

멤브레인(膜)을 이용한 오·폐수 고도처리 기술

(주)제넥스엔지니어링

김 훈 부장

1. 개요

현재 우리는 상수원부족 및 오염으로 인하여 물의 중요성이 강조되는 시대에 살고 있으며 물에 대한 국민의식 및 정부규제 그리고 법세제적인 규제활동 등으로 인해 우수한 처리특성을 지닌 새로운 기술개발이 절실히 필요하다는 것을 느끼고 있다.

지금도 새로운 기술개발 또는 기존 기술의 개량 및 최적화 연구작업을 통하여 이를 극복하려는 연구자 및 업계의 노력이 경주되고 있으며 시스템의 고도화를 위하여 기존의 공정에서 제거되지 않는 물질이나 제거효율 향상을 위해 고도처리기술이 추가로 설치되거나 공정전체를 대체하여야 하는 실정이다.

여러 가지 고도처리 기술 중 최근 각광을 받기 시작한 멤브레인 이용 기술은 미국, 일본, 유럽등 선진외국에서 산업계중심 분야에서 상당한 연구가 진행되었으며, 해수담수화 및 반도체용 초순수제조 등의 조수(造水)분야, 주스 및 우유 등의 액체식품의 농축, 의약 및 식품산업에서 단백질 분리 및 농축, 각종 산업분야의 폐수처리 등에서 널리 적용되어 실용화되고 있는 반면, 수처리를 포함한 환경분야에의 적용은 미미한 수준에 머물렀다.

그러나, 환경분야로의 멤브레인 적용 필요성의 대두 및 적용성이 탁월한 멤브레인 생산, 이를 이용하여 침전조를 대신하고 생물반응조를 접목한 신개념의 MBR (membrane bio-reactor, 분리막결합 생물반응조)공정을 활성화시키게 되었으며, 최근 10여년동안에 괄목할만한 연구성과 및 적용을 통하여 현재 전세계적으로 500개이상의 상업용 MBR공정이 운전중에 있다.

이에 본 고에서는 MBR공정의 개요, MBR공정의 발전 경향(TREND) 및 오·폐수의 적용사례를 소개코자 한다.

2. MBR 이란?

일반적인 오폐수처리시설의 보편적인 처리공정인 생물학적 처리공정(활성슬러지법, 장기포기법, 접촉산화법 등)은 오염물질을 미생물의 먹이로 하여 플러으로 전환시킨 후 최종 침전조에서 고액을 분리하여 처리하는 것이 일반적이다. 이미운전기술이 확립되어있고, 경제적인 방법으로 가장 보편적으로 적용되었으나 미생물의 침강성을 안정적으로 유지시키기 위해 많은 조건을 만족해야 안정적으로 처리가 가능하게 된다.

일반적으로 발생하는 생물학적 처리의 문제점은 슬러지별킹, 플러해체, 슬러지부상 등으로 대부분이 고액분리(미생물과 처리수)가 안되는 경우로 이러한 문제점을 해결하는데는 많은 시간과 전문적인 지식이 있어야 한다.

이러한 문제점과 방류수의 수질규제가 강화되면서 생물학적 처리공정 만으로는 시스템의 안정화를 도모하는데는 한계가 있다.

분리막결합생물반응조 공법(이하 MBR공법)은 생물학적 반응(biological reaction)과 막분리(membrane separation)를 결합시킨 것으로서 MBR 공법은 기존 생물학적 공정의 문제점을 보완하여 두 공정이 완전히 결합되어진 하나의 공정으로 미생물의 플러어나 적용되는 막의 종류에 따라 유기물까지 상 변화 없이 용액에서 미생물과 처리수를 침전조 없이 완벽하게 고액분리하므로써 기존 생물학적처리보다 매우 안정적인 처리수 확보가 가능하게 되었으며 이 공법은 오수, 하수뿐 아니라 정수, 분뇨, 축산폐수 및 산업폐수 와 같은 분야에서도 적용이 이루어지고 있다. 또한 MBR 공정은 유기물뿐만 아니라 대장균 및 일부 바이러스까지 제거되므로 중수로도 사용이 가능한 공법이다.

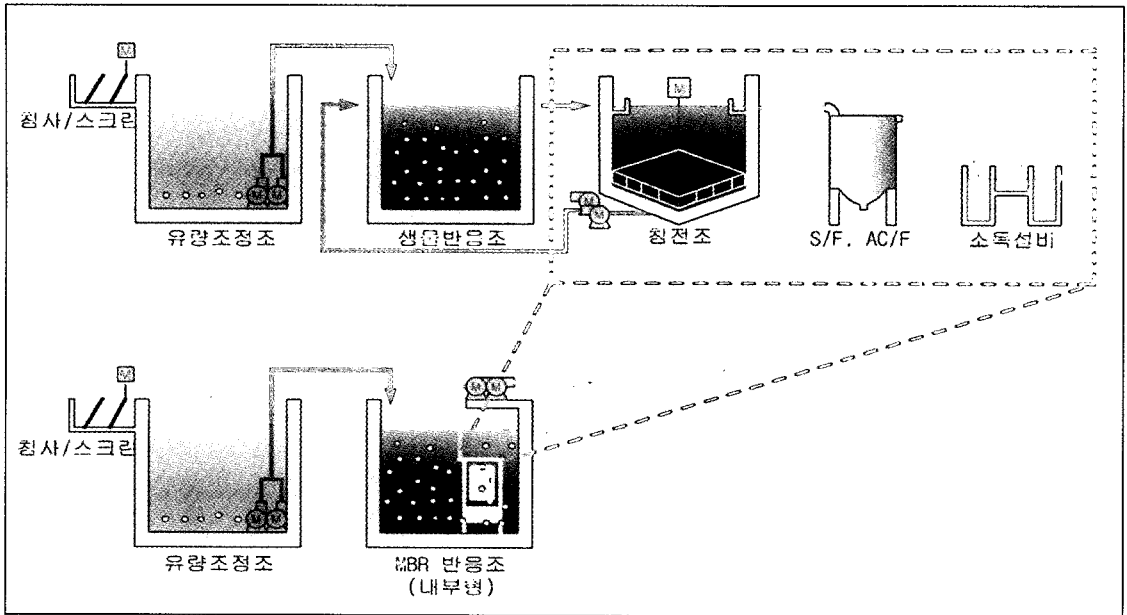


그림 1. MBR공법과 생물학적처리공법의 기능 비교

MBR 공법의 특징을 요약하면 아래와 같다.

- 1) 막분리 공정에 의해 미생물 및 현탁물질, 콜로이드 등 막의 특성에 상응하는 일정크기 이상의 불순물을 확실하게 제거(고액분리) → 탁월한 처리수질 획득 (오수의 경우, BOD 3mg/L이하)
- 2) 막분리공정에 의해 처리수와 미생물의 고액분리되면서 미생물이 농축 → MBR 조내에 고농도(8,000~15,000 mg/L) 미생물의 유지 가능 → 수리학적 체류시간(HRT)가 기존공정의 50%이하
- 3) 대장균 및 병원성 미생물 제거 탁월 → 소독시설 불필요
- 4) 침전조 및 여과시설(사여과, 활성탄여과 등)의 불필요 부지면적 감소 및 시설의 Compact 화 구현

- 5) 설비의 표준화 → 시공기간의 단축
- 6) 간단한 시설로 자동화 용이, 유지관리 용이 및 공정 설계 및 SCALE-UP 단순
- 7) 부하와 수량변동에 대하여 완충능력이 있어 충격부하시 처리수질 영향 없음
- 8) SRT를 길게 유지하여 슬러지 발생량 (일반활성슬러지법의 50%이하) 적음
- 9) 현재까지는 멤브레인 가격이 다소 고가인 단점이 있음 (향후 5년까지는 현재가격의 약 50%수준에서 안정화할 것임)

MBR공법과 기존 생물학적처리공법을 그림1과 표 1에서 비교하였다.

표 1. MBR 공법과 활성슬러지법 비교

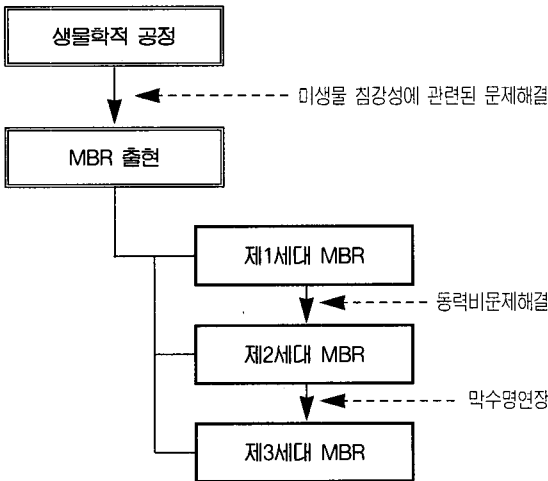
구 분	MBR 공법	생물학적 공법
처리공정	집수조 → MBR조 → 방류	집수조 → 폭기조 → 침전조 → 사여과 → 방류
슬러지	<ul style="list-style-type: none"> • 생물반응조내 MLSS농도 : 8000 ~ 15000 mg/L • 반송슬러지 : 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물반응조내 MLSS농도 : 1500 ~ 3000 mg/L • 반송슬러지 : 0.5 ~ 1Q
처리수질	<ul style="list-style-type: none"> • BOD < 5mg/L, SS < 5mg/L • 대장균 및 대부분 바이러스 제거 	<ul style="list-style-type: none"> • BOD > 10mg/L, SS > 10mg/L • 대장균 및 바이러스 제거를 위해 소독설비필요
유지관리성	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지침강성과 관련된 문제 해결 • 고농도미생물유지조 충격부하에 대한 완충능 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬러지침강성 불량시 수질악화 • 충격부하에 대한 완충능 부족

한편, 중수시설로 도입된 막여과 가운데, [생물학적 공정(생물반응조-침전조)-사여과-막여과]의 공정으로 적용한 예가 비교적 많으나 상기에서 설명된 MBR의 범주에는 포함될 수 없다. 이는 생물학적 처리공정과 바로 막여과공정이 접목되지 않았고 막여과공정은 단순히 여과기능(Filtering)만을 발휘하기 때문이다.

3. MBR 발전 경향(TREND)

오폐수처리시설에서 일반 생물학적공정은 가장 일반화된 기술로 운전기술의 축적과 유지관리면에서 유리하여 대부분의 처리시설에서 채택되어왔다. 하지만, 일반 생물학적공정의 가장 큰 단점인 미생물의 침강성과 관련된 수질 악화 문제를 해결하기 위하여 1970년대 전반 활성슬러지법과 급속여과 공정을 조합한 대체공정이 필요하였고, 이러한 필요에 따라 활성슬러지법과 가압식분리막을 조합한 공정(제1세대 MBR)이 개발되었다.

표 2. MBR공정의 발전 TREND



제1세대 MBR의 개발은 침전조의 생략으로 인한 유지관리의 용이성이 확보되고 침강장애와 무관하게 탁월한 처리수질을 얻을 수 있었고, 고농도 MLSS 유지로 폭기조 소형화되는 잇점을 얻을 수 있었다. 이때 사용된 모듈은 니토텐코사의 관상형막, 산기공업, Door-Oilver의 가압식 UF 등이 사용되었다.

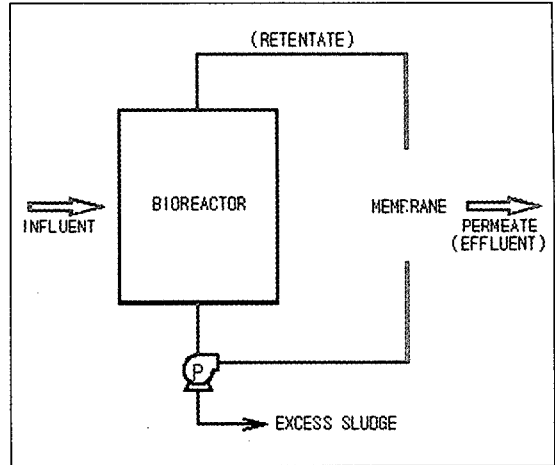


그림 2. 제1세대 MBR 공정도

제 1세대 MBR은 생물반응조 외부에 별도의 막분리설비를 설치하여 운전하는 cross-flow 방식으로 적용하였다. 그러나 막의 가격이 고가이고 막수명이나 운전인자에 대한 명확한 data 부족으로 그 한계가 있었다. 조 외부에 막설비 설치에 필요한 부지가 확보되어야 하며 시설규모의 제한이 생겼고, 처리수를 얻기 위해 설치된 여과펌프는 그 동력비가 고가여서 유지관리 및 시설 용량에 있어서 경제성 문제가 대두되어, 저농도(오수, 하수등) 원수에 MBR 공정을 접목하기에는 문제가 있었다.

제1세대 MBR의 문제인 동력비와 부지확보문제를 해결하면서, 막의 강도를 강화한 새로운 막의 형태(모듈)이 개발되어 운전방식을 변형하는 MBR 공정(제2세대 MBR)이 출현하게 되었다.

제2세대 MBR은 제1세대 MBR과는 다르게 생물반응조에 막모듈(평막이나 중공사)을 수납하여 흡입압을 이용하여 처리수를 생산하는 방식이며, 생물반응조에 막모듈이 침지되기 때문에 별도의 소요부지가 필요없고, 흡입식 운전으로 인해 소요동력이 적은 장점을 가지고 있다. 이 방식은 운전압력으로 부압을 사용하기 때문에 분리막이 많이 소요되어 적용 초기에 분리막이 고가일때는 적용이 불가능하였던 방식이었으나, 분리막의 생산단가가 저렴해지면서 채택사태가 급진적으로 증가한 운전방식이다. 저압을 사용하기 때문에 막오염이 제1세대 MBR 보다 상대적으로 적고, 따라서 막의 수명 확보면에서도 경쟁력 우위적인 위치를 확보하게 되었다.

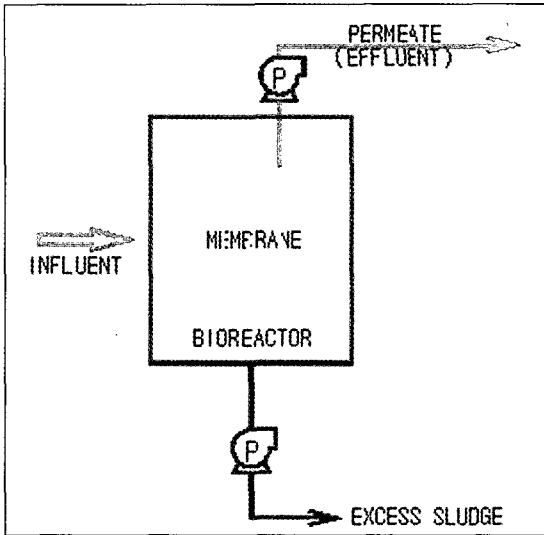


그림 3. 제2세대MBR 공정도

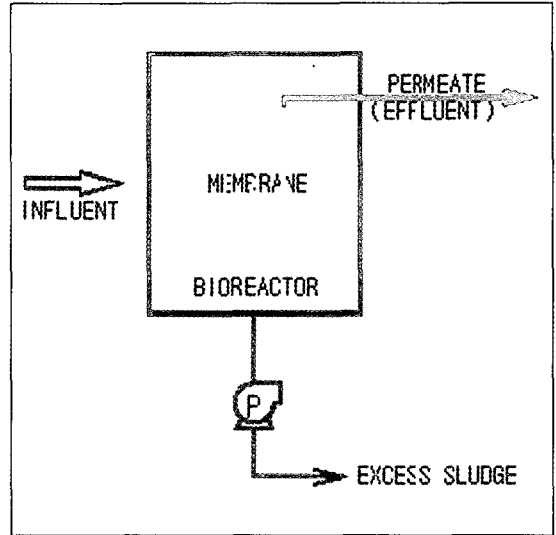


그림 4. 제3세대MBR 공정도

제2세대MBR은 1990년초반 구보다사의 관상형막을 비롯하여 미쯔비시레이온사의 중공사막, Zenon 사의 중공사막이 설치, 운전되었고 1990년 중반부터 구보다사의 평막이 설치 운전중이다.

제2세대 MBR에서 발전된 형태인 제3세대 MBR은 제2세대 MBR의 펌프흡입식 운전을 수두차에 의한 무동력 중력여과 운전방식으로 한 단계 발전시킨 형태로서 현재 이 방식으로 영국에서는 침지형 평막을 이용한 시설용량 10,000m³/d의 처리시설이 건설되어 운전되고 있다. 이 방식은 분리막에 펌프에 의한 인위적인 여과저항을 주지 않는 자연적인 여과방식이므로 가장 이상적인 방식이라 할 수 있다. 따라서, 분리막의 막오염도 자연적인 오염이외에는 일어나지 않아 분리막의 수명확보에 가장 이상적인 운전 방식이라 할 수 있다.

결국, 세계적으로 그 시스템의 효율 및 안정성, 그리고 신뢰성에서 성능을 인정받고 시장을 점유하고 있는 방식을 정리하면 생물반응조에 분리막을 침지시켜 흡입여과나 무동력 중력 여과를 하는 제2세대나 제3세대의 침지형 MBR 방식이다.

현재, 세계 막시장은 제2세대를 지나 제3세대로 진입하였고, 국내 막시장은 제1세대를 지나 제2·3세대의 경쟁상태에 놓여있다고 생각된다. 앞으로 국내판도 역시 세계 막시장과 동일하게 진행될 것이라고 추측할 수 있다.

4. NIX-MBR

4.1 개요

'NIX-MBR'은 (주)제닉스엔지니어링사가 설계, 시공하는 MBR공법의 고유공정을 칭하는 것으로, 당사는 제1세대방식인 가압식 튜블라막을 이용한 오폐수처리시스템, 제2세대와 제3세대방식인 흡입식또는 자연유하식 평막, 튜블라막 등을 이용한 오폐수처리시스템을 보유하고 있다.

1세대방식으로는 현재 오폐수기준으로 11개소에 적용 운전되고 있으며, 제2세대방식으로는 오수처리시설에 적용하여 10개소에 적용운전 혹은 설계되었다. 그리고 제3세대방식인 자연유하방식으로는 최근 적용하여 13개소에서 공사중이거나 설계반영된 상태이다.

4.2 오수고도처리

NIX-MBR 오수고도처리공정은 기존 생물처리공정의 A/O공정에 막분리공정(평막 및 튜블라막)을 결합하였다. 그 결과 침전조를 포함한 이후 설비가 불필요하게 되어 설치면적이 축소되고 공정이 단순화됨에 따라 유지관리가 용이하게 된다. 질소, 인에 대한 규제가 점차 강화되면서 생물처리공정으로 영양물질에 대한 수질기준을 달성하기 어려운 경우 약품을 투입하여 인 제거효율을 높지게 되는데 NIX-MBR 오수고도처리공정에서의 약품투입량은 기존

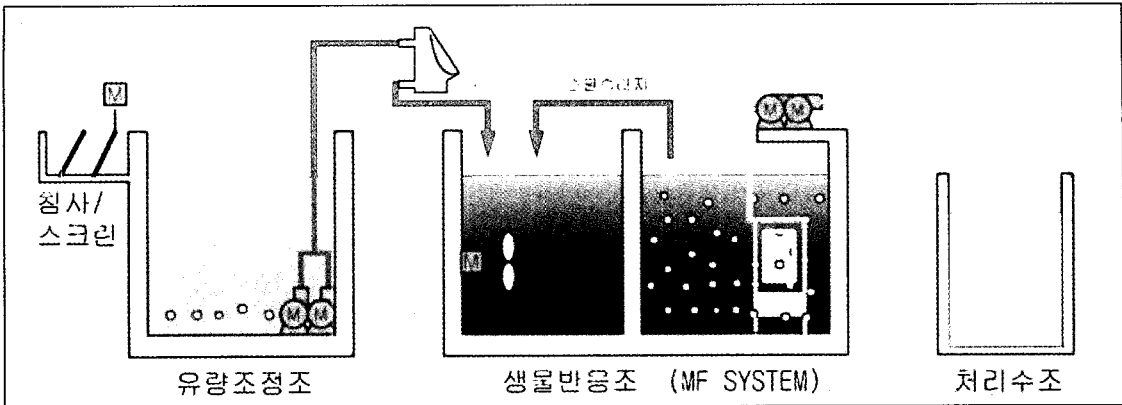


그림 5. NIX-MBR 우수처리공정도

생물처리공정의 1/2 정도이고, 별도의 반응조가 필요없이 추가적인 부지가 소요되지 않는 장점을 갖는다. NIX-MBR 우수고도처리공정에 의한 수질은 표 3과 같다.

표 3. 처리수질

구분	유입수	처리수	비고
BOD	200	< 5	mg/L
COD	180	< 10	mg/L
SS	200	< 1	mg/L
T-N	35	< 10	mg/L
T-P	5	< 2	mg/L

막분리공정의 운영에 있어서 NIX-MBR은 제2세대방식인 흡입식여과 및 제3세대방식인 무동력중력여과방식으로 운전되므로 동력비 절감효과는 물론 막오염을 최소화하여 막수명연장을 통한 유지관리비를 경감할 수 있다.

NIX-MBR 우수고도처리공정은 Scale-up의 용이성 및 시공의 용이성으로, 소규모 합병정화조에서 900m³/d용량의

우수처리장까지 시설용량에 관계없이 시공되어 운전중에 있다.

본 공정에 의한 처리수는 별도의 설비없이 중수로 바로 이용하고 있는 사례도 있다.

4.3 축산폐수고도처리

축산폐수는 오염부하량이 크기 때문에 일반생물처리공법으로 처리할 경우 한 사례로, [전처리-혐기성소화-무산소조-호기조-침전조]의 처리공정인데 비해 NIX-MBR의 축산폐수처리공정은 [전처리-무산소조-호기조-UF SYSTEM]을 적용함으로써 공정을 단축하고 처리수질면에서도 기존 공정에 비해 월등하다.

현재 NIX-MBR의 축산폐수처리공정은 공공축산폐수처리시설 1개소를 포함하여 총 4개소, 위생처리장 1개소에 설치, 운영중이다. NIX-MBR 에 의한 처리수의 수질은 표 4 와 같다.

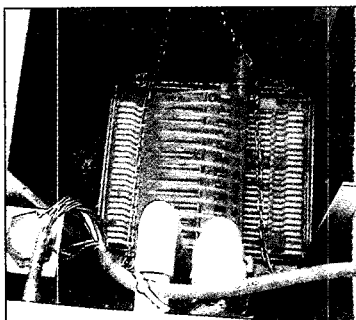


그림 6. 합병정화조

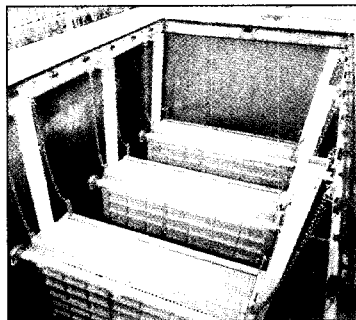


그림 7. 우수처리장

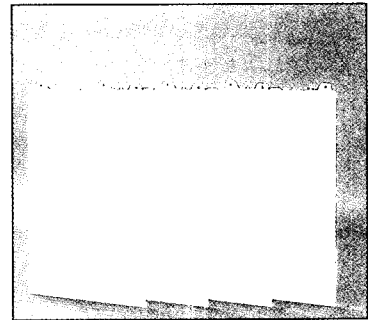


그림 8. 평막모듈

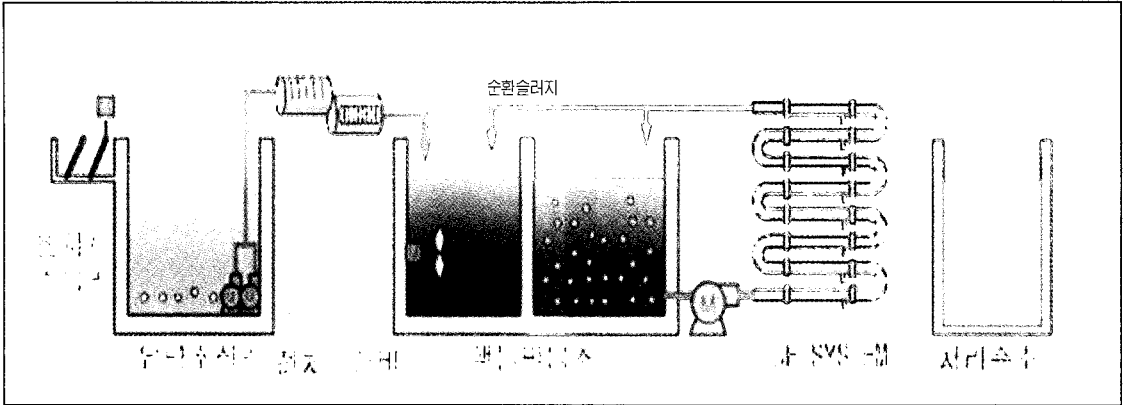


그림 9. NIX-MBR 축산폐수처리공정 (가압식 튜블라)

표 4. 축산폐수 처리수질

구 분	유입수	처리수	비고
BOD	30,000	< 30	mg/L
COD	50,000	< 50	mg/L
SS	30,000	< 10	mg/L
T-N	5000	< 60	mg/L
T-P	300	< 8	mg/L

제1세대방식인 NIX-MBR UF System 은 가압식 튜블라 막을 채용하였다.

막분리 공정이 축산폐수처리공정이나 분뇨처리공정과 같은 고농도 폐수에 적용될 경우 가장 큰 문제는 고형물 및 유기물에 의한 막힘현상이다.

NIX-MBR UF System 의 가압식 튜블라막은 내경 133mm로 동종 막모듈 가운데 내경이 가장 크고 Cross-Flow 방식에 의해 고형물에 의한 막힘현상을 최소화 할 수 있고 막재질의 내약품성이 크기 때문에 유기물에 의한 막오염시 막성능 회복이 우수한 장점을 갖는다.

현재 국내 수질기준상 색도에 대한 규제기준은 없지만, 축산폐수의 자체 색도때문에 민원 문제가 많이 발생하고 있는 추세이므로 추후 색도에 대한 규제가 생길 것으로 예상된다. 축산폐수의 색도를 제거하기 위해서는 오존산화 등의 공정이 필요하며 NIX-MBR 축산폐수처리수에 부가할 경우 설비절감 및 약품량 감소 효과를 갖는다.

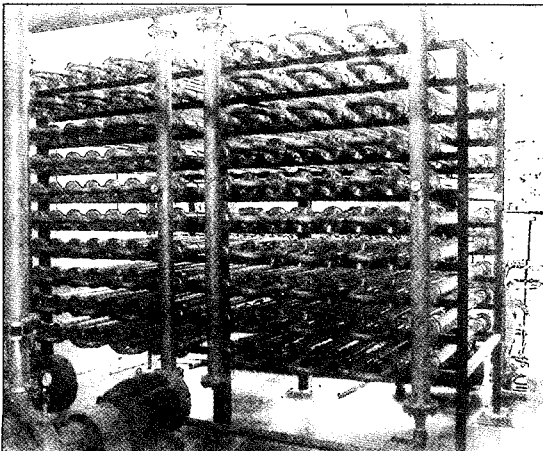


그림 10. 축산폐수처리시설 설치사례

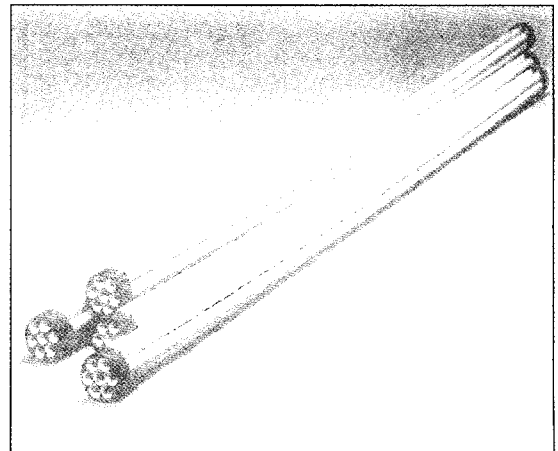


그림 11. 튜블라형 모듈

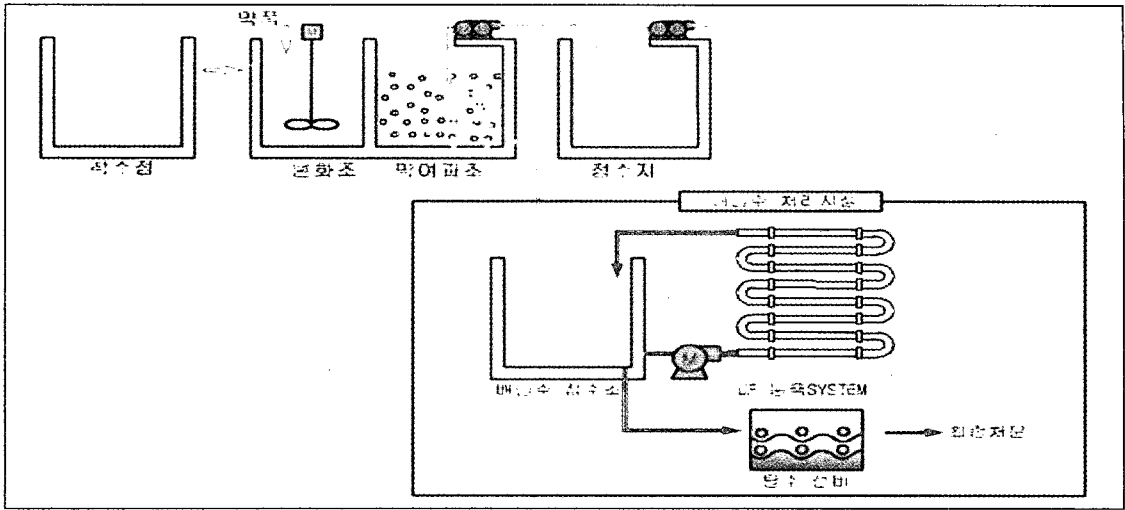


그림 12. NIX-MBR 정수시스템

4.4 기타

NIX-MBR 정수시스템은 기존공정[약품혼화-응집-침전-사여과]의 공정을 [약품혼화-막여과]로 단순화 시키고 제3세대MBR방식을 채택함으로써 여과에 필요한 별도의 동력을 사용하지 않는 장점을 지닌다. 정수공정에서 가장 문제시 되는 농축수처리문제에 있어서도 [UF SYSTEM에 의해 농축-탈수]로 부지의 최소화 및 유지관리를 용이하도록 하였다.

NIX-MBR 폐수처리공정 중 산업폐수에 적용된 사례로 Lead Frame 생산업체를 들 수 있다. [pH조정-혼화-응집-침전-활성탄여과] 공정을 [pH조정-혼화-응집-막여과] 공정으로 전환하여 안정된처리수질이 획득할 수 있었다.

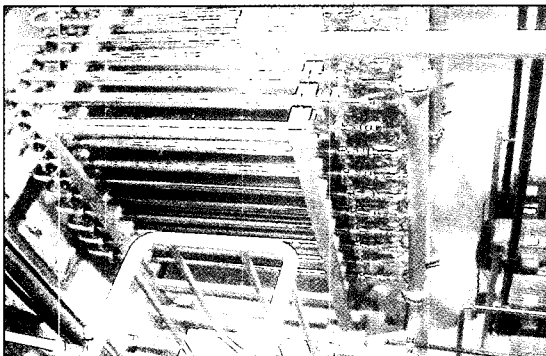


그림 13. 산업폐수 적용사례

※ 자세한 사항은 (주)제닉스엔지니어링으로 문의하시기 바랍니다(Tel : 031-971-9031)

표 5. 산업폐수 적용시 처리수질

항 목	원 수	처리수질
COD(mg/L)	160	≤ 20
SS(mg/L)	270	≤ 10
n-H(mg/L)	16.5	≤ 5
Cu(mg/L)	≤ 10	≤ 3

5. 결 언

수자원의 오염 및 부족이 심화되고 있는 우리나라의 현실을 타개코자 그 일환으로 정부는 대규모 하수처리장등에 방류수 수질기준을 급격히 강화시키고 처리수 재이용을 권장하고 있는 실정이며, 또한 엄격한 방류수 수질기준의 적용을 소규모 시설까지 확대되고 있는 추세임을 감안할 때, 현재까지 사용되고 있는 대다수의 생물학적 오·폐수처리방법으로는 이의 추세에 적절히 대응치 못할 것으로 사료된다.

앞에서 소개하였던 MBR공정은 기존 공정에 비하여 처리수질이 월등히 뛰어나 강화되는 추세인 방류수 수질기준을 완벽하게 만족시킬 뿐만아니라 추가공정이 없이도 처리수 재이용이 가능한 경쟁력있는 공정으로 자리 매김을 할 것이며 점차 멤브레인 가격도 저렴해지는 추세에 있어 오·폐수처리설비분야에 보다 효과적이며 매력있는 Solution을 제공하게 될 것이다. **環境保全**