 균등 혼합 및 DO 저감
- 무산소조 : 탈질
- 막분리 호기조 : 질산화, 인 섭취
- 슬러지 순환을 통한 각 반응조의 미생물 농도 유지
  - 막분리 호기조 → 안정화조 (3 ~ 40)
  - 무산소조 → 혐기조 (1 ~ 20)

## 생물학적 N, P 제거 MBR 공정의 문제점

- 분리막 공기세정, 호기조내 유기물 고갈 → 과폭기로 높은 DO 농도
- 침전조 생략으로 호기조로부터 다량의 슬러지 반송이 필요
- 반송슬러지내 고농도의 용존산소 함유

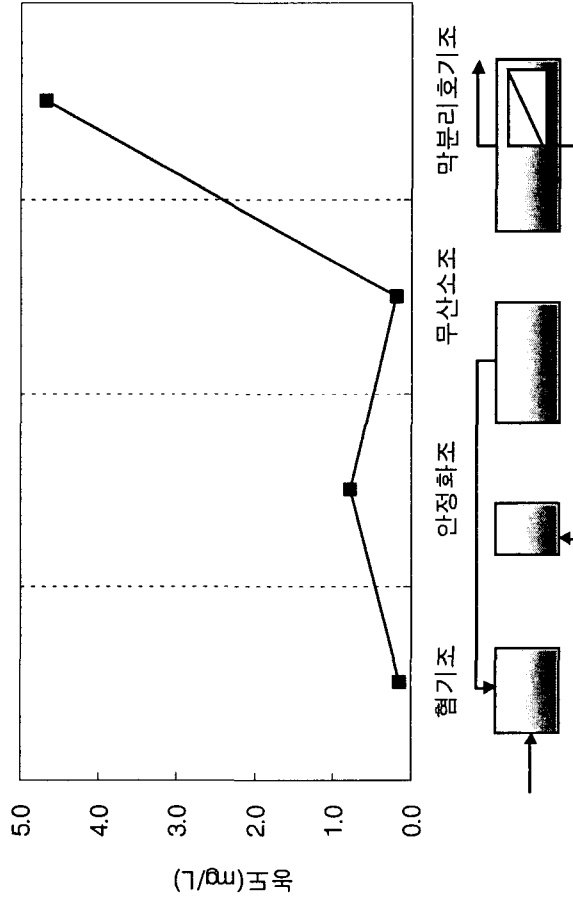


- 안정화조 설치 : DO 저감, 무산소조에서의 탈질 반응 촉진



# MBR 시스템의 내부지표 (DO)

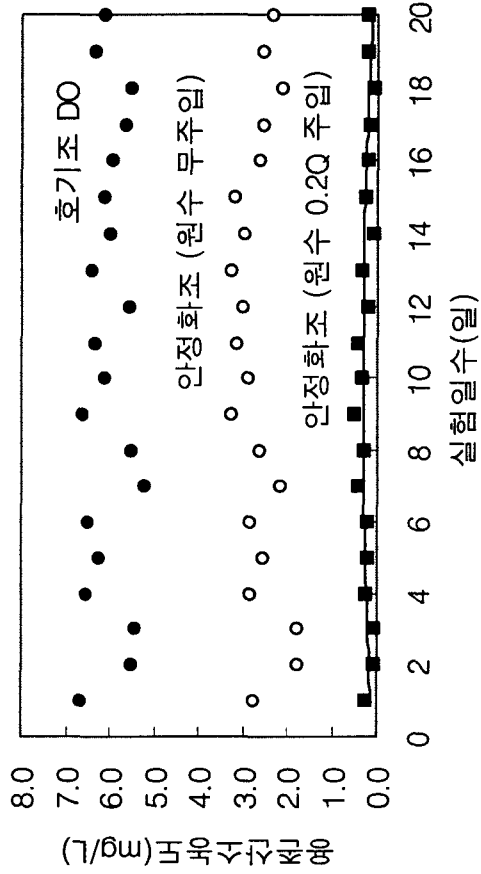
□ DO 분포 (4Q 반송): 막분리 호기조 4.5mg/L → 안정화조 0.7 mg/L  
 → 무산소조 및 혐기조 0.1 mg/L 이하





# MBR 시스템의 내부기름 (DO)

DO (mg/L)	호기조			안정화조					
	최고	최저	평균	원수 무유입			원수 0.2Q 유입		
				최고	최저	평균	최고	최저	평균
6.67	5.22	6.03	3.26	1.77	2.67	0.5	0.07	0.25	



# 침지식 UF막의 막세정 대책

1. 처리수를 이용한 자동 역세정과 공기세정을 병행
2. 약품을 이용한 유지세정을 주기적으로 실시
3. 사이클릭 공기세정방식을 통하여 소요동력비를 절감

## 주기적인 자동역세정

- 처리수의 일부를 세정용 CIP 탱크에 저장하여 일정 여과 주기마다 여과방향과 반대방향으로 역주입하는 방식
- 별도의 역세펌프없이 밸브조작만으로 가능
- 매 14분 여과후 30초간 여과유속의 1.5 배로 진행

## 유지세정

- 여과공정 정지후 처리수에 NaOCl을 첨가, 약 200ppm 조건에서 역세정
- 여과유속의 1.5배로 30초간 세정후 4분 정지를 10회 반복
- 주 2~3회의 빈도

## 사이클릭 공기세정

- 막모듈하부에 설치된 산기관을 양부분으로 나누어 1대의 송풍기로부터 공급되는 공기를 10초 간격으로 교대 공급
- 막표면의 전단유속 유지를 위해 필요한 공기공급량의 1/2만으로 막표면 세정효과 달성
- 공기공급량 절감 및 후기 반응조의 과포기 최소화 효과



㈜한화건설

SAEHAN (주) 세한

# 막분리 슬러지 농축처리 기술

1. MBR공정으로부터 배출된 잉여슬러지를 분리막으로 농축처리
2. 슬러지의 부피를 잉여슬러지 발생량의 1/4 이하로 줄인 기술 (4배 농축)

## 막분리 농축 기술

- 분리막을 이용한 슬러지 농축 처리 기술
- MBR 공정으로부터 발생한 고농도의 잉여슬러지를 고품질 함량 4%까지 농축
- 최종 액상 슬러지의 발생량을 1/4 이상으로 저감



중소규모 하수처리장의 슬러지 저류 및 이송성을 개선하고 통합관리에 적합한 기술

## 슬러지 농축 방법

- Semi-batch 농축방식으로 고농도 슬러지에 대한 분리막의 노출을 최소화
- 8 LMH의 저플럭스 운전, 역세정 및 공기세정 병행



농축용 분리막의 파울링 발생을 억제하여 시스템의 안정성 및 효율성을 확보

## 농축처리수 수질개선

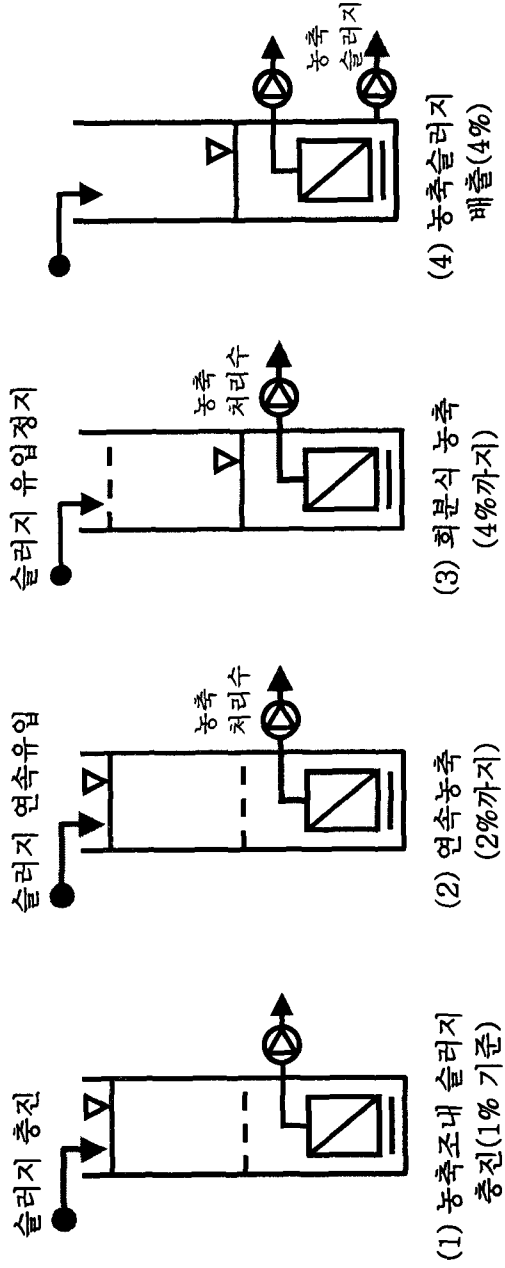
- 호기상태의 농축으로 슬러지 내 인방출 억제
- 부유물질 및 병원성 미생물의 효과적 제거
- 종력농축시의 혐기화로 인한 악취발생 억제



농축처리수의 반송처리 및 방류가 용이하고 환경 개선

# 막분리 슬러지 농축 공정

- 막분리 운전조건: 8 LMH의 저플럭스, 여과주기 및 세정조건은 MBR과 동일
- Semi-Batch 운전방식: 고농도 슬러지에 대한 노출을 최소화하여 막 파울링 발생 억제
- 잉여슬러지를 4배 농축하여 부피 감소



Semi-Batch 방식에 의한 막분리 슬러지 농축



㈜한화건설

SAEHAN 세한

# 4. 운전결과 (1)

## 1. Pilot 성능 평가 결과

수처리 효율 평가 (2003.7 ~ 9)			
항목	원수	처리수	%
BOD	60.7	4.0	93.4
COD <sub>Mn</sub>	21.5	3.6	83.3
COD <sub>Cr</sub>	105.4	10.1	90.4
SS	93.8	<1	>99
T-N	16.5	8.4	49.1
T-P	3.3	1.2	63.6
대장균군	-	<30	-

단위 : mg/L (대장균군수 : 개/mL)

### 분리막 운전조건 및 성능평가

□운전조건
- 정유량 여과 : 19.7 LMH
- 사이클릭 공기세정 실시
- 처리수 이용한 자동 역세정
- 약품첨가 유지세정 (주3회)
□막차압
0.05~0.08 kgf/cm <sup>2</sup> 의 범위에서 안정적 막차압 유지

# 운전결과 [2]

## 2. 막분리 농축 평가 결과

막분리 슬러지 농축 운전 조건

- Semi-batch 방식 4배 농축
- 정유량 여과 : 10.8 LMH
- 처리수 이용한 자동 역세정
- 운전결과
  - 호기조건에서 인 방출 억제
  - 막차압 0.03~0.05 kgf/cm<sup>2</sup> 의 범위에 서 안정적 유지

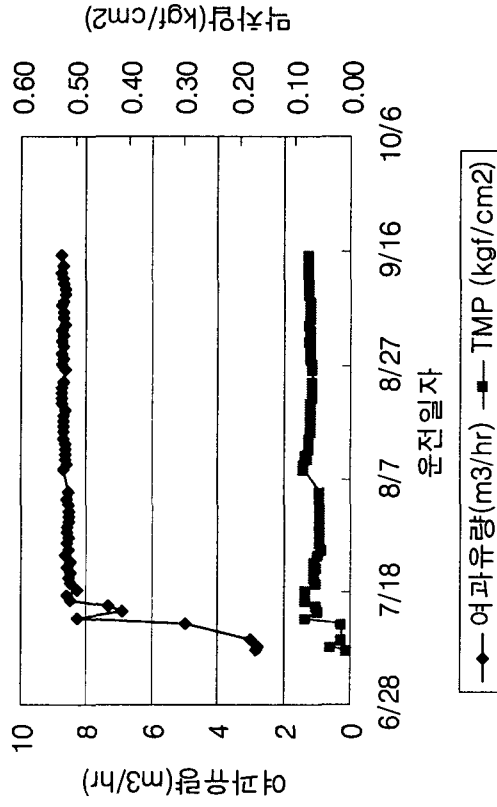
슬러지 부피 감소에 따른 저류 및 이송성 개선 효과		
구 분	잉여 슬러지	농축슬러지
월평균	48 m <sup>3</sup>	12 m <sup>3</sup>
슬러지 운반주기*	2.4	0.6 회

\* 20 m<sup>3</sup> 저류조 (또는 수송차) 기준

# 분리막 성능 평가 결과

## □ 분리막 세정 조건 및 세정 빈도

구분	세정방법	세정조건	세정빈도
공기세정	사이클릭 공기공급	공기량 2.5~4.0 m³/분	계속
역세정	처리수	여과유속의 1.5배로 30초간 실시	14분 여과주기별
유지세정	처리수(약품첨가)	NaOCl 200ppm, 30초 역세정 10회 반복	주 3회



# 막분리 슬러지 농축 실험 결과

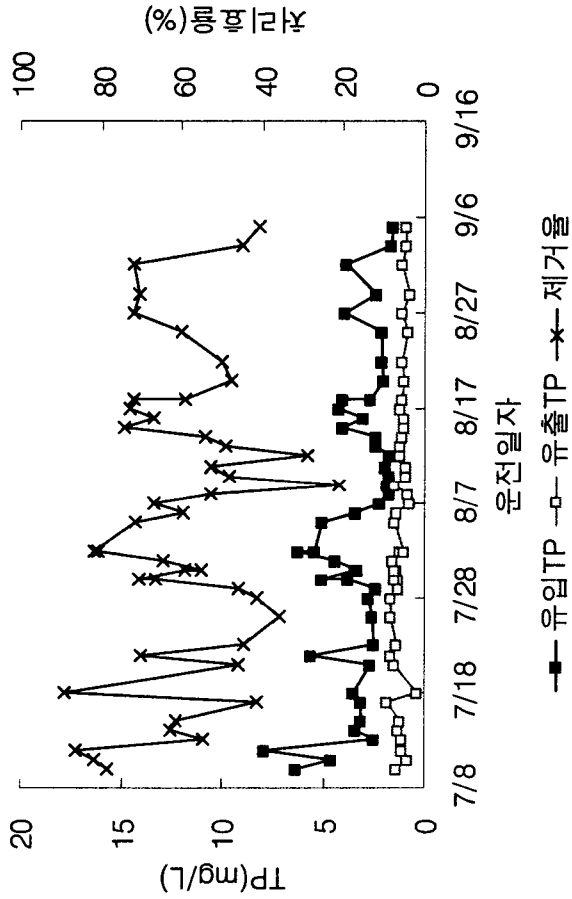
- 슬러지 인발 주기 : 2일에 한 번씩 3.2 m3 (일평균 1.6 m3)
- 여과 조건 : 10.8 LMH 여과(14분), 25~30 LMH 역세정(30초)

농축조건			
농축방법	여과주기	여과유속	막차압
Semi-batch 방식	14분 여과, 30초 역세정	10.8 L/m3/hr	0.03~0.05kgf/cm <sup>2</sup>
농축처리량			
유입슬러지량	농축슬러지 배출량	농축처리수량	농축율
1.6~3.2 m3/d	0.8 m3/d	0.8 ~ 2.4 m3/d	2~4배

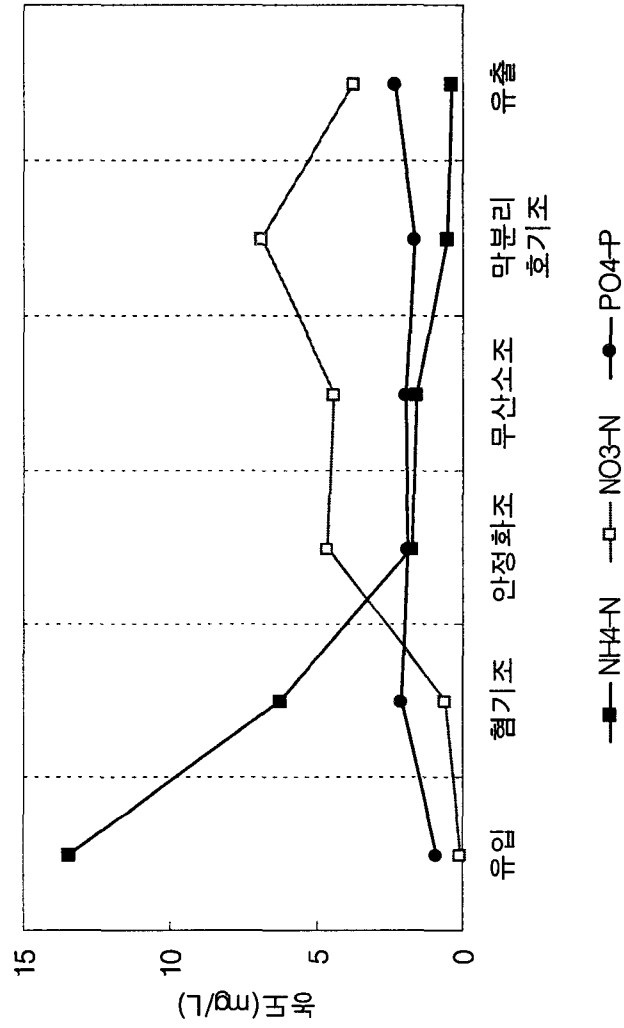


# -P 처리효율

항목	유입수(mg/L)	유출수(mg/L)	제거율(%)
T-P	1.6~7.9 (3.3)	0.4~1.9 (1.2)	44.9~71.9 (63.6)



# MBR 시스템의 내부가동 (N, P)



# 맺음말

- Pilot 운전결과로 나타난 본 기술의 특장점
  1. 고농도의 MISS 조건에서 HRT 6시간으로 유입수의 부하변동에도 안정된 처리수질 확보
  2. 3개월 이상의 운전기간을 통하여 안정적 막여과 성능 유지  
(막차압 0.05 ~ 0.08 kgf/cm<sup>2</sup> 범위 이내에서 운전 중)
  3. 처리수를 이용한 자동 역세정과 약품을 이용한 유지세정을 주기적으로 실시함으로써 막 파울링을 효과적으로 제어
  4. 사이클릭 공기세정을 통해 동력비를 절감
  5. 분리막 농축으로 잉여슬러지 발생 부피를 감소시킴으로써 슬러지 저류 및 이송성을 개선한 기술

□ 생물처리공정과 막분리 공정의 효과적인 결합을 통하여 효과적인 고도처리목표 달성

□ 축적된 분리막 운전기술로 안정된 막여과 성능 유지 달성

□ 분리막을 고농도 농축슬러지에 적용 실현

□ 소규모 처리시설의 슬러지 관리에 효과적 대안



㈜한화건설 SAEHAN (주) 세한

## 맺음말

- MBR 시스템의 적용 분야
  - 엄격한 방류수 수질 기준 적용 지역
  - 기존시설의 성능개선 또는 처리 용량 증대의 경우
  - 슬러지 처분이 문제되는 경우
  - 부지가 제한적인 경우
  - 총질소, 총인 처리가 필요한 지역
  - 처리수 재활용이 필요한 지역 (중수도 수질)
- 본 기술의 적용 타당성
  - 최근 강화된 방류수 수질기준을 만족하는 기술
  - 막의 효율적인 운영을 통해 유지관리비용 절감한 기술
  - 안정된 수질을 확보하여 하수처리수의 재활용이 용이한 기술
  - 분리막을 이용한 잉여슬러지 농축으로 농축슬러지의 인방출을 억제하고 슬러지 저류 및 이송성을 개선한 기술



㈜한화건설

SAEHAN (주) 새한

