
침지형 분리막을 사용한 오수처리



최 광 호 박 사
(코오롱 엔지니어링)

ABSTRACTS

In activated sludge process, sludge settling condition is affected by organic loading rate or operation condition, and if settling condition is getting worse, it is common that overall process fails due to wash-out of biomass causing low concentration in the aeration tank. Also activated sludge process has such several problems as requiring large area, consuming a lot of power and producing large volume of sludge.

Increased public concern over health and the environment combined with a strong desire to reduce capital, operating and maintenance costs, have created a need for innovative technologies for building new high quality effluents which will meet 21st century criteria.

MBR(Membrane Bioreactor) process consists of a biological reactor and ultrafiltration(UF) membrane system that replaces the conventional clarifier of an activated sludge process.

The main operating advantages of this system are that the quality of the effluent is independent of the settleability of the mixed liquor and that the effluent is free of suspended solids in any operating condition. It is possible to eliminate clarifier and to reduce the volume of aeration tank because it can afford to accumulate high biomass concentration in the bioreactor(20,000~30,000mg/L), which would not be possible in a conventional activated sludge process. Therefore, this process reduces overall treatment plant area.

In addition to those advantages, Longer SRT condition enables higher sludge digestion in MBR process so the sludge volume produced is 50 to 70% lower than that of conventional activated sludge process

There are two kinds of MBR process according to the allocations of membrane. One is cross flow type MBR of which module is located outside of the bioreactor and mixed liquor is driven into the membrane module. The other is submerged type MBR process of which module is submerged in the bioreactor and mixed liquor is generally sucked from the lumen side. In addition to that the cake layer is often removed by the uplifting flow of bubbling air.

A submerged MBR process is superior to a crossflow MBR in regard to the power consumption because suction pressure of a submerged MBR is generally lower than that of a crossflow MBR which has recirculation pump. A submerged MBR, therefore, has the potential to be applied to small wastewater treatment plants that need low cost treatment systems.

침지형 분리막을 사용한 오수처리

1. 개요

1.1 연구동향

하, 폐수처리의 대표적인 생물학적 처리공정인 활성슬러지 공정은 포기조에서 미생물에 의해 유기물이 흡착, 분해되며 그 혼합액을 침전지에서 중력침전시켜 미생물과 유출수를 고액분리함으로써 최종 처리수를 얻는 시스템이다. 이러한 활성슬러지 공정은 그 공정구성이 간단하고 운전이 용이하며, 비교적 경제적이므로 가장 널리 사용되고 있는 공정이지만, 유기물 부하변동 또는 운전조건에 의해 벌킹이 발생할 경우 원활한 침전 분리가 되지 않아 유출수내에 고형물농도가 증가하고 포기조내 미생물량이 유지되지 않는 등의 단점을 가지고 있다. 한편, 분리막기술은 1960년대에 비대칭성 셀룰로오즈막이 개발되어 상업화된 이래 계속적으로 개발되고 있는 상황으로, 수처리분야에서 보통 쓰이는 막분리기술은 역삼투(RO ; Reverse Osmosis), 한외여과(UF ; Ultrafiltration), 정밀여과(MF ; Microfiltration) 등이며 UF, MF는 기존 수처리 공정인 응집·침전·여과를 대체할 수 있는 새로운 기술로 인식되기 시작하였다.

최근, 이상과 같은 활성슬러지 공정과 분리막기술의 장점을 결합하여, 기존 활성슬러지공정의 단점을 해결하고자 중력침전에 의한 고액분리를 막분리로 치환하는 연구가 진행되어 왔는데 이러한 방식들을 활성슬러지 막분리 공정 또는 막결합형 활성슬러지법이라고도 하며, 또한 활성슬러지법에 국한되지 않고 일반적인 생물반응조와 막분리 공정을 조합시킨 것을 총칭하여 분리막 생물반응기(MBR : Membrane Bioreactor)라 부르기도 한다. 일본의 경우, 수질기준의 강화로 고도처리설비를 설치하거나 생물처리과정의 고부하 운전을 요하게 되어 미생물농도를 높여야 하므로 중력침전지에서는 고액분리를 안정하게 할 수 없는 문제가 발생하여 분리막 결합 공정이 대두되게 되었으며, 1980년 이후 실용화연구를 시작하여 빌딩건물, 하, 오수의 재이용시설, 분뇨처리시설 등에 이용되어 1994년 분뇨처리시설 경우 신규의 50%가 이 공정을 채택한 바 있다. 분리막을 도입하는 방식에 있어서도 초기에는 관상형, 평막형의 순환형 방식 위주로 개발되었으나, 1993년 이후 침지형 평막분리장치를 개발함으로써, 동력을 1/10 로 절감하고 폐색문제를 해결할 수 있는 침지형 공정으로 연구개발이 진행되고 있다.

1.2 종류 및 특징

막결합형 활성슬러지 공정은 생물학적 유기물 분해와 물리적 막분리공정을 결합한 공정으로서, 분리막 부분이 생물반응기 후단에 별도로 설치되는 기존의 순환형 공정(Crossflow membrane bioreactor process)과 생물반응기 내부로 포함되는 침지형 공정(Submerged membrane bioreactor process)으로 나눌수 있다. 초기에는 포기조 외부에 분리막 모듈을 설치하고 가압펌프로 포기조 혼합액을 분리막모듈로 운송하여 순환시켜 운전하는 외압형 방식(external membrane type)이 많이 사용되었으나 최근에는 분리막 모듈을 포기조 내부에 설치하여 처리수를 흡인(Suction)여과하는 침지형 방식(internal membrane type)의 사용이 점차 증가하고 있는 실정이다. 한편 이때 분리막으로는 UF 나 MF를 사용하고 있는데, 이는 RO의 경우 미생물의 최종대사산물인 저분자 유기물이나 염류의 축적을 초래하여 생물학적 처리를 저해시키기 때문이다. 순환형 공정과 최근의 침지형 공정의 주요 특징은 다음과 같으며 기본 구성은 Fig.1 과 같다.

▶ 순환형(외압형) 공정

1. 순환펌프에 의해 혼합액을 외부의 막분리시스템으로 이송하여야 하므로 여과기와 생물반응기외에 다른 장치와 배관이 필요하므로 시스템이 복잡하다
2. 운전기간이 경과함에 따라 막의 유로가 쉽게 폐색되어 막의 세정과 교환 등 유지 관리비용이 많이 소모되며, 이의 방지를 위해 협잡물 제거공정이 필요하다.
3. 막의 오염을 방지하기 위해 처리수량의 20-50배 정도를 순환시키므로 대용량의 순환펌프가 필요하고, 막투과를 위해 고압(400 ~ 500 KPa)이 필요하므로 동력비(4 ~ 5 KWh/m³)가 많이 소모된다.

▶ 침지형 공정

1. 생물반응조(포기조)내에 막모듈을 침지시켜 하나의 펌프를 이용하여 분리하므로 시스템 자체가 간단하고 부지 또한 적게 소비된다.
2. 생물반응조내에서의 포기로 인한 막면의 유동으로 막표면에 오염물질이 부착되는 것이 방지되어 막의 교환주기와 세정주기가 길어지게 된다
3. 저압으로 흡인하므로 막여과에 필요한 동력비가 적게 소모된다(1/10).
4. 간단한 시스템 구성으로 자동화 운전이 용이하여 인건비 등을 절약할 수 있다.

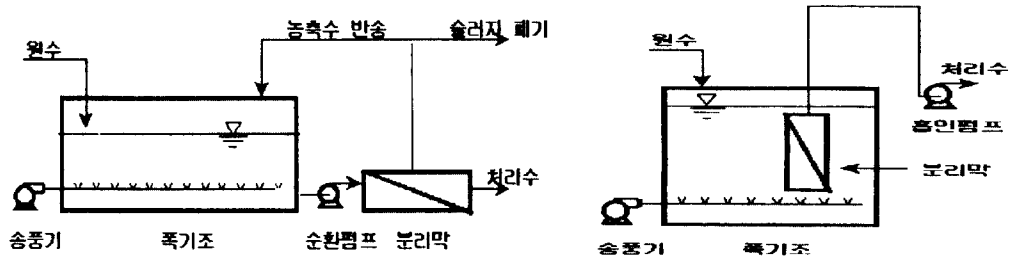


Fig.1 Crossflow & Submerged membrane bioreactor process

막결합형 활성슬러지·공정의 특징으로는 다음과 같은 것들이 있다. 첫째로, 부유고형물(SS)을 100% 제거할 수 있기 때문에 슬러지의 침강성에 관계없이 안정적인 처리가 가능하며 둘째, 활성슬러지법에 비해 3-4배의 미생물농도를 유지하는 것이 가능하므로 포기조 용량의 감소가 가능하고 유기물 또는 염류 등의 분해가 효과적이다. 셋째, 침전조가 필요없고 농축조 부피 또한 감소되므로 공정의 Compact화가 가능하다. 넷째, 슬러지 체류시간(SRT)의 극대화가 가능하여 질산화를 유도할 수 있으며, 잉여슬러지발생량이 적어지게 된다. 다섯째, 막(膜) 단독으로 제거할수 없는 저분자의 용존유기물질을 미생물이 분해 또는 균체성분으로 전환시킴으로써 처리수질이 향상되며, 여섯째, 세균이나 바이러스의 제거가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 아직까지는 분리막 가격으로 인한 초기투자비의 증가, 소요 전력비의 증가, 막오염방지를 위한 설비투자 및 오염방지 기술의 부족 등의 문제점 또한 가지고 있는 실정이다.

2. 국내외 연구 현황

국외의 경우 일본의 시장이 가장 먼저 그리고 활발히 형성되어 있으며 캐나다, 호주 등도 일부 분야에서 상업화 되어 있다.

일본은 Aqua-Renaissance '90 Project 를 통해 정부와 20여개의 회사들로 조직을 구성하여 1985년부터 분리막과 생물반응기를 결합한 공정에 대한 연구를 착수하였다. 이는 활성슬러지 공정으로 가정하수와 산업폐수처리시 발생하는 포기동력, 소요부지, 잉여슬러지발생 등의 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 1986년부터 기초연구를 시작하였고, 1987년 7개의 bench scale 장치를 설계, 제작하여 1988년부터 1989년까지 운전 및 연구를 수행하였고 이 결과를 토대로 1990년까지 2개의 pilot plant를 제작, 운영, 평가하였다.

이러한 연구결과들을 토대로 빌딩내의 중수도설비와 소규모 하수처리장 및 분뇨처리

시설에 많이 적용시키고 있으며, 1994년의 경우 신설되는 분뇨처리시설의 50.2%가 막결합 공정으로 채택된 바 있다. 이러한 분리막결합형 공정은 공정설비의 설치면적이 적어 Compact하며 처리수의 수질 또한 안정적으로 건물의 지하공간이나 부지확보가 어려운 좁은 공간에도 설치가 가능하여 빌딩내의 용수나 오수 등을 재이용할 수 있고 자동운전이 가능하여 유지관리가 편리하기 때문이다. 이들은 초기, 주로 관형(Tubular Type)이나 판형(Plate Type)의 UF막을 이용한 순환형 공정을 이용하였으나 최근에는 중공사(Hollow Fiber)형태의 MF/UF 막모듈을 이용한 침지형공정이 많이 사용되고 있다.

분리막결합형 생물반응기기술을 보유한 대표적인 회사로는 Mitsubish Rayon과 Mitsui Petrochemical 있으며, 각각 STERA PORE Series와 UBIS, ASMEX 공정 등을 중수도나 고농도 산업폐수에 적용하고 있다. 그 외 Kubota, TOTO, Nitto Denko, Toray 등에 의해 폐수처리용 분리막모듈에 대한 연구가 수행되었으나, 아직까지는 그 규모가 제약되고 있으며 상업화를 위한 더 많은 연구와 자료의 확보가 필요한 실정이다.

한편, 캐나다의 Zenon社는 ZenoGem[®] Process를 이용하여 매립지 침출수처리나 오일폐수처리 등 난분해성 폐수처리에 적용하여 우수한 처리성능을 얻었으며, 호주의 막제조사인 MEMTEC社는 CMF(Continuous Micro Filter)를 이용하여 다양한 폐수의 상업화에 접근하고 있다. 이상과 같이 선진 외국의 경우 본 공정과 관련된 시장의 규모를 인지하고 시장의 선점을 위하여 본 공정의 개선과 실용화에 관한 연구에 박차를 가하고 있는 실정이다.

국내의 경우, 분리막은 주로 정수처리나 순수제조 등에 이용되어 왔고 폐수처리에서의 적용은 그리 많지 않았으나 최근 수질기준의 강화와 폐수재활용을 위한 중수도에의 관심으로 인해 점차 적용이 시도되고 있는 실정이다. 지금까지 실험실 규모의 기초실험단계로 일부 대학과 연구소를 중심으로 연구가 진행된 바 있으며, S사와 H대학에서 호주의 Memtec으로부터 폐수처리용 분리막 제조의 기초기술을 이전, 습득함으로써 산업폐수처리용 막/생물반응기 공정을 개발하고자 하는 연구를 수행하고 있고, J사의 경우 Mitsubishi사의 막모듈을 이용하여 실적용을 추진하던 중 회사상황으로 인해 중단된 바 있다. 한편, 실제 가동되고 있는 공정으로 tubular type의 한외여과막을 이용한 A사의 Biosurf공정이 있으며, 3,000m³/day 규모의 생활오수처리시설 및 분뇨처리에 적용한 실적들을 가지고 있으며, 그 외 중소규모의 업체들에 의해 폐수의 재활용, 빌딩 등의 중수도시설에 이용하려는 노력들이 진행되고 있다.

그러나 아직까지는 핵심요소인 분리막과 모듈 제작기술을 외국의 기술에 전적으로

의존하고 있어 가격이 고가이며, 분리막 오염방지 기술, 시스템설계기술 및 운전기술 등의 확립 및 국내 독자적인 기술이 필요한 실정이다.

3. 분리막 결합형 생물학적 처리기술

3.1 순환형(외압형) 공정 기술

1) UBIS & ASMEX System

Mitsui Petrochemical Industries(M.P.C)사는 Rhone-Poulenc그룹의 자회사인 Tec-Sep 사로부터 UF막모듈에 대한 라이선스를 취득하여 UF분리막과 활성슬러지조를 결합한 “UBIS(Ultra Biological System)”시스템을 일본의 도시에서 빌딩과 호텔의 오수를 처리하는 시스템으로 도입하였고, BOD, COD값이 매우 높은 고농도의 오수를 처리하기 위한 “ASMEX(Activated Sludge and Membrane complex)”라는 새로운 시스템을 개발하였다.

UBIS시스템의 경우, 오수는 급속 교반하는 고농도(20,000mg/L)의 활성슬러지조로 유입되는데, 이때 체류시간을 전통적인 시스템에 비하여 매우 짧은시간인 1시간으로 유지하여 매우 효과적인 처리를 수행하나 침강성이 좋지 않으므로 UF막모듈에 의한 고액분리를 수행한다. 막을 통과하여 SS, 바이러스, 박테리아가 제거된 처리수는 조정조에서 적은 양의 차아염소산나트륨이 첨가되어 화장실의 수세용으로 재이용된다. 약품세정은 보통 45일만에 한번씩 행하며, 전기소모량은 처리수 1톤당 약 3KWh이다. 예를들어 100 m³/day의 처리를 위해서는 45m²의 플랜트 면적, 34m²의 유효막면적, 6m³의 생물처리조가 필요하다. UBIS 시스템의 장점은 전통적인 공정에 비해 매우 compact 하고 운전 및 유지관리가 매우 간단하며, 부하변동에 쉽게 대응할 수 있고 처리수의 수질이 뛰어나다는 점이다. 또한 처리수가 재사용될 수 있으므로 운전비를 절감할 수 있다는 것이다.

ASMEX시스템은 분뇨처리장의 소요부지를 줄이기 위해 고안되었으며, UBIS시스템에 활성탄흡착 및 탈인조를 부가한 공정으로 처리가능한 유입 BOD가 13,000mg/L로서 UBIS시스템에 비하여 매우 높다. 따라서 ASMEX시스템은 전처리로 희석과잉없이 고부하 처리가 가능하며 MLSS를 17,000 - 20,000 mg/L으로 유지할 수 있어 생물반응조의 부피를 작고 compact 하게 만들 수 있다. 또한 모래여과가 필요없고 그 처리수질이 양호하다는 장점이 있다. UBIS 와 ASMEX시스템의 구성은 Fig. 2와 같다.

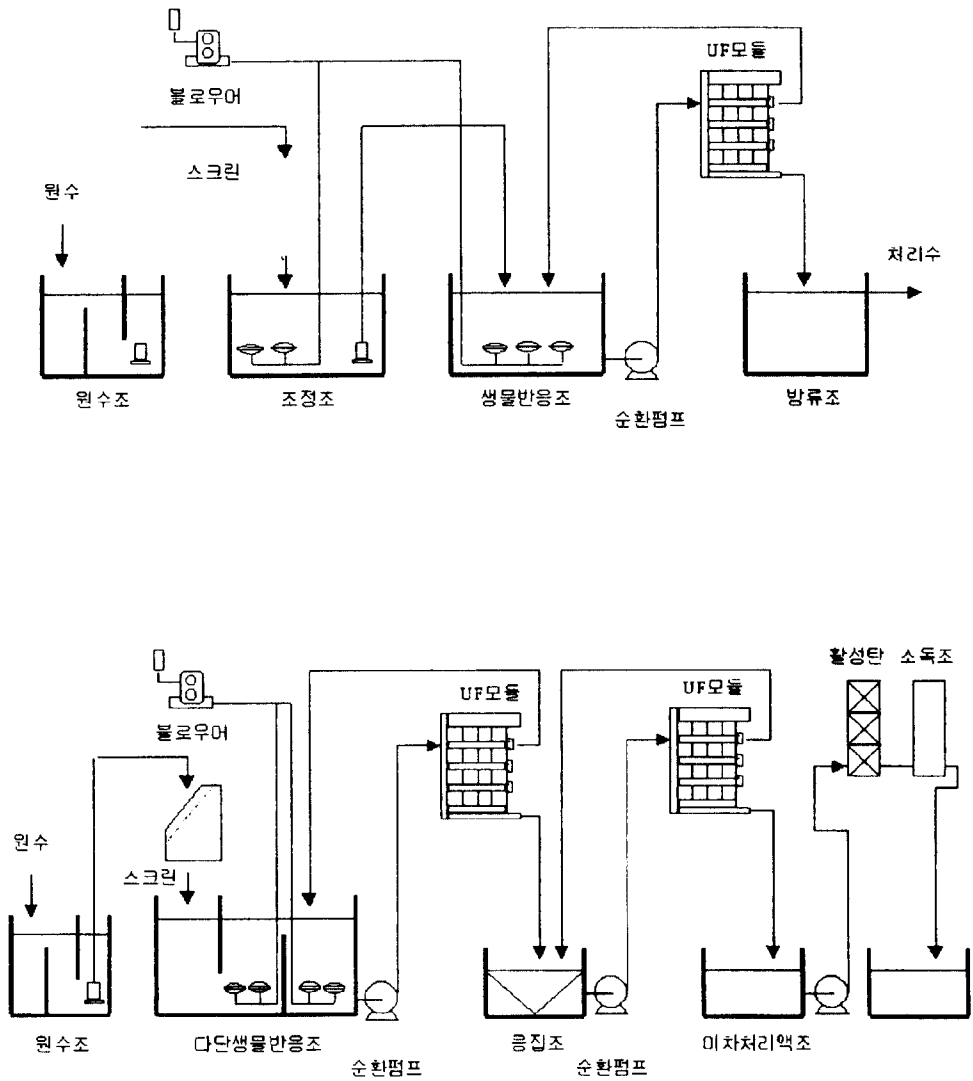


Fig. 2 Schematic Flow of UBIS & ASMEX Process

2) BIOSUF

BIOSUF 공정은 그 기본 원리나 구성상 기존의 UBIS 공정이나 ASMEX 공정과 같으나, 사용되는 분리막이 평막이 아닌 housing이 없는 tubular 형태의 분리막으로서, 혼합액이 멤브레인 내부에서 외부로 투과되어 처리되며 처리수조내에 막모듈이 잠겨있는 형

태라는 점이 차이가 있다. BIOSUF의 기본적인 구성은 집수조, 미세스크린, 포기조, 한외여과막, 배수조 및 슬러지 처리시설로 구성되어 있으며, 이때 사용되는 UF막의 특성은 Table 1. 과 같다.

Table 1. Membrane Characteristics of BIOSUF Process

Material	Hydrophilic Polyethersulfon
MWCO	40,000
Inside Diameter(m/m)	8.9
Area(m ² /module)	3
Pressure Range(KPa)	100 ~ 500
Temp. Range(℃)	< 35
pH Range	3~10(operation), 2~10.5(cleaning)
No. of tube/Module	40
Flux(L/HR)	750

BIOSUF 공정은 국내의 A 사에 의해서 생활오수, 주방오수, 중수도, 분뇨 및 축산폐수시설들에 적용되어 왔으며, 이 중 인천시 P 단지에 설치된 시설의 경우, 3,500가구로부터 발생하는 약 3,000 ton/day 의 생활오수를 처리하고 있다. 개략적인 공정으로는 미세스크린에 의해 고형물질이 제거된 후 포기조에서 유기물을 제거하고 한외여과막에 의해 미생물플록을 분리하여 처리수는 방류하며 농축액은 포기조로 반송되고 일부는 슬러지저류조로 가게 된다. 포기조내의 MLSS를 7,000mg/L, 한외여과막의 flux를 40-60LMH로 운전하였을 때 Table 2 와 같은 양호한 수질을 얻을 수 있었다고 발표한 바 있다.

Table 2. Example of Sewage Treatment Results by BIOSUF Process

Item	Influent	Effluent
BOD (mg/L)	130	1.0
COD (mg/L)	300	30
SS (mg/L)	150	-
T-N (mg/L)	30	10
E.Coli (MPN/mL)		1-2
Colorlity		2
Turbidity		< 2

현재 BIOSUF 공정은 국내 분리막결합형 오,폐수처리공정에 상당한 실적을 갖고 있으며 우수한 처리율을 보이고 있으나 가압펌프에 의한 전력비, 막 오염방지 및 유지관리

의 어려움, 분리막의 경제성 확보 등이 해결해야 할 과제라고 할 수 있다.

3) 기타 시스템

호기성 Bioreactor 와 MF를 조합한 것으로 처리수 재이용을 위한 RO전처리 공정으로 적용가능성이 높은 Membio System, BPAC(Biological Powdered Activated Carbon) Raector 와 MF를 조합한 MEMCOR System 등이 있다.

3.2 침지형 공정기술

1) ZENOGEM 공정

ZENOGEM 공정은 캐나다의 Zenon사에서 개발한 공정으로, 생물반응조내에 UF막을 침지시켜 직접 투과수를 얻는 방식이며, 자동차회사 등의 오일폐수처리 및 매립지 침출수 처리 등의 난분해성 폐수처리에 적용하여 90% 이상의 COD제거효율을 보이는 것으로 발표되었다.

본 공정 역시 고농도 MLSS농도(20,000mg/L)와 긴 SRT(50일 이상)를 유지할 수 있어 기존 처리장의 규모를 크게 축소시킬 수 있으며, 슬러지발생량이 0.26kgTSS/kgBOD로서 활성슬러지 공정의 0.6 kg MLVSS/kgBOD에 비해 50 - 80 % 발생량을 감소시킬 수 있다.

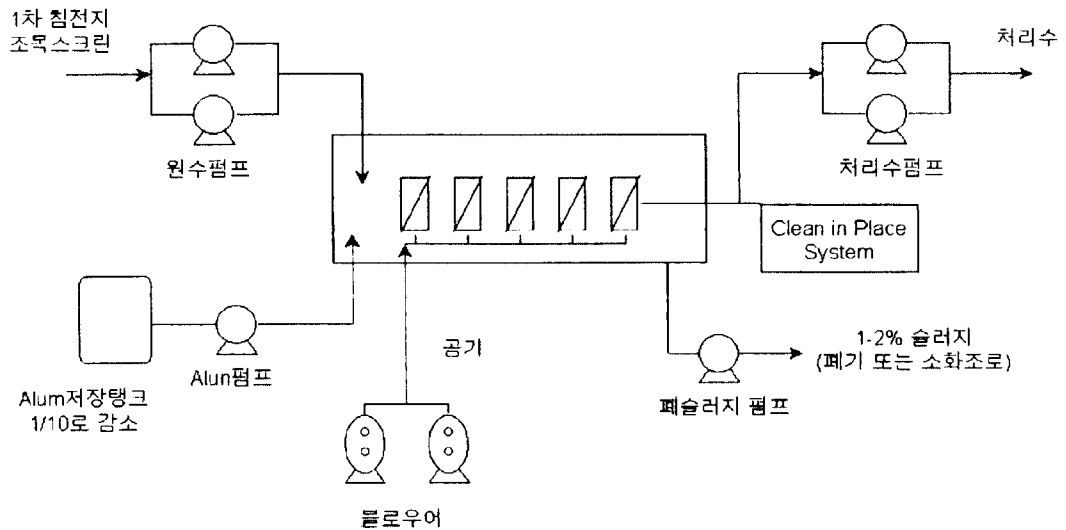


Fig. 3 Schematic Diagram of ZENOGEM Process

ZENOGEM 공정에 사용되는 분리막은 pore size 가 0.2 micrometer 인 hollow fiber 형태의 분리막(ZeeWeed Module)이며, ZENOGEM 공정과 활성슬러지 공정의 전형적인 설계인자는 Table 3 과 같고 도시하수를 대상으로 한 처리결과 예는 Table 4 와 같다.

Table 3. Typical Design Parameters for ZENOGEM Process

	ZENOGEM	Activated Sludge
MLVSS (mg/L)	10,000 - 20,000	1,000 - 3,000
COD (Kg/m ³ day)	2.6 - 5.0	< 1.0
BOD (Kg/m ³ day)	1.5 - 2.5	<0.5
NH ₃ (Kg/m ³ day)	0.2 - 0.4	<0.07

Table 4. Data obtained in the ZENOGEM Process for Municipal Wastewater

Item	Influent	Effluent
MLSS(mg/L)	10,000 - 20,000	
BOD Loading(kg/m ³ /day)	1.5 - 2.5	
BOD(mg/L)	168 - 114	2.3 - 0.7
T-N(mg/L)	29.5 - 13.6	1.17 - 0.32
NH ₃ -N(mg/L)	10.3 - 3.18	0.33 - 0.01
NO ₃ -N(mg/L)	0.57 - 0.01	2.58 - 0.6
T-P(mg/L)	1 - 0.09	0.16 - 0.01

기존 처리장의 용량초과 또는 처리수질 확보를 위해 고도처리시설의 도입이 필요할 경우 ZENOGEM공정을 적용할 수 있으며, 이 경우 5.3 MGD 용량의 기존 하수처리장을 ZENOGEM 공정으로 개보수(retrofit)할 경우와 전형적인 3차처리시설을 도입할 경우의 비용을 비교한 결과는 Table 5.와 같다.

Table 5. Comparative Capital Costs ZENOGE M vs. Conventional Activated Sludge for Tertiary Effluent Treatment (Unit : 1,000\$)

	Conventional Tertiary Treatment.	ZENOGE M Treatment
Civil Work		
Structures/New tanks	6,000	200
Site work	1,300	200
Architectural Work	1,200	50
Process Equipment		
Equipment	8,850	10,656
Piping	1,450	325
Plumbing & Drainage	650	300
Electrical	755	400
Contract Bonds	190	190
Field Installation & Start-up	1,200	425
Other eqpt. + Contingency(15%)	2,725	1058
Engineering Design & Supervision	3,130	1,000
Land Purchase	1,500	
PLANT COST	28,950	14,805
TOTAL CAPITAL SAVINGS	14,145	

2) STERA PORE 이용공정

Mitsubishi Rayon의 경우 Aqua-Renaissance '90 Project에 참여하여 하,폐수처리에 적합한 분리막모듈 시스템을 연구하여 왔으며, 내압용기를 필요로 하지 않는 흡인형식의 정밀여과막인 STERA PORE-L 모듈을 개발함으로써 중공사막 직접 침지형 오수처리장치를 상용화하게 되었다.

기본적인 설계 및 운전 조건을 보면 다음과 같다. 막면적당 여과유량의 설계기준을 $0.2-0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 로 잡고 있으며, 이에 10 - 20%의 여유를 고려하여 소요 막면적을 계산한다. 생물반응조에 공급되는 공기량은 미생물에 필요한 산소량과 막면세정에 요구되는 스크라빙 에어량을 계산하여 큰 값을 설계값으로 사용하는데, 이때 스크라빙 에어량은 막 유닛의 평면투영 면적당 적어도 $50\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ 이상이 필요하며 통상 여유를 두어 75 - $100 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ 로 설계하고, 막 유닛을 2단으로 겹쳐도 평면투영면적이 같으면 공기량은 동일한 것으로 설계한다. 막 유닛은 5 - 15개의 분리막을 배관으로 연결하며,

각 유닛의 하부에는 산기관이 설치되는 구조로 구성되어 있다. 한편 막오염을 방지하고 수명을 유지하기 위해 간헐운전으로 운영하며 흡인과 정지시간을 13분과 2분 또는 8분과 2분 등으로 하여, 정지기간동안 포기에어에 의한 막세정을 통해 퇴적 고형물을 탈리시킨다. 운전 중 초기압보다 30KPa상승한 시점에서 약액세정을 실시한다. STERA PORE-L 의 특징은 Table 7. 과 같으며, 처리결과 예는 Table 8. 과 같다.

Table 7. Characteristics of STERA PORE-L

	UMF424SLI	UMF502SLA
type	hollow fiber	
Material	Hydrophilic, Polyethylene	
Pore Size(μm)	0.1	
Size(mm)	486×798×48	582×782×441
Area(m ²)	4 / 8	50
Initial FLUX (49KPa, 25℃)	11L/min	143L/min
Operating Temp.	< 45℃	

Table 8. Treatment Results

Item	Influent	Effluent
MLSS(mg/L)	5,140 - 11,400	
BOD Loading(kg/m ³ /day)	0.3 - 0.965	
Temperature(℃)	7.9 - 24.3	
BOD(mg/L)	389 - 103	6.5 - 0
COD(mg/L)	123 - 54.2	13.8 - 3.4
T-N	39.2 - 35.4	8.9 - 4.0
NH ₃ -N(mg/L)	29.6 - 20.5	0.9 - 0.1

3) KIMAS 공정

KIMAS(Kolon Immersed Membrane Activated Sludge) 공정도 기본 원리나 구성은 다른 다른 침지형 공정과 마찬가지로, 침지형 분리막모듈 부분을 개선한공정으로서 모듈하부에 air scrubbing을 위한 자체포기장치를 가지고 있으며 정지기간 동안에는 막 내부로부터 외부로 공기 또는 물을 이용한 역세가 이루어지게 하여 막 오염방지 및 막의 수명 연장 효과가 있는 시스템이다.

공정구성은 대상 유입수의 성상에 따라 전처리 등에 차이가 있으나 기본적으로 침사지, 침전지 또는 유량조정지, 미세스크린, 포기조, 그리고 잉여슬러지 처리를 위한 슬러지 농축조로 구성된다. 포기조에는 중공사막이 침지되어 자흡식 흡인펌프에 의해 직접 처리수를 생산하게 된다. 침사지, 침전지를 거친 유입수는 필요에 따라 유량조정조를 거쳐 일정한 유량이 포기조로 공급되도록 하며, 포기조 유입시 분리막에 영향을 주지 않도록 미세스크린을 설치하여(1M/M) 혐잡물을 제거한다. 포기조에 유입된 유기물은 포기조내 미생물에 의해 대사산물로 전환되며, 이 포기조 혼합액을 직접 중공사막(0.01 μ m)을 통해 주기적으로 흡인함으로써 양질의 처리수를 얻게 된다. 포기조내 미생물량을 고농도로 유지할 수 있으므로 (6,000 - 15,000 mg/L) 유기물부하를 증가시킬 수 있으며(1 - 4 kgBOD/m³/day), 따라서, 같은 대상 폐수의 처리시 기존 활성슬러지 공정에 비해 포기조의 부피를 2-5배 줄일 수 있고 침전지가 없으므로 전체 소요면적이 크게 절감될 수 있다. 포기조내에 일정한 MLSS농도를 유지하기 위해 잉여슬러지를 주기적으로 농축조로 이송하여 탈수 등의 처리를 거쳐 최종 처리하게 되며, 이때 잉여슬러지의 발생량은 기존의 활성슬러지 공정에 비해 현저하게 감소한다. 1개의 모듈을 기준으로 한 공정구성은 Fig. 4와 같다.

Tag NO.	DESCRIPTION	SPECIFICATION	MATERIAL
T-1	분리막침적형 생물반응기	450L, D600×H1600	Acryl
S-1	스크린	1MM	SUS
P-1	원수 공급펌프	1-10L/min, 절량펌프	내부식성
P-2	여과수 흡인펌프	자흡식, 40L/min, 흡입양정 8m, 0.4KWh	내부식성
B-1	블로우어	0.5NM ³ /min, 7kg/cm ²	내부식성
V-1	처리수 Solenoid밸브	1/2inch	내부식성
V-2	역세공기 Solenoid밸브	1/4inch	내부식성

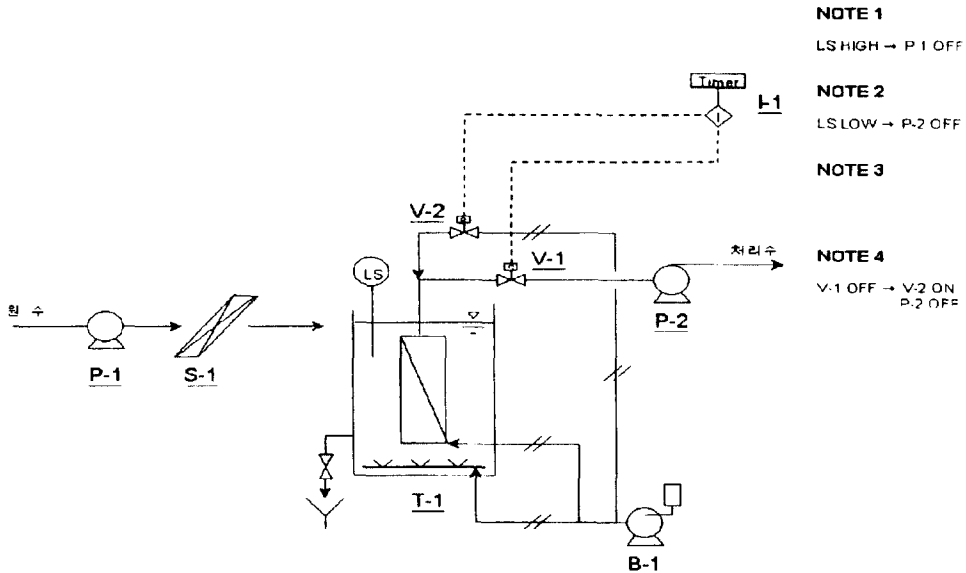


Fig. 4 Schematic Diagram of Basic KIMAS Process

현재 KIMAS공정에 사용되는 분리막은 친수성재질로서 기존의 소수성 막 또는 친수화처리를 한 소수성 막에 비해 막오염면에서 월등하고, 재질이 유연하여 포기조내의 유동과 역세 공기에 의해 쉽게 끊어지지 않는 특징이 있다. 또한, 표면에 고형물이 부착되어 cake 층 및 gel 층을 형성하지 않고 지속적인 탈리가 가능하도록 모듈하부에 산기장치가 구성되어 있으며, 내부 공기역세가 가능하도록 되어있다. 분리막의 특성을 요약하면 Table 9와 같다.

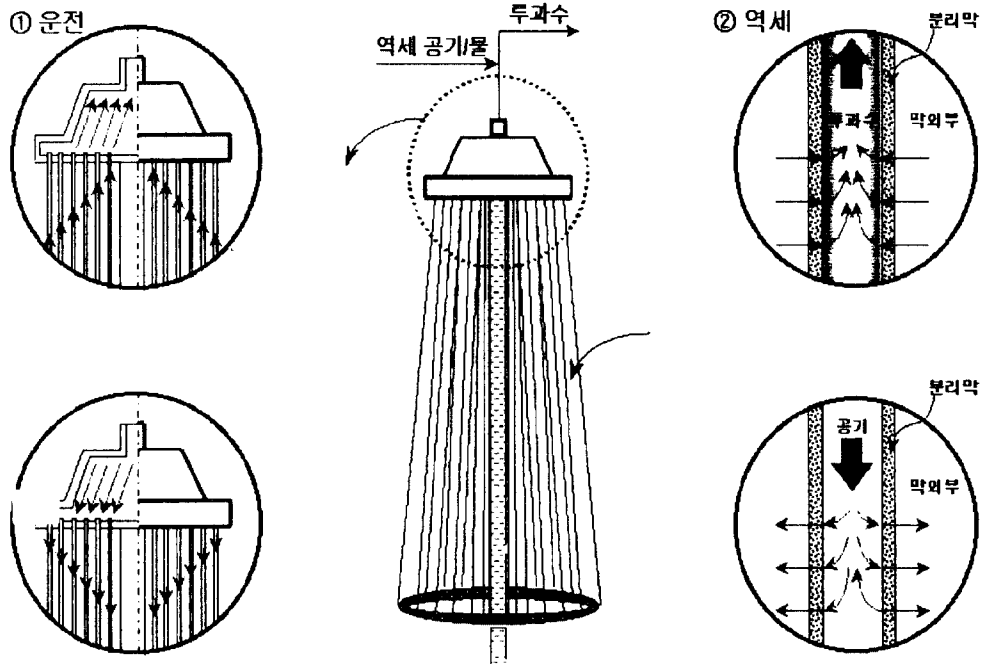
Table 9. Characteristics of KIMAS Membrane

Type		Hollow Fiber
Filtration Type		Suction Filtration (< 0.5kg/cm ²)
Backwashing		Air(and Water) Backwashing
Pore Size		0.01 μ m
Flux		3-5L/min(0.2kg/cm ² , 25 $^{\circ}$ C)
Operation Condition	Temperature	< 40 $^{\circ}$ C
	Pr. Drop	< 3kg/cm ²
	Pressure	< 5kg/cm ²
	pH(Operation)	2~10
	pH(Cleaning)	1~12
Module Spec.	Diameter	ID : 0.35mm/OD : 0.48mm
	Eff. Area	10m ²
	Length	1000mm
Material	Hollow Fiber	Hydrophilic, PAN(polyacrylonitrile)

분리막모듈부의 운전방식으로는 흡인과 정지를 반복하면서 혼합액으로부터 처리수를 생산하는 방식을 취하는데 이는 연속적으로 혼합액을 투과할 경우에는 분리막 표면에 고형물 cake층이 형성되며 계속적으로 압밀되므로, 물리적인 방법만으로는 세정이 힘들어지게 되고, 따라서 flux 의 감소가 급격히 진행되며 흡인압이 증가하게 되고, 흡인압이 계속적으로 어느 이상으로 유지될 경우 막수축 현상이 발생하게 되기때문이다.

따라서 본 공정에서는 막오염에 의한 flux 감소를 지연시키기 위해 간헐운전 방식을 취하며, 일정한 주기로 흡인과 정지를 반복하게 된다. 이때 운전주기 동안은 막외부로부터 내부로 혼합액을 저압으로 흡인여과(0.2 kg/cm²)하게 되며, 정지기간 동안에는 모듈 하부의 공기에 의해 막 표면의 고형물을 탈리시키게 된다. 또한 이때 막 내부로부터 외부로 역세공기를 불어넣음으로써(3.0-5.0 kg/cm²) 세정 효과를 극대화하게 된다.

운전시간은 60분, 30분, 10분 등으로, 역세시간은 2분, 1분 등으로 조합할 수 있으며, 운전시간이 짧을수록 flux 유지에는 유리하나 투과수량이 적어지므로 이는 폐수의 성상 및 반응조의 운전상태에 따라 선택하여 운전한다.



- ① 운전 : 막외부로부터 내부로 흡인여과
- ② 역세 : 막내부로부터 외부로 공기역세
- ①, ②의 주기적인 반복

Fig. 5 Operation Mode of Module

4. 현기술들의 문제점

4.1 분리막의 경제성

분리막 생물반응기의 가장 큰 단점으로 지적되는 것은 역시 막모듈의 가격이다. 97년 3월을 기준으로 (1달러=800원) Biosuf공정에 이용되는 Tubular Type UF module의 단가는 약 23만원/m²이고, Sterapore L의 경우 약 18만원/m²으로 1,000톤/day 처리시 전

자는 대략 3.1억, 후자는 3.2억 이상으로 고가의 초기투자비가 장애로 작용하고 있다.

4.2 막오염 방지기술의 부족

Crossflow System의 경우 막오염을 방지하기 위한 높은 막면유속유지를 통해 막오염을 어느정도 늦추는 방법이 대부분이고 UBIS와 ASMEX공정의 경우 난류흐름을 촉진하는 요철부분을 부착하는 방법을 채택하고 있다. Submerged System의 경우는 포기조 내에서 막표면으로 공기세정을 하여 막표면에 오염물질의 부착을 방지하고 Sterapore-L공정의 경우 반응조 하부에 교반장치를 설치하여 주기적으로 회전방향을 바꾸면서 반응조내의 유체흐름에 의한 막세정을 시행한다.

상기의 오염방지법은 어느정도 막오염을 막을수 있으나 일부 문헌에서는 공기세정에 의한 막오염 방지효과는 거의 없다고 말하고 있어 보다 명확한 오염방지기술의 확립이 필요하다. 또한 분리막 표면에 퇴적되는 고형물뿐 아니라 유입수의 성상, 단백질 또는 효소, 미생물floc의 상태, 미생물에 의한 EPS(Extracellular Polymeric Substances) 등 물리적인 방법만으로는 제거하기 힘든 오염원이 있어 이에 대한 명확한 자료와 해결방안이 필요한 실정이다.

4.3 침지형에 적합한 형태의 모듈부

분리막 침지형 공정의 경우, housing이 없는 등 기존 막모듈과는 다른 구조를 가지며 이와 함께 막 오염을 방지하고 수명을 연장시키기 위한 부가장치들의 추가가 필수적이다. 즉, 막오염방지를 위한 모듈부 자체의 포기설비 유무, 공기 또는 물에 의한 역세기능의 추가여부, compact한 설치를 위한 모듈구조, manifold에 유리한 모듈지지부 등 침지형 공정에 적합한 모듈부의 개발이 필요하며, 막세정 또한 포기조내에서 직접하는 CIP방법과 모듈부 전체를 포기조 외부로 끌어내서 세정하는 방법이 고려되어야 하므로 새로운 형태의 모듈부 개발이 필요하다.

4.4 생물학적 안정성

막에 의한 부유물질과 유기물질의 제거가 가능하지만 저분자물질 또는 용존유기물질의 경우 생물반응조내의 미생물에 의해서만 제거가 가능하다. 또한 폭기조내의 생물학적 불안정성에 의한 활성슬러지의 상태변화는 미생물들의 분비물질에 변화를 가져와 막오염에 커다란 영향을 미칠수 있으므로 생물학적 안정성 유지를 위한 공정의 설계 및 운

전 조건의 확보가 필요하다. 즉, 대상 유입수의 성상에 따른 최적 HRT, SRT, MLSS, F/M ratio 등 운전조건의 확립이 필수적이다.

5. 결론

이상과 같이 침지형 분리막 공정은 침전조가 필요없고 포기조 또한 줄일 수 있어 공정설비에 소요되는 부지의 절감이 가능하며, 높은 MLSS 유지가 가능하여 부하변동에 강해 원수 수질변화에 관계없이 안정된 처리가 가능하며, 고농도의 폐수와 난분해성 물질의 처리에도 유리하다. 또한 슬러지체류시간(SRT)을 길게 유지할 수 있으므로 슬러지소화로 인한 잉여슬러지 발생량이 감소가능하므로 잉여슬러지로 인한 2차 공해문제를 해결할 수 있으며, 처리수의 수질이 슬러지의 침전성에 상관없으므로 유지관리가 비교적 손쉽고 공정구성이 간단하여 처리공정을 자동화할 경우 더욱 많은 비용절감 효과를 볼 수 있다. 따라서 다음과 같이 많은 분야에 활용이 가능할 것으로 예상된다.

- 분뇨, 축산폐수의 무희석 처리공정의 개발 및 사업화
- 고농도 유기성폐수처리 시스템의 개발 및 사업화
- 용수확보가 어려운 지역 및 공장을 대상으로 폐수재활용을 통한 사업화
- 침출수 등 난분해성 폐수처리에 적용
- 중·소규모 생활하수처리 시스템의 패키지화 및 사업화
- 대형건물, 집단 주거지역의 오수처리 및 중수도 시스템 사업화
- 폐수고도처리를 위한 기존 처리장의 개보수사업화

이 경우, 순환에 요하는 펌프와 동력을 줄여 에너지를 대폭적으로 줄이고, 포기조내 포기의 효과로 분리막 표면의 세정효과를 얻을 수 있으며, 별도로 분리막부를 설치하기 위한 장소 및 배관 등의 설비를 줄일 수 있는 공정이 유리하므로, 향후 막 결합형 생물학적 처리공정의 개발동향은 낮은 압력, 낮은 유속으로 전량여과에 가까운 방식으로 운전할 수 있는 침지형 공정 쪽으로 발전할 것이며, 이때 사용되는 분리막의 경우에도 평막이나 관상형 막에 비해 단위용적당 막면적이 큰 중공사막쪽으로 적용이 확대될 것이다. 한편, 이러한 공정이 효과적으로 확립되기 위해서는 새로운 형태의 막모듈개발과 오염에 의한 flux감소의 해결방안, 효과적인 용존산소 및 세정공기의 공급, 미생물 floc 및 운전조건에

따른 투과성능, 최적운전인자들의 도출을 통한 고농도 생물반응기의 유지관리기술 확립이 해결해야할 과제로서 단순한 외국기술의 도입을 배제하고 국내의 실정에 맞는 경제적인 기술이 도입되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Kazuo Yamamoto, "*Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank*", Wat. Sci. Tech., **21**, Brighton, 43-54(1989)
2. Yasutoshi Shimizu, "*Filtration characteristics of hollow fiber microfiltration membranes used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment*", Was. Res., **30**, No.10, 2385-2392,(1996)
3. Tatsuki Ueda, "*Effects of aeration on suction pressure in a submerged membrane bioreactor*", Was. Res. **31**, No 3, 489-494(1997)
4. 첨단환경기술, 1996년 1월호, "중공사막 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수처리"
5. 첨단환경기술, 1996년 5월호, "막분리형 생활배수처리 시스템 현상과 실용화"
6. 첨단환경기술, 1997년 3월호, "침지형평막에 의한 분뇨의 무회석처리"