

수오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

오수처리를 위한 MBR 공정 특징 소개

▶ Summary

(주요내용) 중국은 급격한 도시화로 인해 오수처리 문제가 시급한 상황이다. 이에 다양한 기술을 적용하여 오수처리 효율을 높이고 있다. 그중 여러 기술 중 MBR 공정에 대한 활용도가 높다. 이는 원가가 저렴하고 우수한 유출수 수질 개선 등 장점으로 인해 지속적으로 개발되고 있는 상황이다. MBR 공정은 생물반응기라고도 불리며, 이는 막분리 장치를 생물처리 장치와 유기적으로 결합한 것이다. 또한 동 공정은 오수처리 규모에 상관없이 모든 오수처리장에 적용이 가능하기 때문에 응용범위가 넓다. 따라서 본 기술동향은 수처리 기술 하나인 MBR 공정원리, 특징 등을 살펴보고자 한다.

▶ This Week's Tech-issues China

MBR 공정원리 및 특징

1) 공정원리

막생물반응기(Membrane Biore-actor)는 막분리 기술과 활성 슬러지법을 결합한 공법이다. MBR 공정은 기존 활성 슬러지법과 달리 침전조를 이용한 고액(固液) 분리가 필요 없다. 이는 중공(가운데가 비어 있는 형태) 섬유막으로 침전조를 대신할 수 있기 때문에 고액분리 능력이 우수하다.

2) 공정방법 [p.2, 그림 1 참고]

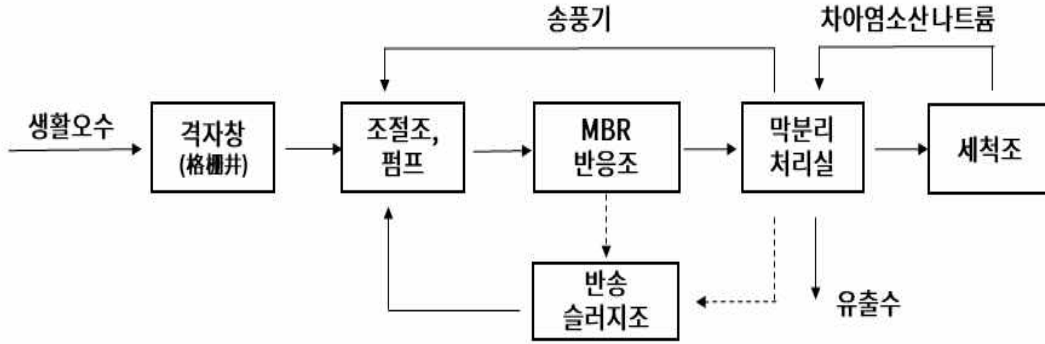
오수는 조절조로 유입된 후, 펌프를 통해 생물반응조로 들어간다. 그 후, PLC(Power Line Communication) 제어기를 통해 송풍기를 작동시켜, 산소충전 작업을 진행한다.

생물반응조에서 배출되는 유출수는 순환펌프를 거쳐 막분리 처리실에서 조절조로 반송된다. 펌프 작동은 생물반응조 내 오수 수위에 따라 제어되며, 막의 필터 조작 및 세척 작업은 수동과 자동 두 가지 방식이 있다.

세척작업 중 화학적 세척을 진행할 경우, 오수 순환밸브·유입밸브는 반드시 닫아야 하며, 반대로 약품 순환펌프·세정밸브를 열어 화학적 세척을 진행해야 한다.

MBR 공정은 막을 통해 생물반응조의 대분자 유기물 및 활성 슬러지를 걸러 내고 있기 때문에 초기 침전 또는 2차 침전 없이 고액분리가 가능하다.

<그림 1. MBR 공정도>



자료 : 중국오수처리공정망 자료 KEITI 중국사무소 재구성

3) MBR 공정의 막 종류

다양한 산업에서 적용되고 있는 MBR 공정의 막은 일반적으로 정밀여과막(MF), 나노여과막(NF), 한외여과막(UF), 역삼투막(RO) 등으로 분류되며, 그 특징은 다음과 같다.

<표 1. MBR 공정의 막 종류>

구분	분획분자량(Dalton) ¹⁾	주요 특징
정밀여과막 (MF)	>100,000	<ul style="list-style-type: none"> 공경 0.1~10μm 크기의 고체 미립자와 미세 세균을 걸러냄 타 막기술 대비 오염물질 제거 효과 비교적 높고 응용범위 또한 광범위함
한외여과막 (UF)	10,000~100,000	<ul style="list-style-type: none"> 공경 0.002~0.1μm이며, 오수처리 효과가 높음 타 막기술 대비 고체 불순물 분리시켜 세균, 조류 미생물을 효과적으로 소멸시키고 산화제로 성장속도를 제어 가능함
나노여과막 (NF)	100~1,000	<ul style="list-style-type: none"> 공경 0.001~0.002μm이며, 한외여과막과 역삼투막의 단점 보완 분리성이 좋고 작동압력이 낮아 화학공업폐수를 자원화 처리 가능하며, 처리후 재이용이 가능
역삼투막 (RO)	>100	<ul style="list-style-type: none"> 공경 0.0004~0.0006μm이며, 주로 선택적 삼투방식 적용 막분리 과정은 삼투, 역삼투, 삼투평형 3단계로 진행

자료 : 중국오수처리공정망 자료 KEITI 중국사무소 재구성

▶ MBR 공정 주요특징

1) 높은 분리효율(分离效率相对高)

MBR 공정은 사용과정에서 별도의 침전조나 여과조가 필요 없어 공간적인 면적을 줄일 수 있을 뿐 아니라 오염방지 효과도 우수하다. 또한 MLSS²⁾ 농도가 비교적 높기 때문에 시스템의 용적 효율과 부하능력을 향상시킬 수 있다. 이로 인해 오수 속의 유기물질 처리효과를 높일 수 있다.

1) 분획분자량(MWCO, molecular weight cutoff) : 여과막이 가지고 있는 물질의 여과성능을 나타내는 지숫값으로 단위는 달톤(Dalton)이다. 여과막 내의 세밀한 구멍의 크기를 직접 측정하기 어렵기 때문에 전문적인 장비를 이용하여 측정한 다음, 이를 분자량의 크기로 나타낸다. 그러나 시험 조건에 의해서 측정값이 변할 수 있기 때문에 여과막의 절대적인 성능을 나타내는 것은 아니다. / 출처 : 네이버 국어사전 발췌(2021.4.5.검색)

2) MLSS(mixed liquor suspended solid) : 활성슬러지법에서 폭기조내 혼합액의 평균 부유물 농도(mg/l)를 말한다. 양호한 슬러지 처리를 위해서는 MLSS를 적절한 범위로 조절할 필요가 있다. 표준 방식은 2,000~3,000mg/l로 조작된다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.4.6.검색)

2) 높은 활성슬러지 농도(活性污泥浓度高)

MBR 공정은 생물반응기에서 오수의 체류시간을 일정하게 제어하기 때문에 생물반응 효과도 좋을 뿐 아니라 MLSS도 높게 나타난다. 이로 인해 활성슬러지의 농도 또한 비교적 높다. 오수 처리 과정에서 생물반응의 효율뿐 아니라 MLSS의 질량·농도 또한 높이기 때문에 시스템의 유기물질 처리를 가속화할 수 있다. 아울러 안정적인 유출수의 수질을 보장하고, 오수 중 부유물 함량이 낮기 때문에 2차 오염을 피할 수 있다.

3) 미생물·오수 분리효과(将微生物与废水进行有效分离)

오수와 활성슬러지를 분리시켜 배출하며, 이때 미생물은 반응기 외부로 격리된 상태로 운반된다. 따라서 오수와 미생물을 분리해 수자원의 재이용 효과를 향상시킬 수 있다.

4) 슬러지 생성량 감소(减少污泥产生量)

슬러지를 반응기 안에서 효과적으로 차단하여 오수와 격리시키기 때문에 배출량이 많지 않다. 하지만 슬러지 제로배출 목표를 달성하기엔 쉽지 않지만 MBR 공정을 이용하여 시스템의 부하·반응기 내 유기물질·슬러지 배출량 등을 감소시킬 수 있다.

<표 2. MBR 공정 주요특징>

구분	주요 특징
높은 분리효율	<ul style="list-style-type: none"> • 별도의 침전조나 여과조가 필요 없어 공간적 면적을 감소시킬 수 있음 • MLSS 질량 농도가 높아 시스템의 용적효율과 부하능력을 높여 오수에 있는 유기물질 처리효과를 향상시킴
높은 활성슬러지 농도	<ul style="list-style-type: none"> • 생물반응 효율뿐 아니라 유기물 처리도 가속화시킬 수 있음 • 유출수의 수질을 보장하며 오수 중의 부유물 함량 감소로 2차 오염을 피할 수 있음
미생물·오수분리 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 오수와 활성슬러지를 분리시켜 배출하며, 이때 미생물은 외부로 운송됨 • 오수와 미생물을 분리해 수자원의 재이용 효과를 향상시킴
슬러지 생성량 감소	<ul style="list-style-type: none"> • 반응기에서 오수와 미생물을 분리시키기 때문에 배출량이 많지 않음

자료 : 중국오수처리공정망 자료 KEITI 중국사무소 재구성

5) 단점

이처럼 MBR 공정은 수처리 분야에서 다양한 장점을 가지고 있지만 단점도 분명히 존재한다.

우선 생물막의 구성 성분은 주로 유기물질이다. MBR 공정을 이용하여 오수를 처리할 때, 일반적으로 삼투(渗透) 작용을 통해 불순물을 흡수하여 걸러낸다.

하지만 오수 중에 있는 일부 물질의 분자가 비교적 작아 오수를 여과시킬 때, 이러한 분자가 작은 물질이 삼투현상을 방해하게 된다. 이로 인해 오수처리 시간이 증가되며, 이는 운영비용 상승으로 이어진다. 또한 생물막의 처리효과를 감소시켜 유출수의 수질이 불안정하게 된다.

따라서 입자가 작은 물질이 삼투작용을 방해하여 발생하는 문제인 막의 구멍이 막히는 현상을 방지하기 위해서는 산(酸)이나 산화제를 통해 세척한 후 여과효율을 높이도록 해야 한다.

▶ MBR 공정 응용방식

1) 폭기생물여과조(曝气生物滤池)

많은 연구결과에 따르면, 폭기생물여과조를 MBR과 결합할 경우 오수처리 효과를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 폭기생물여과조-MBR을 결합한 기술은 기유 공정을 통해 오염물질 배출농도를 감소시켜 유출수의 수질을 안정적으로 보장한다. 다만 폭기생물여과조의 경우, 비교적 입자가 큰 콜로이드(胶质, colloid)³⁾ 처리에 적합하며, 설비의 부하를 감소시킬 수 있다.

2) 동적상태 내부순환 반응기(动态内循环反应器)

동적상태 내부순환 반응기(内循环反应器)⁴⁾는 기존의 MBR 공정을 개조하여 개발된 새로운 기술이다. 동 기술에서 생물막 형성은 마이크로그리드(微网, microgrid)⁵⁾ 소재를 이용해 오수처리 효과를 보장하는 동시에 원가를 절감할 수 있다. 또한 동적상태 내부순환 반응기와 활성슬러지 공법을 결합하여 필터의 효율을 높이고 오수의 순환처리 효과를 향상시킬 수 있다.

기존의 동적상태 내부순환 반응은 가로 방향 폭기법을 이용하여 오수를 처리하였다. 하지만 이는 순환속도를 감소시키기 때문에 오수처리에 영향을 미치게 된다. 따라서 가로 방향의 폭기법을 세로 방향으로 대체하여 폭기에서 단류(短流)가 발생하는 문제를 개선하였다.

3) 다양한 공정과 결합

오수처리 과정에서 서로 다른 공정과 결합한 형태는 빈번히 적용되고 있다. 특히 주로 MBR과 슬러지 입자 팽창(膨胀颗粒污泥床, Expanded Granular Sludge Blanket Reactor, 이하 'EGSB')⁶⁾ 등을 결합한 공정이 대표적인 방식이다. 우선 'EGSB'를 통해 초기에 발생된 오수를 처리한다. 동시에 유기물질을 흡수·분해하여 오수에 있는 COD를 제거한다. 그 후 MBR 공정을 이용하여 오수에 남아 있는 질소산화물이나 부유물을 제거하여 오염물질을 처리하게 된다.

3) 콜로이드(胶质, colloid) : 미립자가 기체 또는 액체 중에 분산된 상태로 되어 있는 전체이다. 보통의 분자나 이온보다 크고 지름이 1nm~1000nm 정도의 미립자가 기체 또는 액체 중에 분산된 상태를 콜로이드 상태라고, 콜로이드 상태로 되어 있는 전체를 콜로이드라고 한다. 생물체를 구성하고 있는 물질의 대부분이 콜로이드이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.4.6.검색)

4) 내부순환 반응기(内循环反应器) : 무경사도 반응기라고도 한다. 외부순환 반응기와 달리 반응 후 가스 주입을 통해 순환시켜 경사도가 없는 상태로 이르게 하는 것이다. 또한 반응기 안에 고속 기계식 교반기를 설치하여 농도와 온도가 균일하도록 한다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.4.6.검색)

5) 마이크로그리드(微网, microgrid) : 여러 개의 분산형 전원을 이용하여 독립적으로 전기·열과 같은 에너지의 자급자족이 일어날 수 있을 뿐만 아니라, 필요에 따라 기존 전력시스템과 연계할 수 있는 에너지 네트워크이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.4.6.검색)

6) 입자슬러지층(膨胀颗粒污泥床, Expanded Granular Sludge Blanket Reactor, 이하 'EGSB') : 상향류식 혐기성 슬러지 블랭킷법(Uplow Anaerobic Sludge Blanket, 이하 'UASB')반응기를 기반으로 개발된 3세대 혐기성 생물반응기이다. 이는 'USAB'반응기 대비 유입수의 포집 개선을 통해 액체 표면의 유속·메탄가스 등을 혼합, 직경을 비교적 크게 설계, 유출수를 재순환하여 반응기 내 액체의 유속을 높인 특징이 있다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.4.6.검색)

▶ 다양한 수처리 분야에서 MBR 공정 응용

1) 오수처리

수처리 분야에서 MBR 공정이 가장 광범위하게 적용되고 있는 곳이 오수처리이다. 일반적으로 오수처리장에 대한 오수처리 요구는 비교적 높고 설비의 설치 면적이 적기 때문에 이에 MBR 공정을 이용하여 기술요구와 처리효율을 높일 수 있다.

또한 MBR 공정은 생활오수에 있는 암모니아성 질소와 탁도 제거효과도 뛰어나다. 따라서 이러한 처리효율을 보장하기 위해서는 MBR 공정은 필수적이다.

2) 제약폐수 처리

제약폐수는 성분이 복잡하고 유기오염물질 종류가 비교적 많기 때문에 심각한 오염을 초래할 수 있다. 이때 발생하는 오수를 전통적인 방법으로 처리할 경우, 적은 에너지 소모와 설비 부지가 적은 장점이 있지만, 반면에 유출수의 수질을 보장하지 못하는 단점도 있다.

따라서 MBR 기술을 이용하여 제약폐수를 처리하면 효율뿐 아니라 유출수의 수질도 보장할 수 있다. 특히 제약폐수는 기타 오수처리에 비해 오염물질 농도가 높아 처리 난이도가 비교적 어려운 분야에 해당된다. 이로 인해 MBR 공정을 이용하여 제약폐수의 회수이용을 향상시키고 유출수의 수질을 보장할 수 있기 때문에 최근 MBR 공정을 바탕으로 한 지속적인 연구개발을 하고 있는 상황이다.

3) 맥주 제조 후 발생하는 폐수 처리

일반적으로 맥주를 제조한 후 발생하는 폐수는 질소, 인, 유기물질 함량이 비교적 높은 것이 특징이다. 특히 맥주 제조공정에서 발생하는 폐수를 처리할 때에는 반드시 암모니아성 질소를 제거하여 유출수의 수질을 보장해야 한다. 따라서 MBR 기술을 이용하면, 맥주 제조공정 후 발생하는 폐수에 있는 암모니아성 질소와 부유물질(SS)을 동시에 제거하면서 처리효율을 높일 수 있다.

▶ 시사점

MBR 공정은 다양한 장점으로 인해 오수처리 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 뛰어난 장점뿐 아니라 단점도 분명하게 존재하고 있다. 특히 오수처리 과정에서 삼투 작용을 제어할 수 있도록 지속적으로 연구 개발되어야 할 것으로 보입니다. 또한 MBR 공정을 통해 더욱 광범위한 산업에서 적용할 수 있도록 해야 할 것으로 보입니다.

출처 : 북극성수처리망(2021.3.16. 발표), <https://huanbao.bjx.com.cn/news/20210316/1142052.shtml>, 2021.4.6.접속
중국오수처리공정망(2021.3.31. 발표), <https://www.dowater.com/jishu/2021-03-31/1637091.html>, 2021.4.6.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 중문본을 확인하시기 바랍니다.



중국환경산업 주간기술동향

발행

2021년 4월 6일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승 연구원(cms0522@keiti.re.kr)

공동저자

▷ 윤영근 연구원(ygyin0919@keiti.re.kr)

▷ 김종균 연구원(jaykim@keiti.re.kr)

▷ 임승택 연구원(stlim@keiti.re.kr)

▷ 성소묘 연구원(miao2013@keiti.re.kr)

국민과 함께
미래를 여는
글로벌 환경전문기관

중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8