

## Micro-filter를 이용한 오·폐수의 중수도화

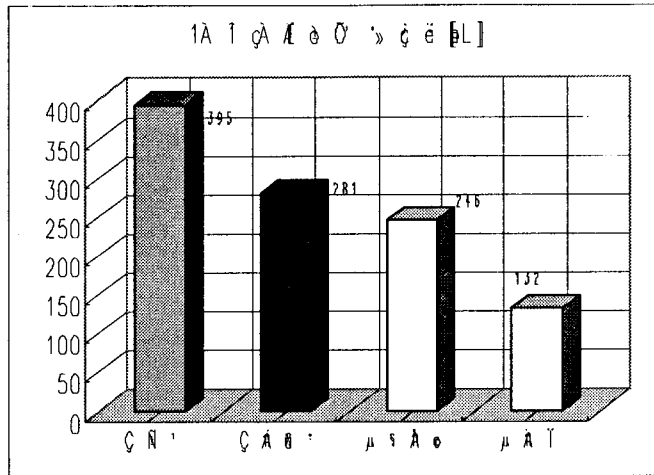
(윤용수, 단국대학교 환경공학과)

# 1. 서론

## 1. 수자원 현황과 대책

### 가. 수자원 현황

우리나라의 1인당 물소비량은 경제협력개발기구(OECD) 회원국 가운데 가장 많으며, 유엔 국제인구행동연구소 자료와 건설교통부의 수자원장기종합계획 등에 의하면 2006년부터 연간 4억t, 2011년부터는 연간 20억t의 물이 각각 부족할 것으로 전망된다. 이에 따라



[그림 1] 1인당 일 평균 사용량

우리나라는 2006년부터 리비아, 모로코, 이집트, 오만,

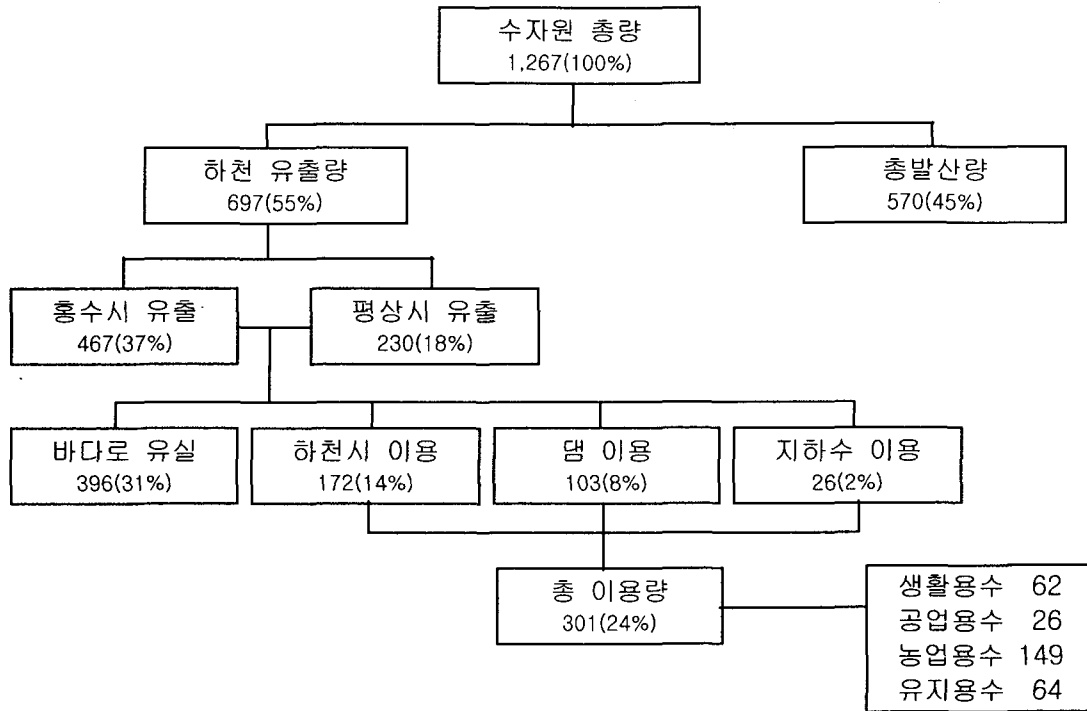
남아프리카, 오만, 폴란드 등과 함께 「물부족국가」 군에 포함될 것으로 예상된다. 최근 자료에 따르면 OECD 회원국 중에 한국인의 1인당 하루평균 물 사용량은 395ℓ로 프랑스(281ℓ), 덴마크(246ℓ), 독일(132ℓ)보다 최고 3배나 많은 것으로 파악됐다고 밝혔다.[그림1 참조]

우리나라의 수자원 현황을 살펴보면 그림 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 우리나라 연간 강수량은 세계 평균보다 높게 나타났으나, 인구밀도가 높기 때문에 1인당 수자원 부존량은 상대적으로 낮게 나타났다.

우리나라 수자원의 전체 이용량 301억톤 중 자연하천수 취수가 57%나 되어 조금만 가물어도 취수장애가 발생하므로 취수안전도를 높이기 위한 댐 건설이 필요하다. 우리나라에 내리는 비의 양을 수자원 총량으로 볼 수 있는데, 연간 약 1,267억톤 정도이며, 이 중 지하로 스며들거나 증발되는 양을 제외하고 하천으로 흘러가는 물의 양은 697억톤이다. 이 중 467억톤은 홍수시에 한꺼번에 유출되고, 평상시 유출량은 230억톤에 불과하다.

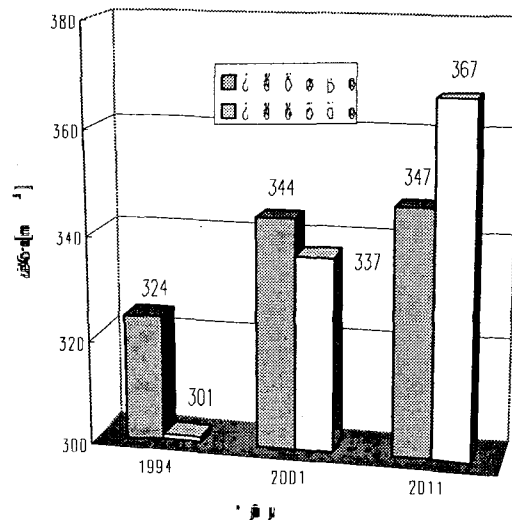
수질면에 있어서는 도시화·산업화에 따라 생활하수 및 공장폐수가 증가하고 농촌지역의 비료·농약 과다사용 및 축산폐수로 인해 전국 하천의 수질오염이 심화

되고 있었으나, 90년대부터 환경기초시설의 투자가 이루어지는 등 최근에는 수질 오염의 악순환에서 벗어나고자 노력 중에 있다.



[그림 2] 우리나라의 수자원 현황

장기적으로 볼 때 급격한 물수요의 증가로 '94년 말 기준 우리나라의 물 공급 능력은 연간 324억 m<sup>3</sup>으로 수요량 301억 m<sup>3</sup>에 비해 약 23억 m<sup>3</sup> (용수예비율 약 7.7%)의 여유량이 있다. 그러나 2000년대에는 국민생활 수준 향상과 도시화 및 산업화의 진전으로 용수수요가 연평균 1.2% 증가되어 2011년의 경우, 66억 m<sup>3</sup>이 늘어난 367억 m<sup>3</sup>으로 21.9% 증가할 전망이다. 현재 건설중인 용담, 남강댐 등 7개 댐을 2001년까지 계획대로 완공된다고 하더라도 2001년 이후에는 전국적으로 심각한 물부족이 발생할 것으로 전망되고 있다.[그림 3., 표 1. 참조]



[그림 3] 용수 수요량과 공급량 관계

[표1] 수자원 예비율

|        | 1994년 | 2001년 | 2011년 |
|--------|-------|-------|-------|
| 예비율(%) | 7.7   | 2.1   | -5.5  |

## 나. 수자원 절약대책

물은 인간생활에 가장 필수적이며 모든 산업의 기본이 되는 소중한 자원이다. 그러나 물은 다른 자원과는 달리 대체재가 전혀 없다는데 그 심각성이 있다. 따라서 물 부족 현상이 발생한다면 국민이 받는 고통과 경제적 손실은 매우 심각할 것이다. 또한, 댐 건설 등 수자원개발 사업은 조사에서 건설까지 10년 이상 소요되기 때문에 물이 부족할 때 시작하면 이미 시기를 잃게 된다. 그러므로 댐 건설에 대한 계획은 미리 준비되어야 하나 장래 계획은 현실조건에 밀려 적기 투자가 매우 어렵다. 그러므로 효율적인 수자원 관리가 요구된다.

수자원 절약을 위한 방안을 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 물 값 인상을 통한 과소비 방지

현행 물 값은 생산원가를 적절히 반영하지 못하고 있으므로 「물 관리 종합대책('98. 5)」에 의거 생산원가의 100%수준까지 물 값 현실화를 추진함으로써 효율적인 물 사용을 권장한다.

### 2) 노후수도관의 개량교체와 수도관리종합시스템 구축

노후수도관 개량교체로 맑은 물의 안정적 공급에 기여함과 동시에 수도관리종합시스템(GIS)의 구축으로 지하매설물에 대한 정확한 정보를 관리함으로써, 수도시설의 사고예방과 물 손실 방지를 도모한다.

### 3) 중수도 시설의 설치 확대 유도

일정규모 이상의 신규 및 기존 건축물 에 대해 중수도 시설 설치 의무화 등의 중수도 사용을 권장함과 동시에 중수도 시설 설치자에 대하여는 수도요금 감면 등의 세제 혜택을 증가시킨다.

### 4) 절수형 수도 기기 개발 및 보급

절수형 수도 기기의 설치 의무화 및 보급확대를 추진한다.

### 5) 물 절약을 유도할 수 있는 홍보전개

「물 사랑 나라사랑」 캠페인으로 물의 소중함과 물 절약 의식 제고와 함께 국민 물 교육의 지속적인 실시로써 실생활 가운데서 응용되는 교육을 실시한다.

## 2. 우리나라 중수도의 기술수준 및 분석

우리나라에서 중수도 생산을 위하여 사용하고 있는 처리기술은 상수 및 오·폐수처리에 사용되고 있는 기술과 유사하며, 유입원수의 종류, 수질 및 이용 용도에 따라 처리방법이 매우 다양하지만, 크게 생물학적, 화학적 처리방법 등으로 분류된다. 중수처리기술은 원수의 수질을 고려하여 선정되나, 일반적으로 전처리, 주처리, 후처리 그리고 소독과정으로 분류되어지며 이러한 공정별 처리방법은 다음과 같다.

### 가. 전처리 공정

전처리는 유입원수의 생물학적, 화학적 특성을 변화시키지 않는 범위 내에서 물리적 방법을 이용하여 혐잡물의 제거와 유량조정 역할을 담당하는 것으로 스크린, 파쇄기, 침사지, 유량조정조 등과 같은 단위공정을 이용한다.

### 나. 주처리 공정

전처리 공정에서 제거되지 않은 유기물질, 부유물질 등과 같은 오염물질을 제거하는 공정으로 오염원의 성분에 따라 활성슬러지법, 접촉산화공정 등과 같은 생물학적 처리방법과 막을 이용한 처리방법 등이 사용되나 막을 이용한 처리의 경우 생물학적 처리방법 이후 고도처리를 위한 후처리 공정으로 사용되기도 한다.

#### 1) 생물학적 처리방법

미생물의 생물학적 대사작용을 이용하여 오·폐수 중의 유기물질과 부유물질을 처리하며 대표적인 처리방법으로 활성슬러지법, 접촉산화공정, 미생물첨가방식, 장기폭기법 등이 있다. 일반적으로 생물학적 처리방식은 잡 배수 및 오수와 같은 유기물이 다량 함유된 오·폐수의 처리에 많이 이용되며 BOD 제거율 한계와 처리수 중의 냄새 및 색도가 남는 문제점이 있다.

이들에 대한 비교 검토는 다음의 [표2]와 같다.

[표 2] 생물학적 처리법의 비교

|               | 장가폭기법                     | 접촉산화법                            | 미생물첨가법                        |
|---------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 주처리 공정        | 폭기조, 침전조                  | 접촉조, 침전조                         | 폭기조, 배양조, 침전조                 |
| 처리효율 (BOD,SS) | 95%, 85%                  | 95%, 85%                         | 95%, 96%                      |
| 슬러지 발생량       | 제거 BOD의 40-50%            | 제거 BOD의 30%                      | 제거 BOD의 25%                   |
| 슬러지 반송량       | 30-200%                   | 불필요                              | 30-150%                       |
| 관리성           | 초기운전의 어려움, 문제점 발생시 대처가 용이 | 비교적 용이, 폭기조의 정상 운전 에 소요되는 시간이 길다 | 정상 운전시 관리가 비교적 쉬우나 초기 운전이 어려움 |
| 악취발생          | 악취제거시설필요                  | 악취제거시설필요                         | 악취제거시설 불필요                    |
| 미생물현상         | 호기성                       | 호기, 혐기성                          | 임의성(통성혐기성)                    |
| 소요면적          | 처리용량×1.9-2배               | 처리용량×1.6-1.7배                    | 처리용량×1.7-1.8배                 |

## 2) 막 처리 기술

생물학적 처리방법이나 일반적인 여과시설로는 처리가 어려운 미세 입자 또는 수중에 용해되어 있는 물질 등을 제거하기 위하여 사용되는 공정으로 정밀여과법, 한외여과법, 역삼투법 등과 전기영동 및 이온교환막을 이용하는 전기투석법이 있다. 현재 막 처리법은 초기 보급단계라 할 수 있으며 개별 건축물이나 공장 등에서 넓은 부지를 필요로 하지 않으며 운전이 용이하며 유지관리가 용이한 중수 처리기술로서 각광을 받고 있는 새로운 공법이라 할 수 있다.

막을 이용한 처리방법의 장점은 다음 [표3]과 같다.

[표 3] 막 처리 기술의 장점

| 장 점            |                    |
|----------------|--------------------|
| - 우수한 수질 확보    | - 유지관리가 용이         |
| - 응집제가 필요없음    | - 부산물을 생성하지 않음     |
| - 자동화, 무인화가 용이 | - 여러 가지 성분 동시제거 가능 |
| - 처리부지가 작아짐    |                    |

#### 다. 후 처리 공정

후 처리 공정으로는 침전지, 응집시설, 여과 및 활성탄 흡착 등으로 분류할 수 있으며 오·폐수처리 과정에서 침전 가능한 고형물질을 침전 제거함으로써 오염부하를 줄이고 후 공정에 적합한 수질을 제공할 수 있도록 하기 위하여 사용된다. 막 분리공법은 후처리 공정을 생략할 수 있으며 필요시 간단한 색도 제거 장치의 이용으로 탈색이 가능하다.

#### 라. 소독

중수처리공정 중 마지막 공정으로서 주 처리 공정에서 제거되지 않은 처리수 중의 병원균을 소멸하고 슬라임의 발생 억제를 위하여 사용되며, 화학적 침전제를 사용하는 살균방법과 물리적 살균에 의한 방법으로 구분되나, 살균제를 투입하는 방법이 주로 사용되고 있으며 화학적 소독시 사용되는 약품으로는 염소, 브롬, 요오드 등이 있으나 이중 염소를 이용하는 경우가 가장 많다. 이밖에도 오존 소독과 자외선처리도 소독공정에 이용된다.

염소소독과 오존소독의 장단점을 살펴보면 다음 표와 같다.

[표 4] 염소소독과 오존 소독의 비교

|      | 장점   | 단점  |
|------|--|---|
| 염소소독 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 강력한 산화력</li> <li>- 소독의 효과를 잔류염소의 측정으로 예측 용이</li> <li>- 소독 효과가 지속적임</li> <li>- 가격이 저렴</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 잔류염소에 의해 방류수역의 수질 영향</li> <li>- THM과 같은 유해물질 발생</li> </ul> |
| 오존소독 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 강한 산화력<br/>(페놀, 시안화합물은 물론 살충제와 같은 유기물도 제거)</li> <li>- 방류수의 용존산소 증가</li> <li>- 처리장치 소형</li> <li>- 병원균 및 박테리아 살균</li> <li>- 색도 제거 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 불안정성으로 인한 반감기 짧음</li> <li>- 염소소독에 비해 설치비가 비싸다</li> </ul>   |

#### 마. 기타공정

중수처리공정에서도 오·폐수 처리공정에서와 마찬가지로 침전지, 생물학적 처리공정, 응집처리 공정, 여과조 등으로부터 슬러지가 발생하며 슬러지의 처리는 현행의 오·폐수 처리시설과 같이 농축, 소화, 탈수, 건조 등의 순으로 처리된다.

### 3. 중수처리 현황

우리나라는 내년부터 일일 물 사용량이 600톤 이상인 대형신축건물의 경우 중수도 설치를 의무화를 하고 있다. 1996년 전국 30개소의 빌딩과 공장에 보급되었던 것이 현재 약 68개소로 확대되었으며, 중수도 시설을 설치 운영 중에 있는 건축물은 중수도의 사용용도, 수량별 이용 현황, 주 처리 공법 등 각 사업소의 성격에 따라 매우 다양하다.

중수처리 설비를 설치운영 중인 건축물의 현황과 시공중인 건물 현황은 [표 5]와 같다. 중수도의 용도별 이용현황에 있어서 화장실 세척수로서의 이용이 가장 많으며 다음으로는 냉각수, 청소용수, 세정수의 순으로 중수도가 사용되고 있는 것으로 나타났다.

[표 5] 중수도의 용도별 이용 현황

|                 |       | 청소<br>용수 | 화장실<br>세척수 | 공정<br>용수 | 냉각수 | 세정수 | 조경<br>용수 | 난방<br>용수 | 세륜,<br>세차수 | 합계 |
|-----------------|-------|----------|------------|----------|-----|-----|----------|----------|------------|----|
| 공<br>장          | 전기·전자 | 2        | 6          | 3        | 5   | 6   |          |          |            | 23 |
|                 | 제지    | 1        |            | 7        | 3   | 3   |          |          |            | 14 |
|                 | 섬유    |          |            |          | 7   | 4   |          |          |            | 11 |
|                 | 자동차   |          |            | 2        |     |     |          |          |            | 2  |
|                 | 철강/항공 | 1        | 1          |          | 1   | 1   | 1        |          |            | 5  |
| 소계              |       | 4        | 7          | 12       | 16  | 14  | 1        |          |            | 53 |
| 열병합발전소,<br>난방공사 |       |          |            |          |     |     |          | 1        | 1          | 2  |
| 백화점             |       | 3        | 6          |          |     |     |          |          |            | 9  |
| 레저시설            |       | 3        | 5          |          |     |     | 2        |          |            | 10 |
| 호텔              |       |          | 3          |          | 1   |     | 1        |          |            | 5  |
| 공공건물            |       | 3        | 9          |          |     |     | 1        |          |            | 13 |
| 다세대빌딩           |       |          | 2          |          |     |     |          |          |            | 2  |
| 병원              |       | 1        |            |          |     |     |          |          |            | 1  |
| 합계              |       | 14       | 32         | 12       | 17  | 14  | 5        | 1        | 1          | 95 |



#### 4. 중수도의 용도별 수질기준

우리나라의 중수도 수질기준은 아래 [표 6]과 같이 용도별로는 수세식 화장실 용수, 살수용수, 조경용수로 구분되어 있으며, 수질조사 항목으로는 대장균군수, 잔류염소, 외관, 탁도, BOD, 냄새, pH 등이 있다. 중수의 용도는 인체의 위생적 안정성을 고려하여 결정되어야 하며 중수의 기준항목도 대부분 이용자의 기호도, 불쾌감, 위생적 관점 등을 고려하여 결정하여야 한다.

[표 6] 중수도의 용도별 목표수질

| 중수도의 용도<br>항 목 | 중수도의 수질 기준         |              |              |
|----------------|--------------------|--------------|--------------|
|                | 수세식 화장실 용수         | 살수용수         | 조경용수         |
| 대장균수           | 1mL당 10을 넘지 아니할 것  | 검출되지 아니 할 것  | 좌 동          |
| 잔류염소           | 검출될 것              | 0.2mg/L이상일 것 | -            |
| 외관             | 이용자가 불쾌감을 느끼지 않을 것 | 좌 동          | 좌 동          |
| 탁도             | 5도를 넘지 아니할 것       | 좌 동          | 10을 넘지 아니할 것 |
| BOD, mg/L      | 10을 넘지 아니할 것       | 좌 동          | 좌 동          |
| 냄새             | 불쾌한 냄새가 나지 아니할 것   | 좌 동          | 좌 동          |
| pH             | 5.8 ~ 8.5          | 좌 동          | 좌 동          |

자료: 수도법시행 규칙, 중수도 수질 기준 별표 1 (개정 1998.2.28)

그러나, 오·폐수를 처리하여 재 이용하는 중수의 경우 수돗물과는 달리 여러 가지 오염물질이 포함되어 있으며 이러한 오염물질은 중수 이용시 심미적, 위생적인 문제뿐만 아니라 중수처리설비의 유지관리 및 이용상에 지대한 영향을 미치므로, 보다 다양한 오염항목에 대하여 설정되도록 개선되어야 한다. 또한 중수도 원수의 종류 및 용도가 점차 다양해지고 있는 추세에 있으므로 중수의 용도별 목표수질 설정시 중수도의 용도 또한 다양하게 구분되어질 필요가 있다. 일반적인 폐수 속의 오염인자를 보면 다음 [표 7]과 같다.

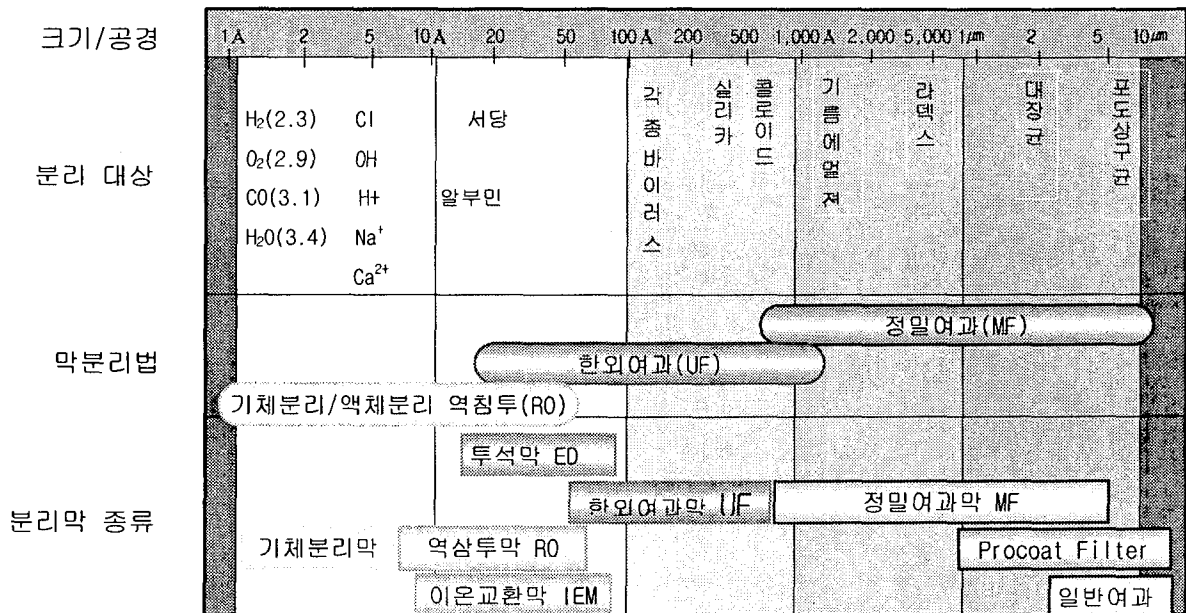
[표 7] 폐수 중에 포함된 일반적인 불순물

| 성분    | 화학식                                    | 장애                           | 대책             |
|-------|--|------------------------------|----------------|
| 탁도    | Kaolin degree로 표시                      | 탁액 형성, 밸브조작 저해               | 응집침전, 여과처리     |
| 색     | 색도로 표시                                 | 침전물과 결합 후 착색형성               | 응집침전, 활성탄 흡착처리 |
| 경도    | Ca-H, Mg-H를 CaCO <sub>3</sub> ppm으로 표시 | 열교환기, 보일러 등에 스케일 형성          | 양이온 교환처리       |
| pH    | 수소이온 농도                                | pH가 높을 경우 스케일 형성, 낮을 경우 부식증가 | 적정 pH 유지       |
| 염화물   | Cl <sup>-</sup>                        | 물의 부식성 증가요인                  | 탈염, 증류         |
| 불소    | F <sup>-</sup>                         | 강한 부식성                       | 응집침전           |
| 실리카   | SiO <sub>2</sub>                       | 스케일 형성                       | 음이온 교환처리       |
| 철     | Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>    | 색도형성, 부식 재유발                 | 양이온 교환, 흡착처리   |
| 산소    | O <sub>2</sub>                         | 부식의 직접적인 원인                  | 탈기처리, 부식억제제 사용 |
| 황화수소  | H <sub>2</sub> S                       | 악취유발                         | 폭기, 음이온 교환처리   |
| 암모니아  | NH <sub>3</sub>                        | 동재질의 부식, 염소살균제의 효과 저하        | 여과 흡착          |
| 전기전도도 | 비전도도로 표시                               | 다량의 경우 fouling 유발            | 탈염, 증류 등       |

## 2. 막분리 활성슬러지법(MBR)

막분리 공정이란 두 개의 3차원 균일상을 분리시키고 상의 물리화학적 성질에 의해 두 상간의 물질 및 에너지의 전달속도가 좌우되는 제 3의 상(phase)으로 정의되는 막(membrane)의 선택적 투과성을 이용하여 압력차, 농도차, 전위차, 분압차 등을 구동력으로 기상, 액상의 혼합 물질 중에서 목적 물질만을 분리, 농축, 분별해 내는 공정을 말한다. 이러한 분리막을 이용한 수처리 기술은 해수의 담수화에 의해 제일 먼저 상용화 되었다. 막 분리 공정은 고분자 필름형태의 막 제조와 이를 상업적으로 사용할 수 있도록 모듈(module)화 하는 기술이 핵심기술이며, 이를 system화시키는 엔지니어링이 결합된 기술이다. 따라서 막의 재질, 형태에 따라 여러 분야에 응용할 수 있으며 엔지니어링 기술이 개발됨에 따라 그 적용범위가 점차 확대되어 가고 있다. 막 분리 기술이 폐수처리에 적용되기 시작한 것은 1985년 초 산업폐수 처리와 중수도 설비에 한외여과막(UF;Ultra Filtration)이 사용되면서 부터이다

그림 4는 분리막의 종류와 분리방법을 도시화하였다.



[그림 4] 막분리 종류 및 막분리 방법

## 1. 분리막 분류

일반적으로 분리막은 막의 재질, 분리 메커니즘, pore size, 그리고 구조에 따라 분류될 수 있다.

### 가) 재질에 따른 분류

막 분리에 이용되는 막은 재질에 따라 크게 고분자를 이용하는 유기합성 막과 세라믹과 같은 무기성 막으로 분류될 수 있다.

유기 막은 막 소재의 고분자를 용해 또는 용해시킨 후, 필름상, 중공사상, 관상으로 응고시켜 만들며, 정밀여과막, 한외여과막, 나노여과막, 역삼투막에 사용되고 있다. 무기막은 원료의 미립자를 소결하는 소결법과 금속알코키시드 등의 액상반응을 이용하여 막을 제조하는 졸겔법 등이 있으며 현재로서는 MF, UF막이 있다

### 나) 분리메커니즘에 따른 분류

분리막은 그 분리메커니즘에 따라 흡착막, 확산막, 이온 교환막, 삼투막, 선택성 막으로 분류된다.

### 다) Pore size에 따른 분류

분리막은 pore size에 따라 micro filter(MF), ultrafilter(UF), reverse osmosis(R/O) 등으로 나눌 수 있다.

RO막의 대표적인 사용 예로는 해수를 약 6 MPa의 고압을 걸어 담수를 얻는 해수 담수화나 과즙의 농축, 폐수처리 등이 있다. UF막의 대표적인 사용 예로는 용해하고 있는 고분자에 제한되지 않고 바이러스, 세균, 효모, 콜로이드, 미립자 등의 분리·정제·농축으로 여러 갈래로 나뉘어져 있다. 막 여과는 상온 이하의 저온에서도 가능하기 때문에, 변질하기 쉬운 의약품과 식품 프로세스에 유용하다. MF막의 대표적인 사용 예로는 물, 유기용제, 화학약품 등의 액체 중에 포함되어 있는 현탁물질, 콜로이드 입자, 균체 및 공기나 각종 gas 등의 기체 중에 부유하는 미립자와 세균을 보다 효율적으로 제거하거나 정제 혹은 분리하는 것 등이 있다.[표 8참조]

[표 8] Pore size에 의한 분리막 분류

| 구분    | 분리 입경, 분자량           |
|-------|----------------------|
| 정밀여과막 | 분리입경 0.01 $\mu$ m 이상 |
| 한외여과막 | 분자량1000~300,000      |
| 나노여과막 | 분자량 최대수백             |
| 역삼투막  | 분자량 수십               |

라) 구조에 따른 분류

비대칭 막은 막의 단면을 주사형 전자현미경(SEM) 사진으로 보았을 때 막의 표면에 skin층이라고 부르는 치밀한 얇은 층을 가지며, 기타 대부분은 이 skin층을 지지하는 지대층으로 구성하고 있는 것 같은 구조를 하고 있으며, 대칭막은 그 단면구조가 앞 뒤 대칭으로 되어 있다.

[표 9]는 일반적으로 폐수처리에 적용되는 분리막을 나타내었다.

[표 9] MF, UF, RO에 의한 폐수처리

| 처리 방식     | 내 용   | 실시 예                                  | 사용막  |                               |                            |
|-----------|-------|---------------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|
| 직접 여과     | 단독 처리 | 분리회수                                  | 섬유유제 처리 Clowed化<br>전착도료 회수                                 | UF<br>UF,RO                   |                            |
|           |       | 농축                                    | 에멀전 배수<br>표백 크라프트지 알칼리 배수의 농축                              | MF<br>UF                      |                            |
|           |       | 세균 제거· 미립자 저지                         | 하수의 고도처리   | UF, MF                        |                            |
|           |       | 미립자 저지· 분리                            | 웨이퍼 절삭액 회수<br>원자력 발전터빈 중수, 배수처리<br>연마액 회수<br>카본제거(강관공장 폐수) | MF<br>MF<br>MF<br>MF          |                            |
|           | 다단 처리 | 용질분리(탈염)                              | 하수의 고차처리(응집)<br>매립지 침출액                                    | MF+RO<br>MF+RO                |                            |
|           |       | COD 제거                                | 식품공장 폐수처리  | MF+RO                         |                            |
|           | 조합 여과 | 생물학적 처리                               | 호기성활성오니<br>→고액분리   | 맥주폐수처리<br>생활하수처리<br>분뇨처리      | UF, MF<br>UF, MF<br>UF, MF |
|           |       |                                       | 생물막여과 →정제  | 반도체공장 유기성 폐수처리                | MF+RO                      |
|           |       |                                       | 혐기성활성슬러지<br>→고액분리  | 기름함유, 유기성 폐수처리<br>전기 도금폐액처리   | UF<br>MF                   |
|           |       |                                       | 효모 →고액분리   | 기름함유 생활하수처리(호텔주방등)            | MF, UF                     |
| 물리·화학적 처리 |       | 활성슬러지→세균 제거<br>→용질분리(생물산화)            | 유기용제 함유 폐수처리   | UF+RO<br>MF+RO                |                            |
|           |       |                                       | 도금폐액 처리<br>TV 스티린공장 폐수처리<br>전기분해· 연마폐수처리<br>피혁 무두질 폐수처리    | MF<br>MF<br>MF<br>MF          |                            |
|           |       | 난용화(예: HF→CaF <sub>2</sub> )<br>→여과회수 | 반도체공장 폐수처리<br>스테인레스 산세정 폐수처리                               | MF<br>MF                      |                            |
|           |       | 투석(산·알칼리·저분<br>자회수) →탈염               | 도금공장 무배수 시스템<br>알루미늄 새시공장폐수 탈염                             | MF(PERF I L T E R)<br>RO(재탈염) |                            |
|           |       | 응집→여과· 회수                             | 절삭유 폐수처리   | MF                            |                            |
|           |       |                                       | 유리연마액 폐수처리(유리가루)   | MF                            |                            |

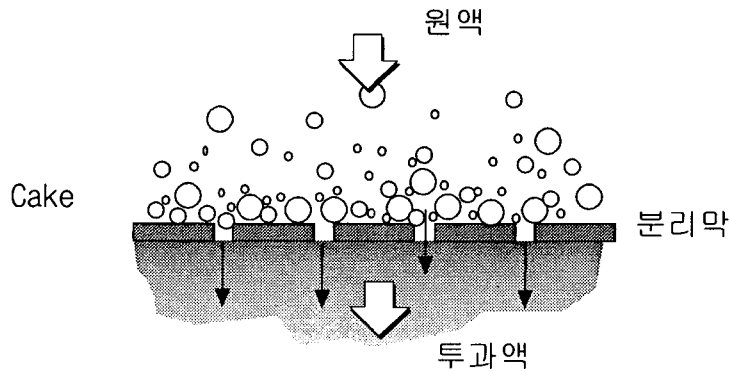
## 2. 막분리 여과방식과 여과 구동력

### 가. 막분리 여과방식

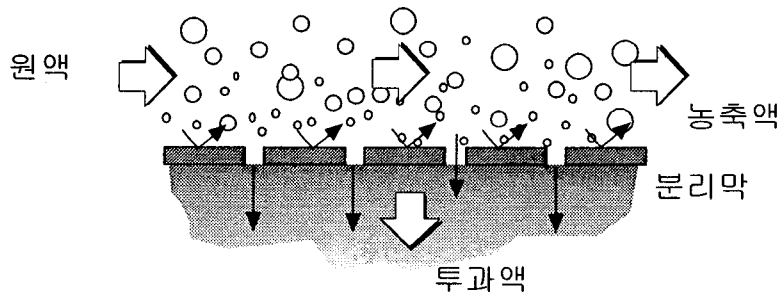
막 분리는 그림 5와 같이 SS를 폐수의 흐름 방향과 처리수의 투과 방향이 같은 dead-end flow 방식과 폐수의 유입 방향은 막 면에 대하여 평행이고 처리수의 투과방향이 막 면에 수직방향인 cross-flow 방식이 있다.

Dead-flow 방식의 경우 제거되는 SS가 막 표면에 축적되기 때문에 농축액을 주기적으로 제거하여야 하기 때문에 운전상의 어려움이 있다. 그러나 cross-flow의 경우 제거되는 SS가 막 표면에 축적되지 않기 때문에 운전관리가 대단히 용이한 장점이 있으므로 최근 널리 이용되고 있다.

특히 막 분리법을 활성슬러지법과 연계하여 처리하는 경우 반응조내의 활성슬러지 농도를 증가시킬 수 있으므로 반응기 단위부피 당 유기성 오염물질(BOD) 제거능력이 증가하여 처리 효율을 향상시킬 수 있으며 BOD 과부하시에 대처 능력이 향상된다.



a) Dead end 여과방식



b) Crossflow 여과방식

[그림 5] 막여과 방식

일반적으로 막분리와 활성슬러지법을 연계한 공법의 경우, 활성슬러지를 그 입자 직경보다 구멍지름이 작은 막 면에 평행으로 흐르도록 해서 처리수만을 막면에 대해 직각으로 투과시켜 활성슬러지 입자의 투과를 방지하는 Cross-flow 여과 방식이 적용된다. 이 방법은 활성슬러지 성상에 거의 영향을 받지 않고 고액분리가 가능해 항상 안정된 처리수를 얻을 수 있으며, 활성슬러지 농도를 침전분리법보다 3~5배 이상 높일 수 있기 때문에 폭기조 용량을 1/3 - 1/5로 축소할 수 있다.

#### 나. 막분리 여과 구동력

또한, 막분리 여과방법의 여과 구동력에 따라 두가지로 나눌 수 있다.

① 막분리 장치 상부에 존재하는 혼합액의 수두를 이용해 막카트리지의 투과액측의 대기압이상의 상태로 운전하는 자연압여과와

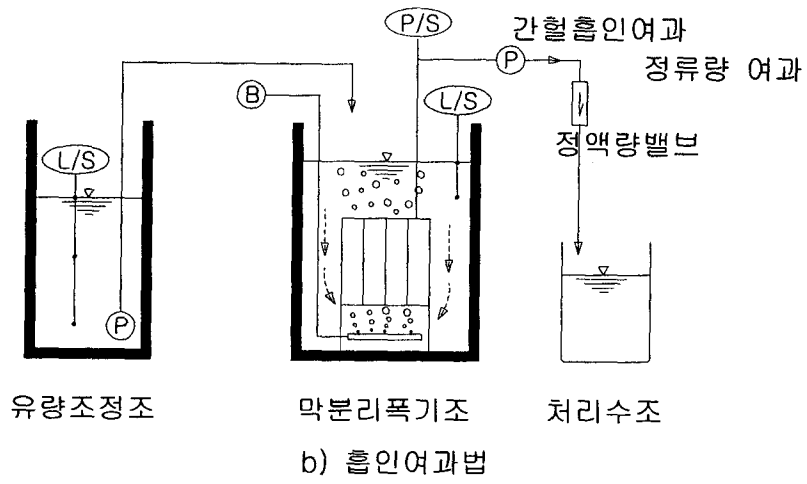
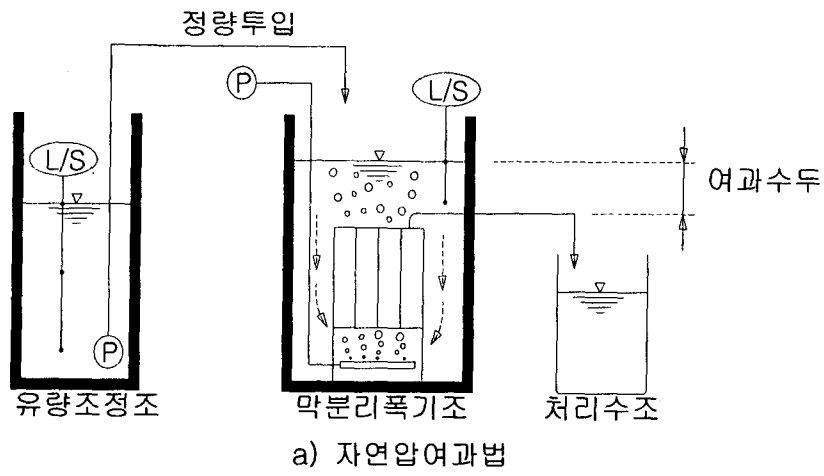
② 펌프를 이용해 막모듈의 투과액측을 대기압 이하의 부압으로 설정해 막사이의 차압을 얻는 흡인여과

등이 있으며 자연압여과인 경우는 연속 여과운전을, 흡인여과인 경우는 간헐 여과운전을 실시한다. 자연압여과법과 흡인여과법의 특징을 아래의 [표 10]에, 그 흐름도를 각각 그림 6에 나타내었다.

자연압여과, 흡인여과의 선택은 처리규모, 유지관리를 살펴서 선택하는데 특히 소형 처리설비에는 필요한 보충 기기류가 적어지는 가압여과법이 적합하며, 소형 합병정화조에 막분리를 이용하는 경우도 효과적일 것으로 기대된다.

[표 10] 여과방법의 특징

| 구분     | 흡인여과법       | 자연압여과법     |
|--------|-------------|------------|
| 여과 구동력 | 흡인펌프에 의한 부압 | 막모듈 상부의 수두 |
| 여과압력   | 4-5 kPa     | 3-15kPa    |
| 여과방법   | 간헐여과        | 연속여과       |
| 투과유속제어 | 정류량밸브       | -          |



[그림 6] 가압여과법과 흡인여과법



### 3. 막분리 활성슬러지법(MBR공법)

우리나라에서는 막분리법은 주로 의료 및 제약업계에서 무균수의 제조에 응용되기 시작하였으며, 점차 폐수처리에 응용, 확대되고 있는 추세이다.

하·폐수처리를 고도처리하여 양질의 처리수를 얻기 위해서는 콜로이드물질 제거, 영양소(질소·인)제거, 살균 등이 요구된다. 이 경우에는 막 분리 단독공정보다는 막 분리와 생물학적, 화학적 처리공정과 혼성시스템을 구성(MBR:Membrane BioReactor)하여 양질의 중수를 생산할 수 있고 이 중수는 지하수 보충수, 청수수, 화장실 세척수 등으로 재 이용함으로써 용수 사용량의 절감에 효과를 거두고 있다. 또한 산업체에서의 폐수의 고도처리 후 공업용수로 공정내부에 재 사용함으로써 폐수감량 또는 무방류시스템을 구축하여 오염방지에 크게 기여하고 있다.

#### 가. 막분리활성슬러지법의 잇점

막에 의한 폐수처리는 막 단독으로 하는 단독처리, pore 크기에 따라 분리·분획능이 각기 다른 막들의 조합에 의한 다단처리로 나뉘어 지며, 처리공정이 막에만 의존하는 직접여과, 생물학적처리, 화학적 또는 물리적 처리와의 연계한 Hybrid 시스템으로 나눌 수 있다. 그 중 활성슬러지의 고액분리에 막을 사용하는 생물학적 처리와의 조합처리는 유기성 산업폐수처리, 생활하수처리의 고도화, 효율화를 목적으로 일부 실용화되기 시작하였다.

생물학적 처리와 막을 조합시킨 막분리활성슬러지법(MBR:Membrane Bio-reactor)에 의한 폐수처리는 [표 11]에 나타난 바와 같이 많은 잇점이 고려되어 중수도, 분뇨처리 혹은 산업폐수 처리의 일부에 응용되고 있다.

[표 11] MBR 공법의 잇점

| 잇 점  |
|--|
| - 처리수질이 슬러지의 침강성에 좌우되지 않는다(SS 완전제거)                    |
| - 미생물의 고농도 유지와 분산상태의 고효율성 유지에 의해 고도의 유기물 분해를 기대할 수 있다. |
| - 질화세균의 고농도· 고효율성 유지, 고농도 활성슬러지에 의한 내생탈질소로 질소제거가 쉽다.   |
| - 특수 미생물의 증식· 유지가 가능하며, 그로 인해 난분해성 물질을 분해할 수 있다.       |
| - 슬러지 체류시간을 극대화하는 것이 가능하며, 잉여슬러지 발생량을 최소화할 수 있다.       |

## 나. 막분리활성슬러지법의 운전 방법

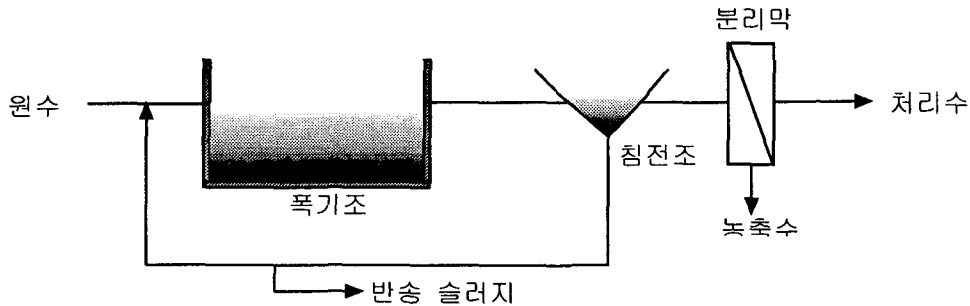
### 1) 순환형 막분리활성슬러지법

순환 활성슬러지법은 분리막을 casing에 수납하여 막 모듈로서 사용하는 방식으로 그림 7의 (a)와 같다.

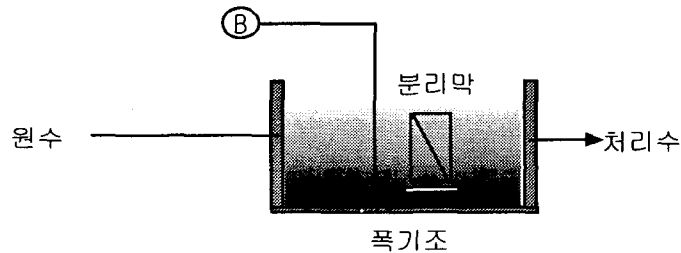
일반적으로 고압의 펌프로 casing 내부에 공급수를 흘려보내어 막여과를 행한다. 원수수조, pump 및 막 모듈로 구성되어 있으며, 한외여과막과 역삼투막은 순환 막분리활성슬러지법의 막 모듈로서 사용되어 왔다. Spiral이나 중공사, 관형 막 모듈처럼 압력에 견디는 구조이며, 단위 용적당 막면적을 크게 할 수 있는 구조로 되어 있다.

### 2) 침지형 막분리활성슬러지법(SMBR공법)

순환 막분리활성슬러지법의 casing을 침적하는 조로 바꾸어 놓은 방식이 침전 막분리법(SMBR ; Submerged Membrane Bio-Reactor)이다. 폭기조가 casing의 역할을 떠맡고 있는 것이기 때문에 순환 막분리활성슬러지법처럼 각 모듈에 원수를 분배하는 배관이 불필요하다. 침전 막분리활성슬러지법은 폭기조라고 하는 큰 casing에 막을 침전하고 있기 때문에 전체 공정의 공간면적을 감소시킬 수 있다. 또 구동압력이 수위차나 흡인이기 때문에 정밀 여과막 등 작은 압력에서 막 여과가 가능한 막이 선택되고 있다.[그림 7(b)참조]



(a) 순환형 막분리활성슬러지법



(b) 침지형 막분리활성슬러지법

[그림 7] 막분리 여과 구동력에 따른 분류

### 3. 침지형 막분리활성슬러지(SMBR) 공정

#### 1. SMBR 공정 개요

SMBR(Submerged Membrane BioReactor)공정은 생물학적 처리가 일어나는 기존 활성오니조내에 평판 정밀여과막을 침지시켜 활성슬러지와 처리수를 완벽하게 고액분리를 하여 양질의 처리수를 얻는 방법이다.

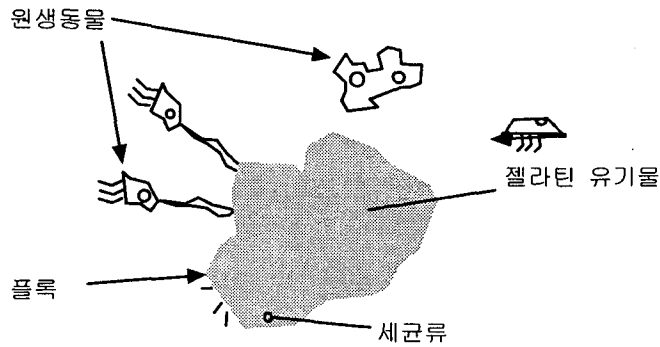
분리막을 이용한 처리공정은 폭기조 내에 분리막을 설치하여 유기물 및 부유물질(SS)를 처리함으로써 유기물 제거 및 영양원의 제거효율을 증가시킬 수 있으며, 이후 공정으로 사용 용도에 따른 중수도에 적합한 재활용수를 얻을 수 있다.

그 운전 방법에 따라 크게 유기물과 SS제거를 위한 SMBR공정, 영양원인 질소·인 제거를 위한 고도처리 SMBR공정, 그리고 중수도를 위한 색도제거 공정을 추가한 SMBR공정으로 나눌 수 있다.

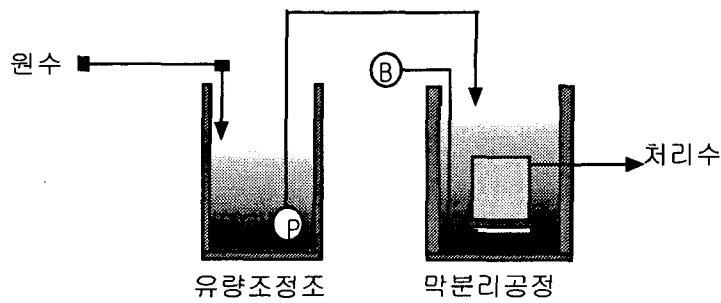
#### 가. 유기물과 SS 제거를 위한 SMBR 공정

SMBR공정은 기존 활성오니내에 분리막을 침지시켜 완벽한 고액분리를 이루는 공정으로서, 분리막에 의한 활성슬러지의 고액분리라는 기능에 의해 고려해 본다면, 활성슬러지는 대부분 세균군, 원생동물, 젤라틴 상태의 유기물에서 비롯된 무생물의 세가지 성분으로 구성되어 있다. 즉 세균군과 젤라틴 상태의 유기물이 일체가 되어 플러클을 형성하고 이 플러클에 원생동물과 혼탁질의 일부가 부착 또는 흡착되어 활성슬러지를 형성한다. 따라서 세균류가 0.2-1 $\mu$ m, 원생동물이 적어도 30 $\mu$ m이상이 되면 활성슬러지는 수십  $\mu$ m이상이 된다. 따라서 활성슬러지의 고액분리에 사용되는 분리막의 경우 흔히 말하는 정밀여과막으로 충분하다고 할 수 있다. 그림 8은 활성슬러지의 모식도를 나타낸 것이다.

기존의 생물학적 처리방법은 유입수의 유기물 부하나 운전상의 영향 및 벌킹현상에 따라 침전성의 불량으로 인해 처리수질이 큰 영향을 받는다. 그러나 SMBR공정은 10,000 - 15,000 mg/L의 고농도 MLSS유지가 가능함으로써 유입수의 부하나 온도의 변화에 관계없이 일정한 처리수를 얻을 수 있으며, 미생물 체류시간을 증가로 인한 완벽한 유기물 제거가 가능하다. 공정도는 아래 그림 9와 같다.



[그림 8] 활성슬러지의 모식도

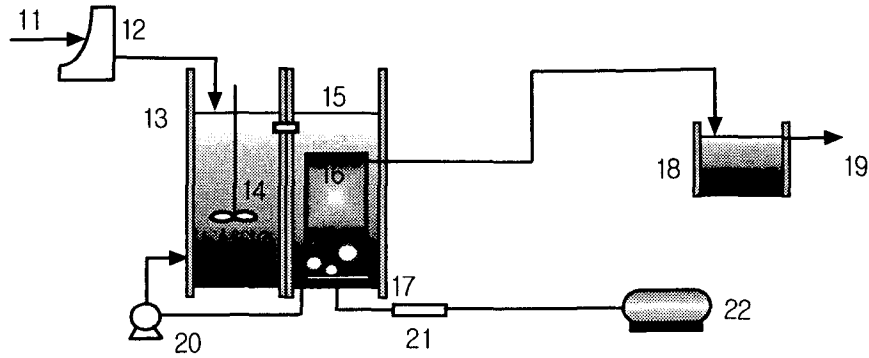


[그림 9] 유기물 및 SS 제거를 위한 SMBR공정

#### 나. SMBR을 이용한 하·폐수의 고도처리

고도처리 SMBR공정은 기존 폭기조를 분할하여 1,2 반응조로 나누고, 제 1반응조는 무산소조로, 제 2반응조는 호기성 상태를 유지하는 폭기조의 공정을 도입한 공정이다. 이로써 유기물 제거 및 영양원의 제거효율을 증가시켰으며, 그 공정도는 그림 10과 같다.

일반적인 생물학적 처리방법에 의한 질소제거는 미생물의 동화작용(bacterial assimilation)에 의한 질소제거방법과 유입 폐수내의 암모니아와 유기성 질소 등이 일정 조건하에서 질산성 질소와 아질산성 질소로 변화되어 유출수에 얼마만큼 존재하느냐에 따른 질산화(nitrification)과정과 질산화를 걸친 질산성 질소 등이 처리 시스템에서 환원되어 대기 중에 질소가스로 배출됨으로써 질소화합물을 제거하는 과정인 탈질화(denitrification)과정으로 구분된다.



- |          |            |            |
|----------|------------|------------|
| 11: 원수   | 12: 스크린    | 13: 제 1반응조 |
| 14: 교반기  | 15: 제 2반응조 | 16: 분리막    |
| 17: 산기관  | 18: 처리수조   | 19: 재활용수   |
| 20: 반송펌프 | 21: 풍량계    | 22: 송풍기    |

[그림 10] SMBR 공정을 이용한 하·폐수 고도처리 흐름도

본 공정에서의 질소제거는 제 2반응조를 호기성 상태의 반응기로 유지하여 질산화를 유도하고 질산화 된 혼합액이 무산조로 운영되는 제 1반응조로 반송되어 탈질을 유도하여 제거시킬 수 있도록 하였다. 또한 질소가 세포합성에 필수적인 요소이기 때문에 생물학적 처리과정의 세포합성에 따라 세포구성에 필요한 만큼 질소가 제거되며 F/M비의 변화에 따라 소요되는 BOD당 NH<sub>3</sub>-N가 제거되는 비율은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d\text{NH}_3 - \text{N}}{dBOD} = 0.125Y - \frac{0.125X_a K_b}{F/M}$$

여기서, Y: yield coefficient(gVSS/gBOD)

X<sub>a</sub>: 분해가능한 MLVSS

K<sub>b</sub>: Decay rate(gVSS/gVSS·day)

만약, F/M비가 0.1 day<sup>-1</sup>로 운전될 경우 dNH<sub>3</sub>-N/dBOD비는 0.0180이 되어 유입수의 BOD가 120 mg/L이고 유입수 질소농도가 30mg/L인 도시하수를 활성슬러지법으로 처리할 때 질소제거 효율을 8~20% 정도가 된다. 본 공정으로 고농도 유기성 폐수의 경우 8,000 ~ 15,000 mg/L의 MLSS가 가능하므로 질소 제거율이 상승된다. 본 공정에서의 질소 제거 메커니즘을 그림 11과 같이 나타낼 수 있다.

| 공정구분  | 반응 메카니즘   |   |
|-------|-----------|---|
| 제1반응조 | 분해        | ▷ 유기질소, 단백질 → 아미노산, 암모니아  |
|       | 탈질        | ▷ 유기물질 + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>→ N <sub>2</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> + OH <sup>-</sup>   |
| 제2반응조 | 질산화       | $2\text{NH}_4 + 3\text{O}_2$ $\downarrow \cdot \text{Nitrosomonas}(\text{아질산화})$ $2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$ $\downarrow$ $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2$ $\downarrow \cdot \text{Nitrobacter}(\text{질산화})$ $2\text{NO}_3^-$ |
| 처리수   | 10mg/L 이하 |   |

[그림 11] 질소 제거 메카니즘

또한, 폐수중의 인 제거에 있어서 생물학적 기본원리는 혐기성 상태에서 균체중의 유기물 저장과 동시에 인의 방출이 시작되고 호기성 상태에서의 균체증식과 폴리인산을 축적하면서 일부의 인이 제거된다. 본 공정에서 제 1반응조의 무산소시에 균체중의 유기물 저장과 동시에 인의 방출이 시작되고 제 2반응조의 호기성 상태에서 균체증식과 폴리인산을 축적하면서 일부의 인이 제거된다. 이를 그림 12에 나타냈었다.

| 공정구분  | 반응 메카니즘 |   |
|-------|---------|---|
| 제1반응조 | 분해      | ▷ org-P → PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>   |
|       | 방출      | ▷ PHB + PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> → poly-P + H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> |
| 제2반응조 | 과잉섭취    | poly-P + VFA → PHB + PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>                                  |
| 처리수   | 3mg/L이하 |   |

※ VFA: Volatile Fatty Acid(저분자성 유기산)  
 PHB: Poly-β-Hydroxy Butyrate(세포내 저장물)

[그림 12] 인 제거 메카니즘

#### 다. 재활용을 위한 SMBR 공정

하수·산업 폐수·생활 오수는 점진적으로 방류 규제 농도의 강화뿐만 아니라 물 부족 문제를 능동적으로 해결하기 위한 방안으로 중수도의 개념이 도입되게 되었다. 중수도는 새로운 수원에 의존하는 것이 아니라 이미 공급된 용수를 현지에 재이용함으로써 용수 공급의 안정성이 확보되며, 중수도에 의하여 재이용되는 수량 만큼 하·폐수 발생이 감소되어 수질 오염이 경감되므로 수도요금이 현실화되고

오염 물질의 총량 규제가 실시되면 상수원 보호 구역이나 배출 허용 기준이 엄격한 지역의 하·폐수 처리장을 중심으로 더욱 더 확대될 전망이다.

기존의 중수도 시스템은 대부분 생물학적 처리법으로 운영됨으로써 안정된 처리수질을 얻기 힘들 뿐 아니라 후처리공정의 폐쇄 및 처리효율을 급속히 떨어뜨리는 영향인자가 되고 있다. 게다가 일반적인 공정으로 도입되는 활성탄의 경우에 있어서 전단계 공정의 처리효율에 따라 그 수명과 처리효율이 크게 좌우될 뿐 아니라, 비교적 짧은 교환주기에 의해 폐기물 발생 및 재생에 있어서도 비경제적이다.

이에 본 공정은 생물학적 처리법의 활성슬러지 공정에 침지형 분리막을 도입하여 유기물 및 부유물질을 완벽하게 제거하고 안정된 처리수질을 확보함으로써 기존의 후처리단계로써 도입된 응집침전, 여과, 활성탄 흡착 공정들이 불필요하게 됨으로 공정의 단순화와 설치면적을 줄일 수 있게 된다. 또한 중수도시스템에 널리 보급된 활성탄 흡착공정의 미비한 처리효율과 비효율적인 재생비를 절감할 수 있으며, 침지형 막분리 활성슬러지법에 의해 탁도, 생물화학적 산소요구량(BOD), 냄새 등 중수도 수질 기준항목에 있어 적합한 처리수를 얻을 수 있다. 적용대상 폐수에 따른 처리수의 색도로 인한 심미적 불쾌감을 유발시킬 경우가 있지만, 오존처리, 활성탄 공정, 염소소독 등 추가공정을 적용함으로써 제거가 가능하다. 이러한 추가공정은 기존의 공정에 비해 50%이상의 절감효과를 얻을 수 있으며 처리효율이나 수명에 있어 훨씬 경제적이다.

[표 12]에서 알 수 있듯이, SMBR공정 처리수와 중수도 수질기준과의 비교하였을 때 중수도로써 적합함을 확인 할 수 있다.

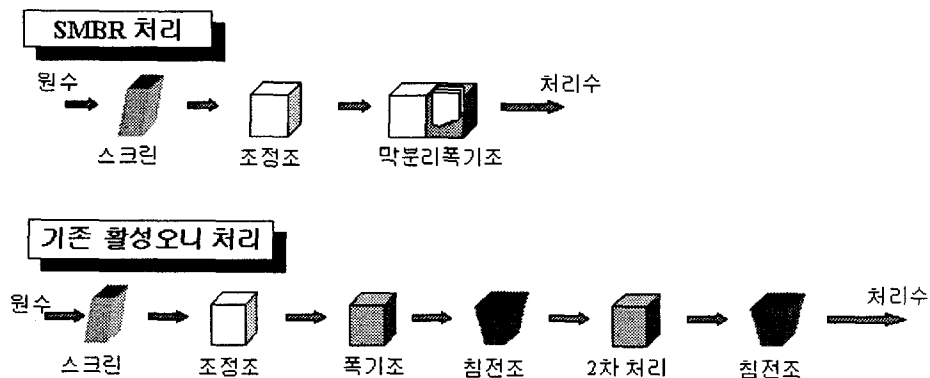
[표 12] 중수도 수질기준과 본 SMBR공정 처리수 비교

| 중수도의 용도<br>항 목               | 중수도의 수질 기준            |                  |                 | SMBR<br>처리수  |
|------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|--------------|
|                              | 수세식<br>화장실 용수         | 살수용수             | 조경용수            |              |
| 대장균수                         | 1mL당 10을 넘지<br>아니할 것  | 검출되지<br>아니 할 것   | 좌 동             | 0            |
| 잔류염소                         | 검출될 것                 | 0.2mg/L이상<br>일 것 | -               | 1mg/L 이상     |
| 외관                           | 이용자가 불쾌감을<br>느끼지 않을 것 | 좌 동              | 좌 동             | 색도<br>10도 이하 |
| 탁도                           | 5도를 넘지 아니할<br>것       | 좌 동              | 10을 넘지<br>아니할 것 | 1도 이하        |
| 생물화학적<br>산소요구량<br>(BOD,mg/L) | 10을 넘지 아니할<br>것       | 좌 동              | 좌 동             | 5이하          |
| 냄새                           | 불쾌한 냄새가<br>나지 아니할 것   | 좌 동              | 좌 동             | 무취           |
| 수소이온농도(pH)                   | pH 5.8 - pH 8.5       | 좌 동              | 좌 동             | pH 7- 7.5    |

## 2. SMBR공정의 특징

### 가. 처리공정의 단순화

SMBR공정은 침지형 분리막을 통해 처리수를 얻음으로써 기존 활성오니공정의 침전조나 모래여과기 등의 부대 시설이 필요 없게 된다. 또한 고농도의 MLSS유지가 가능함으로 폭기조 용량을 1/2 - 1/3정도 줄일 수 있을 뿐만 아니라 슬러지 발생량도 기존의 1/10로 감소된다. 그림 13은 기존 활성오니공정과 SMBR공정을 비교한 것이다.



[그림 13] SMBR공정과 기존 활성오니공정의 비교



#### 나. 안정된 처리수질로 인한 중수도 이용 가능

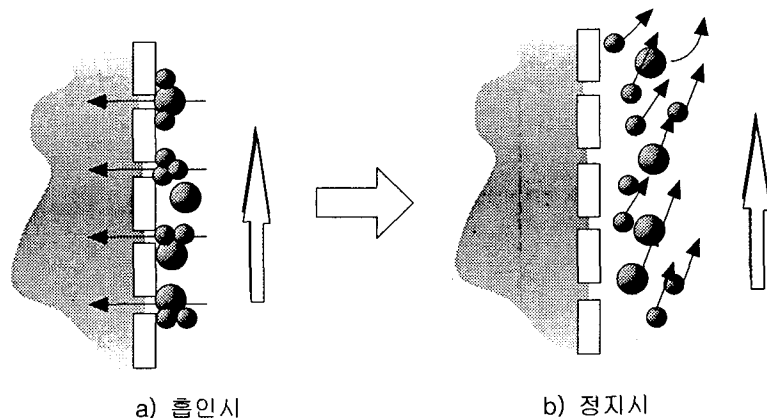
SMBR공정은 침지형 분리막을 통해 처리수를 얻기 때문에 폭기조의 벌킹이나 이상운전 현상에 무관하게 유기물 및 SS가 제거된 양질의 처리수를 얻을 수 있다. 또한 다량의 미생물을 길게 체류시킴으로써 영양원의 제거를 유도하며, 유입수 부하 및 온도, 계절 등의 변화에 관계없이 일정한 처리수를 얻을 수 있다. 따라서 중수도 적용대상에 따라 처리수를 선택적으로 재활용할 수 있다.

#### 다. 운전관리의 용이

분리막에 의한 고액분리가 이루어지므로 활성오니 성상의 관리가 쉬울 뿐 아니라 유입 유기물의 변동에도 민감하지 않는다. 또한 유지관리에 있어 완전자동화 시스템을 구축함으로써 비전문운전요원에 의해서도 가능해 유지 관리비가 저렴하다.

#### 라. 간헐흡인공정에 의한 막오염 최소화

또한 SMBR공정에서는 분리막에 의한 처리수를 간헐운전에 의해 얻을 수 있다. 처리수 배출시 연속운전을 하게 되면 분리막 표면의 미세공 주위에 활성오니 등의 흡착물이 쌓여 고정 부착되기도 하는데, 이는 막 효율을 급격히 떨어뜨리는 요인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 흡인펌프를 간헐운전함으로써 막 표면에 쌓인 활성오니 등의 흡착물을 제거하고자 하였다. 그림 14는 간헐운전에 의한 세정효과를 나타낸 것이다.



[그림 14] 간헐운전 모식도

### 3. 적용 분야

본 시스템의 활용가능 분야는 아래와 같이 매우 다양하다.

가. 기존 오·폐수처리시설의 90%이상을 차지하는 생물학적 처리공법의 대체, 보완시설로써 활용 가능하며, 질소·인 제거 등 처리효율 상승뿐만 아니라 기존 설치면적을 대폭 감소할 수 있다.

나. 대규모 폐수처리는 물론 중소규모 폐수처리에도 팩키지화함으로써 적용 가능하다. 시설 등에서 발생하는 소규모 폐수에 적용 처리함으로써 상수원 보호

다. 상수원 수변지역의 음식점, 숙박 및 하천 오염을 방지한다.

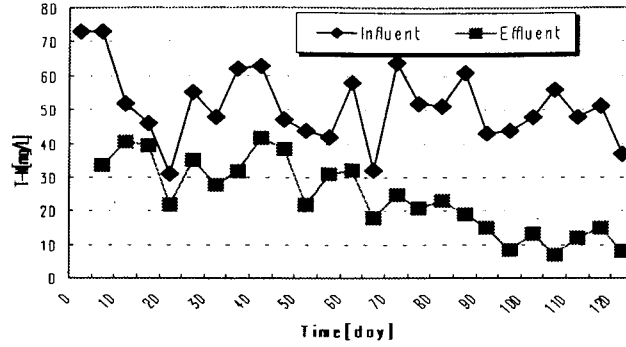
라. 대형건물, 골프장 등의 중수도설치 의무화에 따른 비용절감 및 수자원확보에 기여한다.

마. 고농도 유기성폐수에 의한 환경오염 방지 및 영양원 유입에 의한 부영양화나 적조현상 등을 방지한다.

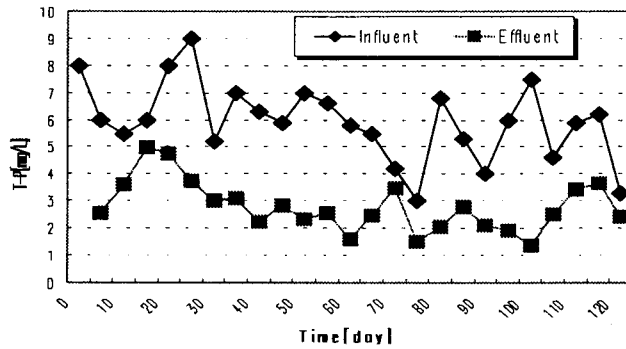
## 4. SMBR 공정 적용 예

### 1. 생활오수 적용 결과(인천 M아파트 생활오수)

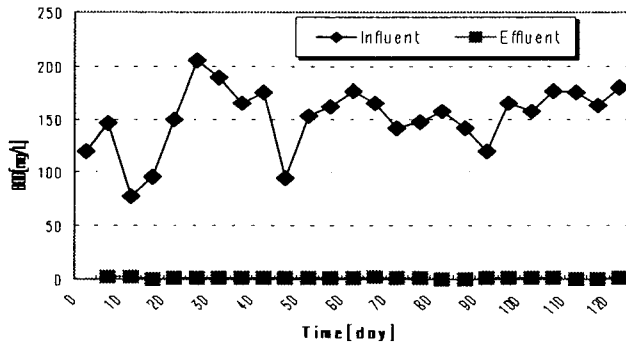
가. 질소제거



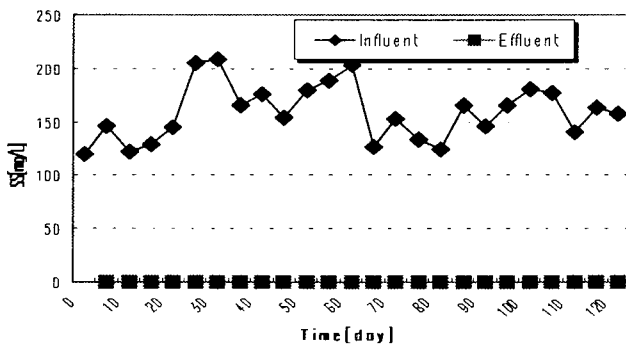
나. 인 제거



다. 유기물 제거



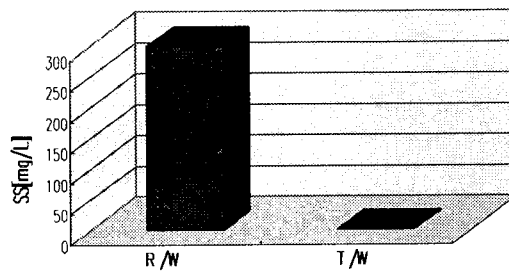
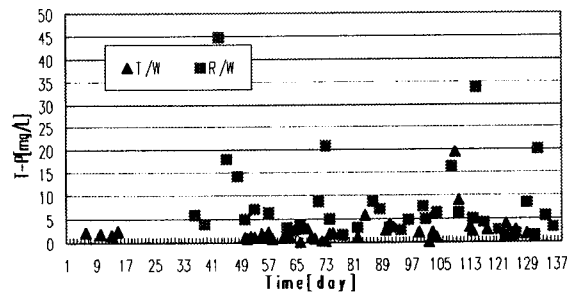
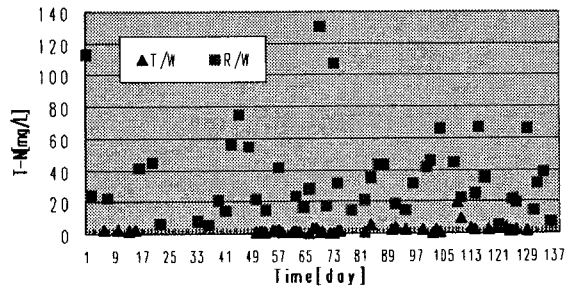
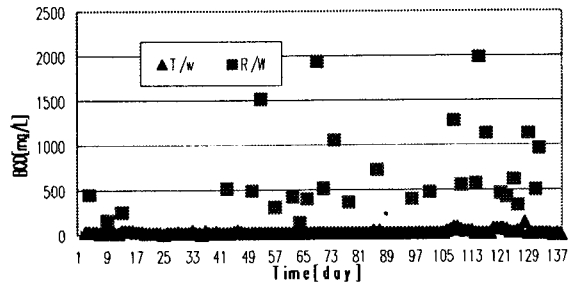
라. 부유물질제거



## 2. 음식폐수 적응 결과(인천 N공단내 식당폐수)

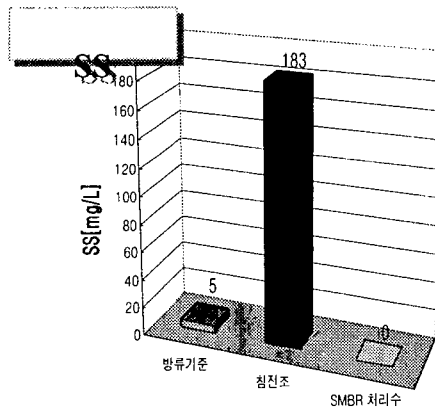
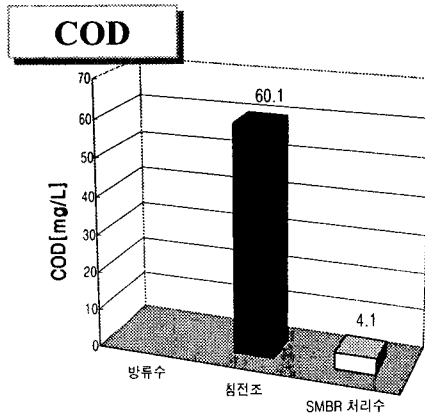
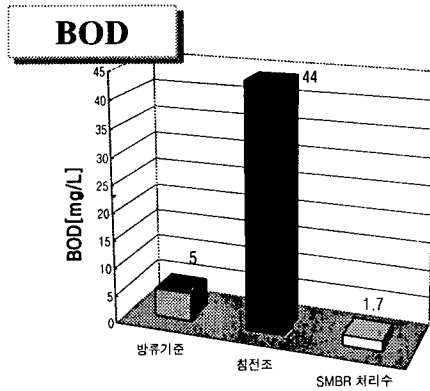
(단위: mg/L)

| 구분     | pH       | BCD | COD | TN   | TP   | SS  |
|--------|----------|-----|-----|------|------|-----|
| 원수     | 4.5-11.3 | 150 | 200 | 60   | 15   | 160 |
| 처리수    | 6.5-8.0  | 3   | 8   | 1.0  | 1.0  | 0   |
| 제거율(%) | -        | 98  | 96  | 98.3 | 93.3 | 100 |

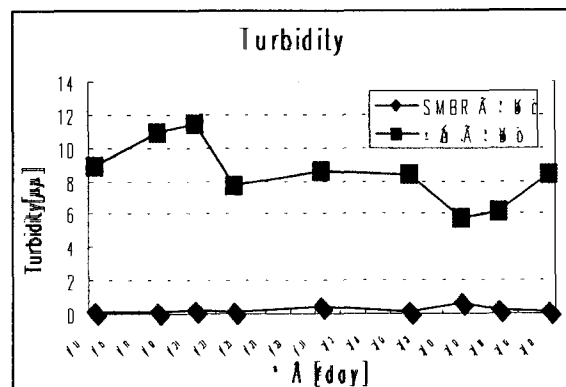
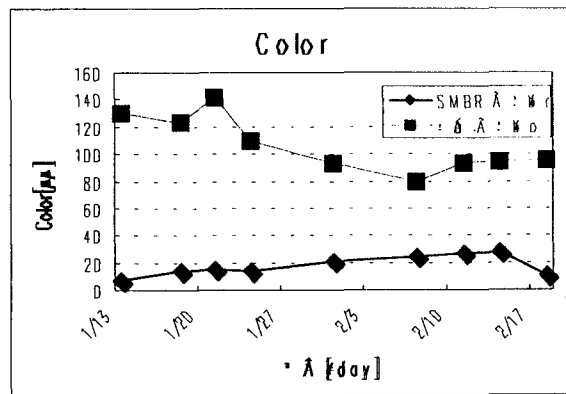
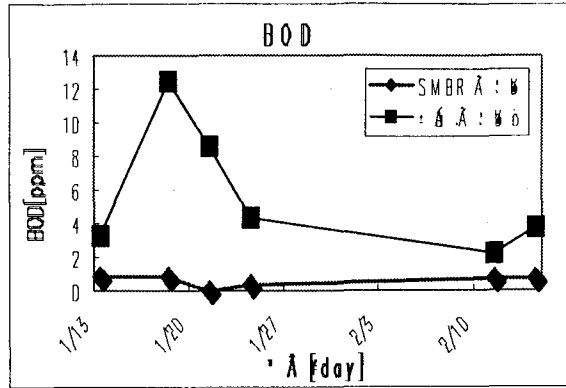


### 3. 골프장 폐수 적용 결과(제주도 크라운 CC)

| 시료명      | pH  | BOD(mg/L) | COD(mg/L) | SS (mg/L) |
|----------|-----|-----------|-----------|-----------|
| 방류 기준    | 중성  | 5         | -         | 5         |
| 침전조 상등수  | 6.8 | 44        | 60.1      | 183       |
| SMBR 처리수 | 7.6 | 1.7       | 4.2       | 0         |

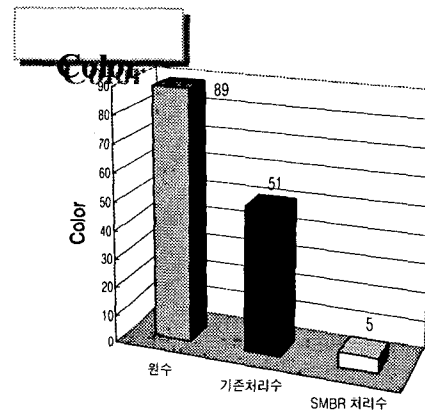
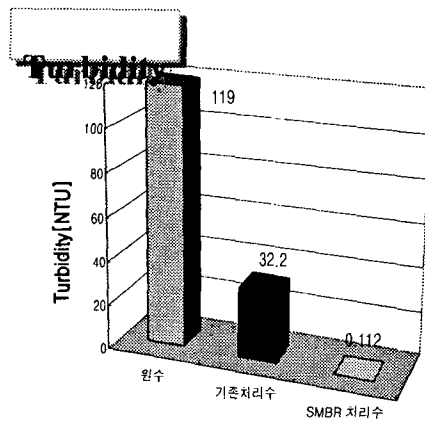
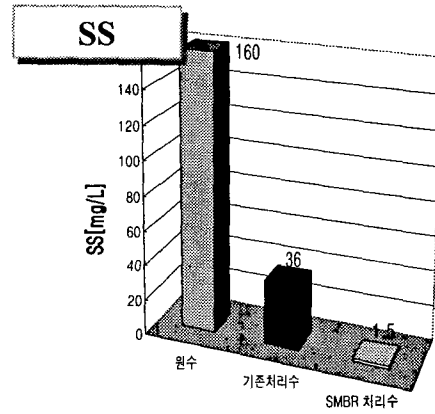
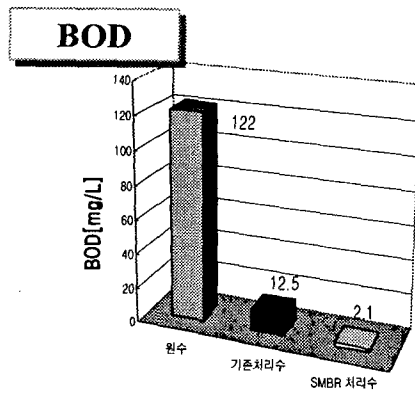


#### 4. 인천공공시설 중수도 적용 결과



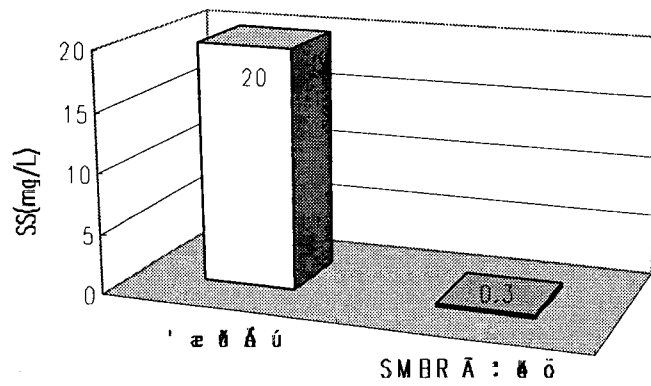
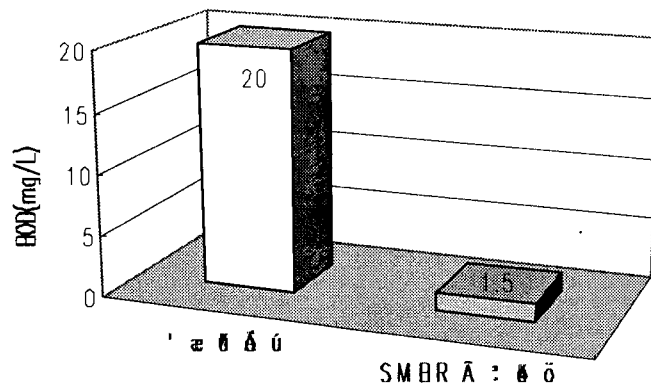
## 5. 빌딩폐수 적용 결과(전주 S빌딩)

| 구분            | 방류기준    | S빌딩 처리수   | SMBR 처리수 |
|---------------|---------|-----------|----------|
| pH            | 6-5-8.0 | 6.3       | 6.8      |
| BOD(mg/L)     | 20      | 12.5      | 2.1      |
| SS (mg/L)     | 20      | 36        | 1.5      |
| Turbidity(TU) | -       | 32.2      | 0.112    |
| Color         | -       | 51(연한 갈색) | 5(무색)    |



## 6. 레스토랑 오수처리(광주군)

|           | 방류수 수질 기준 | SMBR 공법 처리수 |
|-----------|-----------|-------------|
| BOD(mg/L) | 20        | 1.5         |
| SS(mg/L)  | 20        | 0.3         |



※ 경기도 보건환경연구원 오염검사 의뢰 결과임



## 5. 참고문헌

1. 환경백서(2000), 환경부
2. Bailey A.D., Hansford G.S. and Dold P. L.(1994) The enhancement of upflow anaerobic sludge bed reactor performance using crossflow microfiltration. *Wat. Res.* 28. 291-295
3. Benitez J., Rodriguez A. and Malaver R. (1995) Stabilization and dewatering of wastewater using hollow fiber membranes. *Wat. Res.* 29. 2281-2286
4. Chaize S. and Huyard A. (1991) Membrane bioreactor on domestic wastewater treatment sludge production and modeling approach *Water Sci. Technol.* 23, 1591-1600.
5. Gosling P. and Brown D. (1993) Membrane for sewage treatment. *Water Sci. Technol.* 27(56), 439-447.
6. Kawamura K.(1999) Application of UF and MF technology in night soil treatment plants Johkasous. *J. Jpn, Soc. Water Environ.* 22, 262-265.
7. Kitao K., Kiso Y., Nishida K. and Hosotani T. (1996) A study on advanced biological treatment by filtration bioreactor with nonwoven fabric filter under intermittent aeration conditions. *J. Domestic Wastewater Treatment Research* 10(2), 27-35
8. Kitao T., Nishida K., Ide T. and Kiso Y. (1998) Performance of long-term operation of a filtration bio-reactor with nonwoven fabric filter. *J. Jpn. Swage Works Assoc. Res. J.* 35(425), 12-22
9. Krauth K. H> and Stabb K. F. (1993) Pressurized bioreactor with membrane filtration for wastewater treatment. *Wat. Res.* 27, 405-411
10. Lubbeke s., Vogelpohl M. A. and Dewjanin W. (1995) Wastewater treatment in a biological high-performance system with high biomass concentration. *Wat. Res.* 29, 793-802
11. Magara Y., Nishimura K., Itoh M. and Tanaka M. (1992) Biological denitrification system with membrane separation for collective human excreta treatment plant. *Water Sci. Technol.* 25, 241-251
12. Otaki M., Yano K. and Ohgaki S. (1998) Virus removal in a membrane separation process. *Wat. Sci. Technol* 37(10), 107-116
13. Seo G. T., Lee T. S., Moon B. H., Choi k. S. and Lee D. H. (1997)

- Membrane separation activated sludge for removal in oil wastewater. *Water Sci. Technol.* 36, 275–282.
14. Shimizu Y., Okuno Y., Uryu K., Ohtsubo S. and Watanabe A. (1996) Filtration characteristics of hollow fiber microfiltering membranes used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment. *Wat. Res.* 30, 2385–2392
  15. Sun L., Perdue E. M and McCarthy J. F (1995) Using reverse osmosis to obtain organic matter from surface and ground water. *Wat. Res.* 29, 1471–1476.
  16. Ueda M. T., Hata M. K., Kikuoka y. and Seino O. (1997) Effects of aeration on suction pressure in a submerged membrane bioreactor. *Wat Res.* 31, 489–494.
  17. Uehara M. (1999) Membrane bio-reactor for wastewater treatment. *J. Jpn. Soc. Water Environ.* 22, 257–261
  18. Visvanathan C., Yang B. S., Muttamara S. and Maythanukhrav R. (1997) Application of air backflushing technique in membrane bioreactor. *Water Sci. Technol.* 36, 259–266.
  19. Zhang B., Yamamoto K., Ohgaki S. and Kamiko N. (1997) Floc size distribution and bacteria activities in membrane separation activated sludge process for small-scale wastewater treatment. *Wat. Sci. Technol.* 35(6), 37–44.