

# 고도처리시설운전

능력단위 요소2  
막 분리 공정 운전하기



강원도립대학 소방환경방재과  
교수 환 동 준



## 교육 내용

(능력단위요소)

1. 질소, 인 처리공정 운전하기
2. 막분리 공정 운전하기
3. AOP 처리공정 운전하기
4. 재이용 설비 운전하기

## 2. 막분리 공정 운전하기

### 수행준거

- 2.1 막 분리 공정을 이해하고 운전 매뉴얼을 활용하여 운전기준을 설정할 수 있다.
- 2.2 막의 성능검사를 통하여 막의 손상 및 상태를 파악하고 손상된 모듈을 수리 및 교체할 수 있다.
- 2.3 막 오염 방지 및 성능 유지를 위한 역세 및 세정을 수행할 수 있다.
- 2.4 막 오염의 원인을 파악하여 이를 제어하는 방안을 마련할 수 있다.
- 2.5 유지관리 및 운영 매뉴얼을 작성하여 유지관리 계획을 수립할 수 있다.
- 2.6 유입수 변동 및 수질 이상 감지 시 대책을 수립할 수 있다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 (수행준거 2.1)

필요지식

### 1. 막 분리 공정 개요

- ✓ 막 여과 공정은 막을 이용하여 기상 또는 액상의 혼합물을 막 양면의 농도차, 압력차, 전위차 등에 의하여 분리, 농축, 정제하는 공정을 말하는 것으로,
- ✓ 막 여과에서는 유체의 성상 변화를 수반하지 않는 특정 물질만의 분리 기능을 이용하여 막 소재의 물리·화학적 기능에 의해 미세 구조에 의한 크기별 분리, 화학적 친화성, 이온성의 차이에 따라 분리한다.

### 2. 막 결합 생물학적 공정(MBR: membrane bioreactor)

- ✓ 활성슬러지 공정과 분리막 기술의 장점을 결합하여 기존 활성슬러지 공정의 단점을 해결하고자 중력 침전에 의한 고액분리를 막 분리로 대신하는 연구가 진행되어 왔는데,
- ✓ 이 방식들을 “활성슬러지 막분리 공정” 또는 “막 결합형 활성슬러지 공정” 이라 함.
- ✓ 하.폐수 처리를 위한 MBR 공정에서는 정밀 여과막을 사용하여 막 간 압력차를 주진력으로 이용하고 있다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 (수행준거 2.1)

필요지식

### 3. 막 결합 생물학적 공정과 A<sup>2</sup>/O 공정 비교

[MBR 공정과 A<sup>2</sup>/O 공정 비교]

구분	MBR(membrane bioreactor)	A <sup>2</sup> /O
생물학적 분해	· 미생물에 의한 유기물 제거 · MLSS 8000~28000 mg/L이나 고농도 운전 시 FSS 증가로 한계가 있음	· 미생물에 의한 유기물 제거 · MLSS 5,000mg/L 내외
고액 분리 (SS 제거)	· 막 분리에 의한 완벽한 고액 분리 · 실용적인 처리수 SS: ~3mg/L	· 표면적이 큰 침전지를 이용한 고액 분리 · 실용적인 처리수 SS≤15mg/L
질소·인 제거	· 기존 탈질, 탈인 BNR 기술 적용 · NO <sub>3</sub> -N은 분리막 통과 · 효율적인 N, P 제거 기술 개발 필요	· BNR 공정 적용
소독 공정	· 고도 막 분리 시 대장균 99.9% 제거	· 소독 공정 적용 필요

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 (수행준거 2.1)

필요지식

[MBR 공정과 A<sup>2</sup>/O 공정 비교] (계속)

구분	MBR(membrane bioreactor)	A <sup>2</sup> /O
비용	· 시설비, 운전비(고에너지 사용) 과다	· 상대적으로 저렴 · 토지 비용이 높음.
운전	· 상대적으로 매우 간편	· 침전지로 인하여 상대적으로 어려움.
자동화	· 전 자동화 가능	· 자동화 가능
유지 관리	· 분리막 수명에 따라 좌우됨. · 분리막의 재질에 따라 관리 정도가 정해짐.	· 일반적인 유지 관리
설계 및 기타	· 막 기술의 향상으로 설치된 막의 교환 시 문 제점 · 막의 표준화 어려움(막 제조 기술의 다양성 및 특성에 기인)	· 표준적인 설계

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

필요지식

### 4. 막의 종류 및 특징

막의 종류 및 특징은 사용 막과 여과법 등에 따라 구분될 수 있다.

사용 막	여과법	분리경	제거 가능 물질
정밀 여과막 (MF)	정밀 여과법	공정 공정 0.01 μm 이상	부유 물질, 콜로이드, 세균, 조류, 바이러스, 크립토퓌리디움 포낭, 지아디아 포낭 등
한외 여과막 (UF)	한외 여과법	분획 분자량 100,000Dalton 이하	부유 물질, 콜로이드, 세균, 조류, 바이러스, 크립토퓌리디움 포낭, 지아디아 포낭, 부식산 등
나노 여과막 (NF)	나노 여과법	염화나트륨 제거율 5~93% 미만	유기물, 농약, 맛·냄새 물질, 합성세제, 칼슘 이온, 마그네슘 이온, 황산 이온, 질산성 질소 등
역삼투막 (RO)	역삼투법	염화나트륨 제거율 93% 이상	금속 이온, 염소 이온 등
해수 담수화 역삼투막 (해수 담수화 RO)	역삼투법	염화나트륨 제거율 99% 이상	해수 중의 염분

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

필요지식

구분	항목	내용
1. 일반 사항	시설 일반 특징, 공정의 수량 수치, 원수, 막 공급수 및 여과수의 수질, 계절 설계 및 운전 계획	공정의 공정도, 공정의 조립도, 공정의 배치도, 공정의 상세도, 배관의 상세도 등의 관련 도면
	설계 도서	용량 계산서, 설비의 목록 및 규격 등의 설계 자료
	각 설비의 취급 설명서	운전 제어 절차: 시스템 기동 및 정지 절차(자동 및 수동 제어), 회전 기기(펌프, 공기원 설비 등) 및 밸브 작동 구성, 제어 패널 작동 방법
3. 공정 운전	공정 운전	운전 조건: 처리 수량, 회수율 등
	막물 세척	막물 세척 방법: 세척 기준 및 예상 세척 빈도, 약품의 종류, 약품 농도 및 세척 시간, 약품 주입 위치 및 주입 절차, 세척 약품 제거 절차 및 세척수 사용량 등
4. 막물 세척	막물 세척	막물 세척 감시 방법 및 효율 측정 방법
	막물 세척 시 계절 운전 방법(장지 시간, 정수 처리량 확보 방안)	막물 세척 시 계절 운전 방법(장지 시간, 정수 처리량 확보 방안)
5. 배출수 처리	막 여과 농축수의 수량, 수질, 처리 방법	막물 세척 배출수의 수량, 수질, 처리 방법
	감시 항목, 측정 방법 및 장비, 측정 시기 및 빈도, 교정 방법 및 교정 주기, 항목별 계산 방법	시료 채수 방법: 시료의 채수 위치, 채수 절차, 보관 등
4. 운전 관리	1. 시설 감시	자료의 기록, 관리, 보관 방법
	2. 비상시 대책	설비 및 시설의 고장, 장치 이상 작동, 수질 불량 등의 경우에 대한 대응 방안

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

- (5) **공정 공경(公稱孔徑, Nominal pore size)**: 정밀 여과막의 공경을 직접 측정하는 것이 곤란하여 비벌 포인트법, 수은 압입법, 지표균 등을 이용한 간접법으로 분리 성능을 마이크로 미터(μm) 단위로 나타낸 것을 말한다.
- (6) **분획 분자량(Molecular weight cutoff)**: 한외 여과막의 공경을 직접 측정하는 것이 곤란하여 간접적으로 측정하고, 분리 성능을 분자량의 단위인 달톤(Dalton)으로 나타내는 지표로, 분자량을 알고 있는 물질의 배제율이 90%가 되는 분자량을 말한다.
- (7) **배출수**: 물, 공기, 약품 등을 이용하여 막의 표면에 부착된 오염 물질을 제거할 때 발생하는 세척수 또는 세척수가 포함된 농축수가 막 모듈 밖으로 배출된 것.
- (8) **농축수**: 막 공급 원수가 막을 통과하지 않고 농축된 것을 말한다.
- (9) **공정수**: 정수 시설을 구성하는 공정에서 소독 공정을 제외하고 각 단위 공정의 처리수를 말한다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

필요지식

### 5. 막 분리 공정 운전 매뉴얼

막 분리 공정 운전 매뉴얼은 안전, 막 모듈, 공정 운전, 운전 관리로 구분.

[막 분리 공정 운전 매뉴얼]

구분	항목	내용
1. 안전	1. 안전지침	안전 표시의 정의, 모듈, 장비, 약품 취급 시 주의 사항
	1. 분리막 종류	UF/MF, 탁도 및 제거 대상 물질 제거율, 막 여과 면적(단위 모듈 면적), 모듈의 외형 크기 및 도면 수은, pH 범위(여과 시, 약품 세척 시), 사용 가능 약품의 종류, 농도 범위(연속/비연속), 내약품성, 운전 압력 범위(여과, 역세척)
2. 막 모듈	3. 취급 방법	모듈의 운반, 보관, 설치, 분리, 폐기 등에 요구되는 취급 절차 및 주의 사항
	4. 교체 주기	막 제조 업체의 보증 수명, 교체에 필요한 성능 기준(막 여과 유속, 세척 회복 정도 등)

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

### 1. 막 여과 공정에 사용되는 용어의 정의를 파악한다.

- (1) **막 모듈**: 일정 개수의 막을 일정 형태의 용기(容器) 안에 설치하여 일체화하거나 용기 안에 설치하지 않고 일정 개수의 막을 묶음 형태로 일체화하여 여과 기능을 수행할 수 있도록 만든 것을 말한다.  
수처리에서 사용되는 막 모듈은 정밀 여과 막 모듈, 한외 여과 막 모듈, 나노 여과 막 모듈, 역삼투 막 모듈, 해수 담수화 역삼투 막 모듈 등이 있다.
- (2) **계열**: 수도용 막 모듈과 여과수를 생산하는 펌프로 이루어져 독립된 여과 기능을 나타내는 것을 말한다.
- (3) **막 여과 공정**: 원수 공급, 펌프, 막 모듈, 세척, 배관 및 제어 설비 등으로 구성된 일련의 정수 처리 과정으로, 수도에 사용되는 정밀 여과 공정, 한외 여과 공정, 나노 여과 공정, 역삼투 공정 및 해수 담수화 역삼투 공정을 말한다.
- (4) **막 여과 회수율**: 막 여과 공정의 막 공급 원수량에 대하여 여과 수량 중에서 막 모듈의 세척에 사용되는 여과 수량을 제외하여 백분율(%)로 나타낸 값을 말한다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

### 2. 적용 막의 특성을 파악한다.

- (1) 막 여과법의 종류: 정밀 여과법과 한외 여과법을 구별한다.
- (2) 막 모듈의 성능 증명: 사용 예정 막 모듈의 국내 인증 증명서 등을 확인한다.
- (3) 막의 재질: 막, 부재료 등 모듈의 재질 및 물리, 화학적 특성 등을 파악한다.
- (4) 막 모듈의 형식: 중공사 등의 막 형식 구분 및 케이싱형 등의 구조 등에 대하여 파악한다.
- (5) 막의 공정 공경 또는 분획 분자량: 마이크로 미터(μm) 단위 또는 달톤 단위로 표시
- (6) 막 여과 유속: 운전 기간 중의 m<sup>3</sup>(막 여과 수량)/m<sup>2</sup>(막 여과 면적) · day로 확인.
- (7) 막 모듈 1분당 막 면적: m<sup>2</sup> 단위로 확인한다.
- (8) 회수율: 실험 기간 동안의 회수율을 확인한다.
- (9) 막 손상 대책: 직접 알칼성 시험의 조건, 정지 사양, 막 여과수의 탁도 관리 등에 의한 막손상 예측 방법과 수리 등의 대책을 파악한다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

### 3. 목표 수질을 파악한다.

- (1) 정수 처리 목표 수질을 사전 검토한다.

[정수 처리 목표 수질 기준]

항목	현재 국내의 수질 기준
탁도	< 0.1NTU
<i>Cryptosporidium</i>	> 2 log
<i>Giardia</i>	> 3 log
바이러스	> 4 log
소독 부산물	TTHM<80mg/L, HAA<60mg/L
맛, 냄새	무미, 무취
철	<0.3mg/L
망간	<0.05mg/L
SOC	-

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

- (2) MBR 공정의 목표 수질을 검토한다.

[MBR 공정 목표 수질]

Parameter	Units	Values
BOD5	mg/L	<5
TSS	mg/L	<1
Ammonia	mg/L as N	<1
Total Nitrogen(with pre anoxic zone)	mg/L	<10
Total Nitrogen(with pre/post anoxic zone)	mg/L	<3
Total phosphorus(with chemical addition)	mg/L	<0.2(typical), <0.05(achievable)
Total phosphorus(with Bio-P removal)	mg/L	<0.5
Turbidity	NTU	<0.2
Bacteria	log removal	Up to 6log(99.9999%)
Viruses	log removal	Up to 3log(99.9%)

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

### 4. 운전 제어 방식을 파악한다.

- 여과 방식 및 통수 방식: 십자 흐름 여과 방식(cross flow filtration), 전량 여과 방식 등의 여과 방식(십자 흐름 여과 방식의 경우에는 막면 유속도 확인)과 내압식 및 외압식 등의 통수 방식을 파악한다.
- 구동 방식: 펌프 등에 의한 기압 또는 흡입 방식을 확인한다.
- 막 간 자압: 실험 기간 동안 막 간 운전 자압(kPa), 보정 자압(25°C, 100kPa) 및 허용 자압 범위를 확인한다.
- 운전 제어 방식: 정압, 정유량의 구별을 하고, 유량 설정 방식을 확인한다.
- 자동 운전 방법: 자동 운전 기능을 확인한다. 이상 시 등 고장 대응의 자동화 채택 여부를 확인한다.

### 5. 물리 세척 방식을 확인한다.

- 세척 방식: 세척 방법을 확인한다.
- 세척 빈도: 세척 빈도, 세척 시간, 세척 압력, 역세 여과 유속을 확인함과 동시에 세척수의약품 주입이 있으면, 주입량 등에 대해서도 확인한다.
- 조 점지 방식에 대해서는 세척 배출수 등의 배출 방법을 확인한다.

## 2.1 막분리공정 메커니즘 및 운전방식 파악 [수행준거 2.1]

수행내용

### 6. 약품 세척 방식을 확인한다.

- 세척 방식: 현장 또는 공장 세척 등의 구별을 하고, 현장 세척의 경우에는 처리 공정을 확인함과 동시에 약액 라인과 정수 라인의 차단 방법을 파악한다.
- 세척 빈도: 운전 기간 중의 세척 빈도를 확인한다.
- 사용 약품과 약액의 양 및 농도: 약품의 종류, 양, 농도 등에 대하여 확인한다.
- 세척 절차 및 세척 후의 기동 순서: 세척 절차, 세척 효과 등의 확인 방법에 대하여 확인한다.

### 7. 배출수 처리 방식을 확인한다.

- 물리 세척 배출수 등의 수량, 농도 및 처리·처분 방법: 배출수 처리 규제 항목에 해당하는 경우에는 처리 방법을 확인한다.
- 약품 세척 폐액의 역량, 농도와 처리 및 처분 방법 등을 확인한다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

필요자식

### 1. 완결성 시험

#### (1) 막 완결성

- 막 여과 시설에서 중요한 점은 막 공급수와 막 여과수가 막에 의해 완전히 분리되는 것, 즉 막 완결성의 확보이다.
- 따라서 막 완결성을 상시 감시하여 막 손상 등 사고에 대한 대책을 강구하는 것이 수도용 막 여과 시설에서의 중요 과제이다.
- 대규모 막 여과 시설에 있어 막 모듈의 대형화 및 다량화가 예상됨에 따라 막 하나의 손상을 감지하기 어려울 것으로 생각된다. 또한, 원수 수질이나 처리 시스템에 따라 막 공급수의 수질이 다양해지므로 막 손상 시의 리스크 또한 다르게 된다.
- 감시 방법의 검출 한계를 충분히 고려하여 막의 파손 모듈에 대하여 적절한 조치를 취할 필요가 있다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

필요자식

#### (2) 완결성 시험의 종류

- 막 손상 유무를 측정하는 완결성 시험은 막 모듈의 종류, 형상, 재질 등의 차이에 따라 여러 가지 방법이 있다. 대표적인 감시 방법에는 직접 완결성 시험법과 간접 완결성 시험법이 있다.
- 직접 완결성 시험법은 막 손상 유무를 직접 측정하는 방법에는 압력 강하 시험, 확산 공기량 시험, 버블 포인트 시험, 진동음 감지법 등이 있다. 이 방법은 막의 한쪽 편 원수 측 또는 처리수 측에 기압 공기를 공급해 막의 손상 부위로부터 공기가 새고 있는지를 측정하는 것이다. 막 손상의 유무를 확실히 측정할 수 있는 방법으로서 널리 이용되고 있지만, 시험을 위하여 시스템을 일정 기간 정지시켜야 한다는 단점이 있다.
- 간접 완결성 시험법은 막 손상 유무를 막 여과수 처리수의 수질 이상을 통해 간접적으로 측정하는 방법으로, 미림자 수 또는 탁도를 연속적으로 감시 측정하는 방법 등이 있다. 간접법은 온라인에 의해 연속 감시가 가능하지만, 직접 완결성 시험법에 비해 감도가 낮다. 감지하는 수질 항목으로는 탁도, 미림자 수, 미생물 등의 방법이 있다.
- 이상과 같이 직접법과 간접법은 각각 장단점이 있기 때문에 양자를 병용하여 각각의 장점을 살린 시스템을 설계할 수 있다. 많은 플랜트에서 간접법에 따라 온라인으로의 감시와 정기적 이상 발생 시에 직접법에 의해 오프라인으로 막 여과 시스템의 건전성을 시행하는 방법을 조합해 채용하고 있다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

수행내용

### 1. 막 손상의 감지한다.

- ✓ 막 오염을 저감시키기 위한 정기적인 물리적 세척이나 주기적인 약품 세척이 막 손상을 일으켜 처리 수질이 악화될 수 있으므로, 관도가 높은 탁도계나 입자 계측기로 연속적인 수질 관리나 주기적인 압력 강하 시험 등을 통하여 막의 파단 및 손상 등을 감지하여야 한다.
- ✓ 막 손상 이외에 막 여과 설비의 원결성은 장치 접속부나 유지부 등의 수밀성이 상실되거나 손상된 경우에도 훼손될 수 있다. 이들 결함의 원인은 공장에서의 제작 단계나 설치 단계의 초기 고장, 운전 시 예상하지 못한 사고에 의한 우발 고장, 시간이 지날수록 열화되며 생기는 마모 손상 등을 들 수 있다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

수행내용

### 2. 막 손상의 대책을 수립한다.

- 유출수의 탁도는 막 0.2NTU 또는 그보다 작은 값이 된다. 만약, 막의 표면이 손상되었을 경우 첫 번째 증상은 탁도의 증가이다. 어떤 막 모듈의 경우, 막과 연결된 배관이 투명하게 되어 있어 손상된 막을 구분하기 쉬울 수 있다. 하지만 그렇지 않은 경우 손상된 막을 구분하기가 쉽지 않다. 이때 다음과 같은 방법을 사용하면 손상된 막을 구분하거나 손상 부위를 고칠 수 있다.
- (1) 막 모듈의 탁도를 순서대로 분석해 본다.
  - (2) 막 모듈이 운전 중일 경우, 막 모듈에 연결된 밸브를 하나씩 잠그고 탁도를 분석함으로써 손상된 막의 위치를 파악한다. 특정 밸브를 잠갔을 때 탁도가 감소한다면 그 모듈이 손상된 모듈이다.
  - (3) 막의 종류와 사양에 맞게 해당 막 모듈을 분리한다.
  - (4) 평막인 경우, 해당 막 제조사에 문의한다.
  - (5) 중공막인 경우 막 모듈을 꺼내어 공기를 주입함으로써 공기가 새어나오는 막 가락을 골라낸다.
  - (6) 해당 막의 제조업체에서 제공한 매뉴얼에 따라 손상된 부위를 막는다.
  - (7) 압력을 다시 낸다.
  - (8) 막 모듈을 재설치하고 다시 운전을 가동한다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

수행내용

### 3. 막 손상 시 조치 절차에 따라 행동한다.

- (1) 해당 계열 중 계열 장치 및 나머지 계열로 백스키운전한다.
- (2) 막 손상이 감지된 계열의 유닛별로 PDT(pressure decay test, 원결성 시험)실시.
- (3) 투명 유리관으로 파단 막을 확인한다.
- (4) air bubbling test를 실시하여 손상된 막 모듈을 보수한다.
- (5) 보수 완료 여부를 확인한다.

### 4. air bubbling test를 실시한다.

- (1) PDT용 밸브를 통해 공기 압력을 가하면 모듈 상부의 투시창으로 공기 방울 감지.
- (2) 공기 방울 감지 시 막 모듈 상부 덮개를 분리하고, 원수 측에 공기압을 가한다.
- (3) air bubbling test용 덮개를 장착하여 물을 채운 후, 공기 누출 여부를 확인한다.
- (4) 공기 누출 시 누출 부분을 보수한다.

## 2.2 막의 손상 및 상태 확인 [수행준거 2.2]

수행내용

### 5. 파단된 여과막을 보수한다.

- (1) 보수핀을 이용한 중공막 손상 보수한다.
  - ① 모듈 상부를 열어 물을 채운 후 손상된 중공막 부위를 확인한다.
  - ② 손상된 중공막은 망지로 보수핀을 막아 차단한다.
- (2) 차단여부를 확인한다.
 

leak 유무를 확인하여 만약 누출되는 공기 방울이 있다면 점착제로 보수한다.
- (3) 점착제를 이용하여 중공막 손상을 보수한다.
  - ① 물을 뒤어낸 후 해당 부위를 건조시킨다(손가락이 젖지 않을 정도).  
(모듈 내 건조를 막기 위해 Air 공급 등은 반드시 정지시켜야 한다.)
  - ② 주 점착제와 경화제를 튜브에서 각각 2cm 정도로 뽑낸 후, 균일하게 될 때까지 이쑤시개로 잘 섞어 준다(경화되므로 신속히 작업해야 한다, 약 1분 정도).
  - ③ 보수 부위에 조제된 점착제를 바르고, 보수할 fiber를 중심으로 5~10분을 감싸듯이 바른다(과도하면 막 면적이 줄어들므로 넓게 바르지 말 것).
  - ④ 이쑤시개를 이용해 실의 구멍에 밀어 넣듯이 바른다.(전체 두께가 2mm 정도)

## 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

필요자식

### 1. 막 여과 성능의 저하 원인

- ✓ 막 여과는 **변질 및 손상**에 의해 비가역적으로 막의 성능이 저해된다.
- ✓ 또한, 여과의 진행에 따라 막 표면에 **용질이 농축**되어 막 공극수 중의 농도보다 높게 되어 **여과 저항이 증가**한다.
- ✓ 또한, 원수 중에 존재하는 용해 물질이나 현탁 물질이 **막 표면에 생성되는 케이크층, 콜로이드 중 등의 부차층 형성**에 의하여 여과 저항이 생기거나 세공으로 인한 흡착 및 석출에 의한 막힘이 생길 수 있다.

### 2. 막 오염의 정의 및 분류

- ✓ **막 오염이란**, 처리 대상수의 어떤 성분에 의해 막이 막히거나 코팅되는 현상을 의미한다. 막 오염이 발생하면 운전 압력 투과 수량 등이 감소하고, 막 자체 손상까지 가져와 문제가 발생한다.

## 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

필요자식



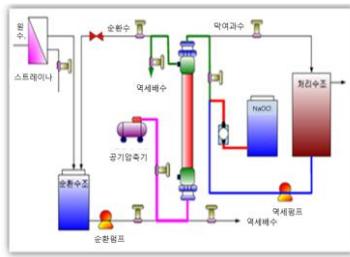


### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 2) 에어 스크래빙 + 역세

스크래빙은 막 모듈에 공기를 불어넣어 막을 수중에서 요동시킴으로써 막 표면에 부착된 현탁 물질 등을 제거한다. 스크래빙은 비교적 큰 부직물의 제거에는 용이하지만, 미세한 부직물의 제거는 불안전하므로 역세와 병용하여 사용한다.



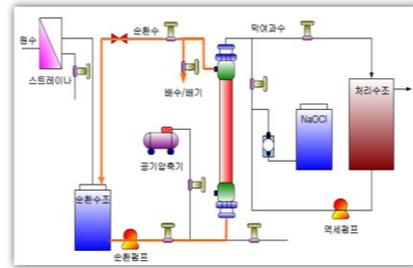
[에어 스크래빙+역세 (막 여과 공정 운전 조건)]

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 3) 플러싱

플러싱은 막의 1차 측에 물을 가하여 막 면에 따른 흐름에 의해 오염 물질을 유출시키는 방법을 말한다.



[플러싱 (막 여과 공정 운전 조건)]

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 4) 포기(MBR 공정)

막 분리조의 하단에서 나오는 공기는 수류의 흐름으로 인해 전단력을 발생시켜 막 표면에 붙은 협집물을 떨어뜨리는 역할을 한다. 만약 이러한 포기가 중단되면 TMP (transmembrane pressure, 막 간 압력차)가 급속히 증가하며, 정상 운영을 위해서는 세정이 반드시 필요하게 된다.

#### 5) 휴지기

- 휴지기는 폭임을 방지하고 막 외부의 공기에 의한 전단력에 의해 막 표면의 협집물이 제거되는 것을 말한다.
- 일반적으로 막 제조사에 따라 다르지만 10~15분 운전 후 30초에서 1분간 휴지기를 갖는다. 이러한 휴지기를 통해 TMP가 감소하고 다음 운전 주기에서 저리수를 안정적으로 생산해낼 수 있는 것이다
- 이러한 휴지기를 통해서도 TMP가 감소하지 않는 경우, 다른 세정 방법, 예를 들어 공기나 물 역세 또는 화학 세정을 하여야 한다.

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 4. 화학 세정의 방식 및 사용되는 약품의 특성을 파악한다.

##### 1) 화학 세정 방식의 종류별 원리

구분	원리
On-line 방식	막 모듈을 분리하지 않고, 밸브의 변환만으로 막 모듈 내에 약액을 순환시키거나, 약액에 침적시키는 방식
Off-line 방식	막 여과 설비로부터 막 모듈을 별도로 분리시켜 세정하는 방식
린스	화학 세정의 최후에 수 세정을 하여 시스템 내부에 남아 있는 약품을 제거하는 방식(린스의 pH로 확인 가능)



[막 여과 공정의 화학 세정]

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 2) 화학 세정 약품의 종류 및 제거 대상

화학 세정은 약품의 산화력을 이용하여 오염 물질을 화학적으로 분해하여 제거(6개월~1년 주기로 실시)하는 것을 말한다.

[화학 세정 약품 종류 및 제거대상]

구분	약품 종류	제거 대상
산화제	차이염소산나트륨 과산화 수소	미생물 분비물 등 산화 가능한 유기물 제거와 세균의 살균
알칼리 세정제	KOH, NaOH	단백질, 미생물 부산물 등의 유기물 제거
산성 세정제	유기산(수산화 구연산), 무기산(황산, 염산)	금속염 등 무기 침전을 제거
킬레이트제	EDTA	EDTA는 2가 양이온과의 결합으로 2가 양이온(Ca <sup>2+</sup> )과 결합하는 NOM 제거
효소제	프로티아제, 리파아제	Biofouling
계면활성제	알칼리성, 계면활성제	막 표면의 겔층, 단백질층 등 유기물 제거
산성 계면활성제	산성 계면활성제	무기물 제거

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 5. 약품 세정에 영향을 미치는 요소를 파악한다.

- 세정 용액의 pH에 대한 영향을 파악한다.  
EDTA 같은 경우, 높은 pH에서는 완전히 용해되지만, 낮은 pH에서는 효율이 저하된다.
- 세정 용액의 이온화 강도에 대한 영향을 파악한다.  
citric acid, SDS 계면활성제는 전수성 유기물에 의한 오염에는 효율이 낮다.
- 세정 용액의 농도에 대한 영향을 파악한다.  
약품의 농도가 높을수록 세정 효율이 높다.
- 세정 용액의 잔류 유속에 대한 영향을 파악한다.  
잔류 유속이 빠를수록 세정 효율이 좋다.
- 세정 용액의 온도에 대한 영향을 파악한다.  
화학적으로는 온도가 높을수록 세정 효율이 좋다(대부분 막 제조사가 45°C 이하 계시)
- 세정 용액의 압력에 대한 영향을 파악한다.  
세정 시 압력은 오염원의 부착을 고려하여 최소한의 압력으로 운전한다.

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### 6. 약품 세정 절차를 파악한다.

- 1) 회복 세정을 위한 약품을 선정하고 알맞은 농도로 제조한다. 회석을 위해 수돗물이나 저리수를 사용하고, 경우에 따라서는 세정 용액을 가열할 수도 있다.
- 2) 여과를 중지한다. 펌프를 끄고, 여과 밸브를 닫는다. 시스템의 형태에 따라 분리막 탱크를 비우는 경우도 있다.
- 3) 분리막 표면에 부착된 고형물 탈리를 위해 15-60분간 포기(aeration)을 지속한다.
- 4) 약품이 용해된 세정 탱크에 분리막을 잠지하여 세정을 실시한다.
- 5) 제조사의 지시에 맞춰 6-24시간을 잠지시킨다.
- 6) 사용한 약품은 제조사의 지시에 따라 알맞게 폐기한다. 이때 세정 용액을 중화시켜 생물 반응조로 투입하기도 하는데, 미생물에 영향이 없도록 주의한다.

### 2.3 막 오염 원인 파악 및 제어 [수행준거 2.3, 2.4]

수행내용

#### [막 오염별 약품 농도 및 세정 시간]

suspected fouling material	recommended cleaning chemical	alternate cleaning chemical	cleaning solution concentration	cleaning duration
organic	sodium hypochlorite (bleach) 주3)	hydrogen peroxide	500-5,000mg/l	6-24h
aluminum oxide 주1)	oxalic acid	citric acid	1,000-10,000mg/l	6-24h
ferric oxide	oxalic acid 주4)	citric acid	1,000-10,000mg/l	6-24h
calcium carbonate 주2)	hydrochloric acid	citric acid	1,000-10,000mg/l	6-24h

주1) alum과 ferric chloride 같은 일반적인 응집제의 존재 시에 형성

주2) 경수(hard wastewater)의 존재 시에 스케일링(scaling) 형성

주3) bleach의 농도는 시스템에 영향을 미칠 수 있다. MLS 농도 10,000mg/L 이하에서 세정 용액을 맞추도록 한다.

주4) calcium oxalate의 형성을 막기 위해 경수의 존재 시에 사용을 피한다.