

# 기다센쥬 터미널의 중수도 시스템

(일본 공기조화 위생공학 제62권 1월호)

기다센쥬 터미널에는 한외(限外) 여과와 활성오니 반응조로 구성된 막형(膜形) 바이오파이오리액터 방식의 중수도 시스템이 가동중인데, 주방배수를 주체로 한 빌딩배수를 재생하여 이용하고 있다.

막형(膜形) 바이오파이오리액터를 이용하면 프로세스는 단순화되며 설비도 매우 소형화된다. 또한 부하변동에의 대응성, 양호한 처리수질, 경제성 등 우수한 특징을 갖고 있다.

본고에서는 막형(膜形) 바이오파이오리액터의 특성을 확실히 하고 기다센쥬 터미널에 설치한 중수도 시스템의 실시 예를 소개한다.

## 머리말

미쯔이 석유화학공업(주)는 1981년에 평막형(平膜形) 한외여과모듈(ultrafiltration Module)을 이용한 중수도 시스템을 시장에 내 놓았다. 이 시스템은 막분리(膜分離)기술과 생물화학반응을 조합하여, 막형 바이오파이오리액터 방식으로 한 큰 특징이 있다. 그후 분뇨처리, 합병(合併)정화조, 잉여오니자기소화(剩餘汚泥自己消化)시스템등 수처리분야에서 폭넓게 응용되는 계기가 된 것이다. 현재 이들의 기술은 미쯔이 석유화학공업(주)와 다이세이건설(주)이 절반씩 출자하고 있는 수처리 전문업자인 일본 아쿠아벡스(주)에 승계 되어 있다.

이하 막형 바이오파이오리액터의 특성을 기술하고 1985년에 완성한 기다센쥬터미널의 중수도 시스템(사진-1 참조)에 대해서 소개한다.

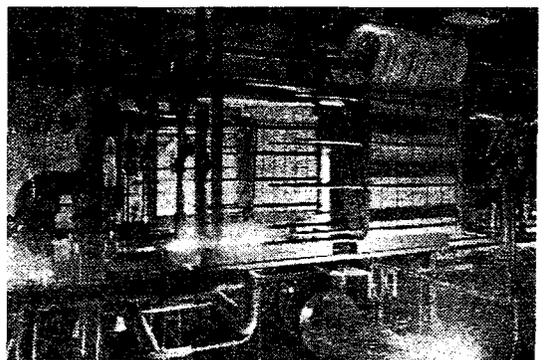
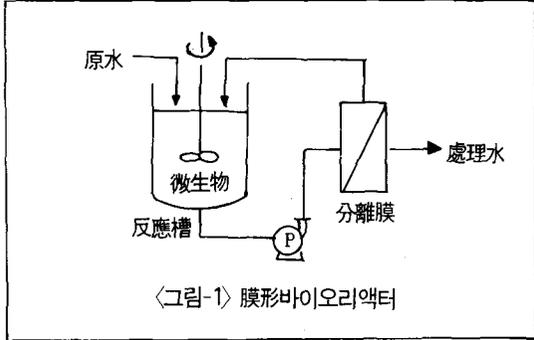


사진-1 中水限外여과기

### 1. 막형 바이오파이오리액터의 특성

막형 바이오파이오리액터는 <그림-1>에 표시한 바와 같이 반응조·순환펌프·한외여과모듈의 3가지로 구성된다.



〈그림-1〉 膜形바이오리액터

이러한 반응계에는 아래와 같은 특성을 기대할 수 있다.

1) 활성오니의 고농도화와 고농도 유지 : 배수중의 유기물을 소화(消化)하는 활성오니는 분리막을 통과하지 않고 반응계 밖으로의 유출을 저지하기 때문에 반응계 안에 축적하여 고농도로 계속 유지한다.

2) 반응조 체류시간의 장기화 : 유기단백(有機蛋白) 등 배수중의 지분해성(遲分解性) 고분자도 막의 분획(分劃) 분자량 이하로 분해하기까지는 반응계 내로부터 유출하면 안된다. 그 결과, 이들의 지분해성고분자에 있어서는 체류 시간이 장기화되어 반응조의 용량을 적게 할 수 있다.

3) 고액(固液)분리의 단순화와 양호한 처리수질 : 활성오니·미반응고분자 등의 고형물과 물과의 분리는 바이오리액터를 구성하는 한외여과막에 의하여 연속적으로 여과되므로 재래의 활성오니법과 같이 중력침강분리를 위한 침전지가 불필

요하게된다. 또한 오니침강성(沈降性)을 이 것 저것 고심할 필요 없이 운전·관리가 매우 용이하다.

〈그림-2〉와 같이 정밀한 한외여과(본 중수도 시스템에서는 분획분자량 20,000의 막을 사용)가 행해져 SS나 대장균등은 거의 완전히 제거된 양질의 처리수를 얻을 수 있다.

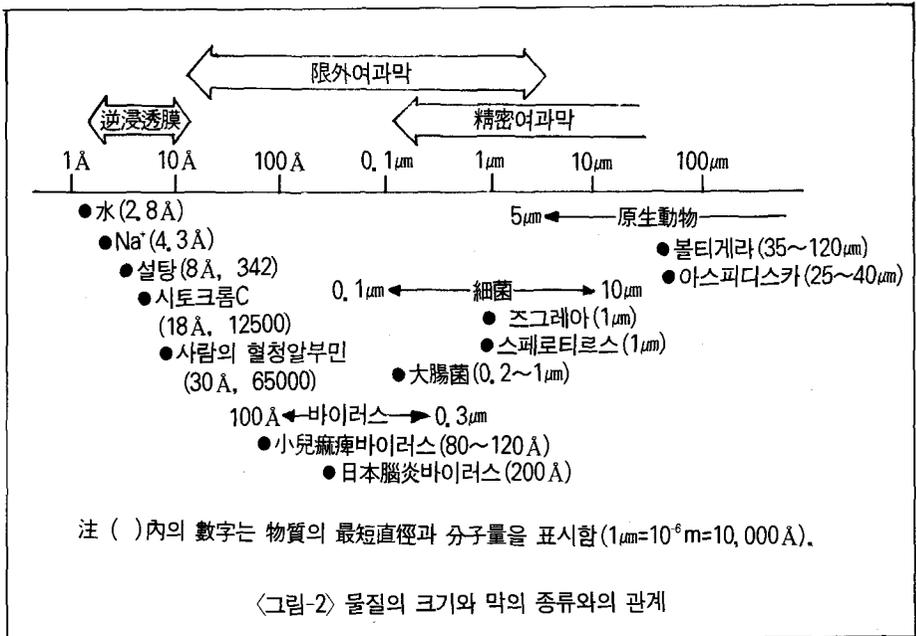
4) 시스템의 단순화와 소형화 : 앞에서 말한 1)~3)의 전체효과로서, 시스템 전체의 단순화와 동시에 소형화로 통합 할 수 있으므로, 특히 빌딩의 지하시설로서 적합하다.

2. 중수도 시스템의 기본플로(FLOW)

중수도 시스템의 기본플로는 〈그림-3〉과 같이 막형 바이오리액터의 원리를 기본으로 하고 있다.

원수(原水)에 대하여 보충하여 두면, 기본적으로 〈표-1〉과 같이 잡배수 뿐만 아니라 화장실 배수·식당주방배수등도 충분히 처리 가능하다.

그림-3의 흐름에 따라서 설명하면, 빌딩배수는 바이브레이션 스크린(40메시) ①에 의하여 큰 찌꺼기(야채, 종이등)를 분리 제거하고 한편으로 재생처리 하여야 할 원수(原水)는 조정조 ②에 저장된다. 빌딩배수의 수질과 수량은 시간



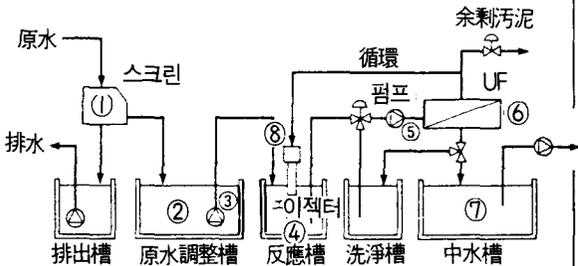
에 따라서 크게 변동 하므로 조정조는 약 반일 분(半日分)의 용량으로 하고 원수의 수질과 처리 시스템의 가동을 평균화 하는 역할을 한다. 조정조내의 원수는 다음의 공급펌프 ③에 의하여 반응조 ④에 정량(定量)적으로 보내지고 여기에서 활성오니(MLSS농도 6,000~13,000mg/l)와 혼합된다. 이 혼합액은 연속적으로 순환 펌프 ⑤에 의하여 한외여과모듈 ⑥을 경유하여

반응조에 순환한다. 한외여과모듈에서는 혼합액이 1pass할때 마다 7~10%가 여과되어, 여과수는 중수조(中水槽) ⑦에 저장되어 중수로 재생하여 재이용 된다. 한편 막을 통과하지 않은 활성오니·미반응물질 등 반응조로 되돌아온 액은, 되돌아오는 라인에 설치되어 있는 이젝터 ⑧에 의하여 생물화학반응에 필요한 공기(산소)를 자동적으로 흡인한다. 따라서 이 막형

〈표-1〉 미쓰이 석유화학공업(주) 지바공장 파일럿플랜트의 수질분석결과

| 분석항목  | 주 방 배 수  |                   | 주방배수+욕조배수<br>(混合比率 1:1)                              |                  | 주방배수+화장실배수<br>(混合比率 3:1)                          |                  |
|---|--|-------------------|--|------------------|---|------------------|
|   | 原 水  | 處 理 水             | 原 水  | 處 理 水            | 原 水   | 處 理 水            |
| pH  | 6.6<br>(5.4~8.4)                                     | 7.2<br>(6.1~7.9)  | 6.9<br>(6.1~7.7)                                     | 7.3<br>(6.7~7.8) | 6.4<br>(5.9~6.9)                                  | 7.1<br>(6.5~7.3) |
| SS (mg/l)                                   | 74<br>(15~220)                                       | <1                | 48<br>(10~160)                                       | <1               | 52<br>(40~65)                                     | <1               |
| BOD (mg/l)                                  | 143<br>(33~577)                                      | 0.9<br>(0.3~5.5)  | 119<br>(41~351)                                      | 1.5<br>(0.2~6.1) | 158<br>(132~174)                                  | 1.0<br>(0.5~1.9) |
| COD (mg/l)                                  | 75<br>(12~240)                                       | 6<br>(2~20)       | 61<br>(16~280)                                       | 5<br>(2~19)      | 68<br>(26~88)                                     | 9<br>(6~14)      |
| MBAS (mg/l)                                 | 4.8<br>(0.8~10)                                      | <0.1              | 6.3<br>(1.8~9.9)                                     | <0.1             | 6.5   | <0.1             |
| n-헥산抽出物質 (mg/l)                             | 12<br>(1.2~39)                                       | <1                | 12<br>(1.7~21)                                       | <1               | 22.5  | <1               |
| 증발잔유물 (mg/l)                                | 500<br>(450~750)                                     | 240<br>(190~330)  | 370<br>(230~570)                                     | 230<br>(180~280) | 358<br>(308~408)                                  | 320<br>(300~370) |
| 全硬度 (mg/l)                                  | 80<br>(76~82)  | 72<br>(42~95)     | 78<br>(70~80)  | 73<br>(70~80)    | 81<br>(79~83)                                     | 85<br>(82~89)    |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)                      | 36<br>(22~70)  | 33<br>(16~68)     | 15   | 15               | 56<br>(50~61)                                     | 37               |
| 導電率 (μs/cm)                                 | 350<br>(290~480)                                     | 330<br>(270~480)  | 280  | 280              | 425<br>(380~470)                                  | 385<br>(350~420) |
| T-P (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (mg/l) | 5.9<br>(3.1~9.4)                                     | 5.8<br>(<0.1~15)  | 7.0<br>(3.4~15)                                      | 3.7<br>(<0.1~16) | 17<br>(8.9~25.7)                                  | 9.6<br>(7.8~11)  |
| T-N (mg/l)                                  | 5.7<br>(3.0~9.8)                                     | 1.9<br>(<0.1~9.8) | 10.5<br>(10~11)                                      | 2.7<br>(2.0~3.4) | 28.7<br>(24.6~36.5)                               | 11.8<br>(9.5~16) |
| 大腸菌群數 (MPN/ml)                              | 37 × 10 <sup>4</sup><br>(1.6~112 × 10 <sup>6</sup> ) | N.D.              | 19 × 10 <sup>4</sup><br>(0.45~84 × 10 <sup>6</sup> ) | N.D.             | 31 × 10 <sup>4</sup><br>(7~60 × 10 <sup>6</sup> ) | N.D.             |

바이오리액터의 정상운전하에서는 재래의 활성오니법이 필요로 하는 송풍기가 필요치 않다. 또한 되돌아오는 액의 흐르는 에너지는, 반응조 내의 교반·혼합에 헛됨이 없이 이용되기 때문에, 전체로 큰 에너지 절약효과를 가지며 경제성을 높이고 있다.



〈그림-3〉 膜形 바이오리액터의 중수도시스템 플로서트

〈표-2〉

|                | 原水      | 處理水     |
|----------------|---------|---------|
| pH             | 5.8~8.6 | 5.8~8.6 |
| BOD (mg/l)     | 600     | 10以下    |
| COD (mg/l)     | 400     | 20以下    |
| n-핵산抽出物 (mg/l) | 150     | 1以下     |
| SS (mg/l)      | 600     | 3以下     |
| 色度             |         | 20以下    |

반응조의 BOD 용적부하는 1.0~3.0kg/m<sup>3</sup>·d로서 재래방법에 비하여 수배정도 크며 중수도 시스템의 반응조 체류시간은 1~1.5시간으로 매우 짧게 끝난다. 따라서 반응조도 재래방법에 비해서 매우 소형화 된다. 더구나 평균체류시간이 짧은것, 완전한 교반·혼합조형의 반응기 이므로 저분자유기물의 쇼트패스(short pass), 시스템 밖으로의 유출이 염려 될지도 모르나 실제로는 고농도 활성오니의 빠르고 강력한 흡착작용이 있어서 염려할만한 문제는 일어나지 않는다.

또한, 막분리에서는 여과막의 폐쇄에 대하여 염려하는 경향이 많으나 중수도 시스템에서는

로·누·쁘란 회사의 특허인 평막지지판을 사용하여, 그것의 자동세척작용에 의해서 막표면의 겔층 두께를 최소한으로 유지하고 있다. 그 결과, 수개월에 1번의 약품세척(차아염소산 나트륨의 100~300mg/l 수용액을 약 1시간 동안 모듈에 순환시키고, 활성오니로부터 생산하여 막표면에 겔층을 생성하는 바이오폴리머를 제거한다)에 의해 장기적으로 높은 투과유속을 유지 할수 있다. 투과유속은 MLSS농도, 처리액의 점도, 조작압, 조작선속도등에 의하여 틀리지만, 중수도의 경우에는 120~180 l/m<sup>2</sup>·h (2.88~4.32 m<sup>3</sup>-수중/m<sup>2</sup>·d)이다.

### 3. 기타센쥬 터미널에서의 실시 예

먼저 기타센쥬 터미널 빌딩·WIZ에 납품한 중수도 시스템의 설계개요를 말하면 다음과 같다.

설계감리 : 일본 국유철도 동경제1공사국 (주)  
교통건축설계사무소

중수도 시스템 시공 : 미쯔이 석유화학공업(주)  
처리능력 : 200m<sup>3</sup>/d

원수종별 : 주방배수를 주체로 한 잡배수를 병용

설계수질 : 〈표-2〉와 같음

재생수 용도 : 화장실 수세전용

건물 연면적 : 약 37,000m<sup>2</sup>

또한 위의 사항에 추가하여 아래의 여러가지 점에 대하여 각별한 배려를 하도록 요망하였다.

- 1) 원배수의 수질제한을 극력 적게하고 비상시에 대처 할수 있도록 할것.
- 2) 운전의 무인화(無人化)와 유지관리에 품이 들지 않을것.
- 3) 건설비의 저렴과 라이닝 코스트, 특히 에너지 절약(전기절약)을 고려 할것.
- 4) 상점등 상용(商用)면적이 조금이라도 많이 얻어지도록 시스템 설치면적은 철저히 적게 할것.
- 5) 수질은 물론, 냄새를 방지하는 대책 등, 빌딩의 거주쾌적성에 지장을 주지 말것.

이상의 사양과 요망점을 기본으로, 납품 및 시공한 중수도 시스템의 플로서트, 주요 기기의 개요, 기계 배치도는 각각 〈그림-4〉, 〈표-3〉, 〈그림-5〉에 표시된 바와 같다. 요망점을 실

〈표-3〉 主要機器概要

| 機器名     | 形式(機數)  | 注仕様                      |
|---------|---------|--------------------------|
| 一次스크린   | 搖動形     | 0.5mm                    |
| 原水槽송풍기  | 루쓰송풍기   | 1.0m <sup>3</sup> /min   |
| 反應槽송풍기  | 루쓰송풍기   | 2.75m <sup>3</sup> /min  |
| 空氣壓縮機   | 自動언로다식  | 244.0 l/min              |
| 反應槽供給펌프 | 水中펌프    | 208.0 l/min              |
| 循環펌프    | 渦卷펌프    | 1017.0 l/min             |
| 限外여과기   | 平膜式(2台) | 100.0m <sup>3</sup> /d×2 |
| 藥品注入펌프  | 펄스펌프    | 2.0ml/min                |
| 原水受핍槽   | 地下콘크리트槽 | 21.0m <sup>3</sup>       |
| 油水分離槽   | 地下콘크리트槽 | 7.0m <sup>3</sup>        |
| 油貯槽     | 地下콘크리트槽 | 3.0m <sup>3</sup>        |
| 排出槽     | 地下콘크리트槽 | 21.0m <sup>3</sup>       |
| 反應槽     | 地下콘크리트槽 | 20.0m <sup>3</sup>       |
| 洗淨槽     | 角形 PVC  | 1.0m <sup>3</sup>        |
| 藥品탱크    | 각형 PVC  | 0.1m <sup>3</sup>        |
| 雜用水槽    | 地下콘크리트槽 | 117.0m <sup>3</sup>      |

적과 대조하여 보충하여 설명하면 1) 비상대응에 대하여는 MLSS농도(설계치 6,000mg/l)의 조정가능폭이 크고 부하변동에 충분히 대응할 수 있도록 하였다. 2)는 자동화를 철저히 하여 무인화 한것은 물론이지만 유지관리에 대해서는 월1회의 순회점검으로 대충 관리가 되도록 하였다.

3)의 라이닝 코스트에 대해서는 원수의 발생·저장상황과 재생수의 저장·사용 상황에 따라서 필요한 기기만 최소한으로 가동시키고, 기타는 정지·보안상 대기 하도록 자동화하여 상시 최저한의 경비로 중수를 만들도록 대처하였다. 사실, 상하수도 사용의 경우와 비교하여 연간 1,000~1,500만엔(円)의 차익을 얻을 수가 있었다.

4)의 설치면적은 약 91m<sup>2</sup>의 면적내에서 여유를 가지고 설치 할 수 있었다(그림-5). 5)에 대해서는 각별한 배려를 해서 비교적 고농도 취기의 근원이 되는 배출조·원수수조(受槽)·바이브레이션 스크린등은 전부 폐쇄화 하는 한편 부압이 걸리도록 하였다. 이들 흡인 공기는 배기탈취설비에 연결토록 하였다. 또한 반응조는

〈표-4〉 기다센쥬터미널 중수 수질실적

|             | 原水  |     |      | 中水  |     |        |
|-------------|-----|-----|------|-----|-----|--------|
|             | 最大  | 最小  | 平均   | 最大  | 最小  | 평균     |
| pH          | 7.0 | 5.3 | -    | 7.5 | 6.8 | -      |
| SS (mg/l)   | 170 | 54  | 130  | 2   | 0   | 0      |
| BOD (mg/l)  | 600 | 330 | 512  | 8   | 1   | 5.3    |
| COD (mg/l)  | 230 | 110 | 140  | -   | -   | (12)   |
| MBAS (mg/l) | 28  | 5   | 9    | 0.8 | 0.5 | 0.7    |
| n-헥산 (mg/l) | 98  | 20  | 65   | 2.6 | 0.7 | 1이하    |
| T-N (mg/l)  | -   | -   | (43) | -   | -   | (0.9)  |
| T-P (mg/l)  | -   | -   | (4)  | -   | -   | (0.56) |
| 大腸菌         | -   | -   | -    | 0   | 0   | 0      |
| 色度          | 50  | 15  | 35   | 8   | 2   | 3      |

注 ( )는 스폿 데이터를 표시함

고농도 활성오니에 의한 생물탈취 효과가 발휘되어 전혀 문제가 되지 않는 상황이 견지되므로 전체의 요망점을 명백하게 할수 있었다. 참고로, 수질의 실적치를 〈표-4〉에 표시하였다.

이상, 기다센쥬 터미널의 막형 바이오리액터 방식의 중수도 시스템의 실용적인 특징을 재정리 하면 다음과 같다.

- 1) 수질은 극히 양질이다.
- 2) 부하변동의 대응성이 크다.
- 3) 잉여오니의 발생량이 적다. 오니 반출량을 극소화 할수 있으므로 빌딩의 수처리 설비에 적합하다.
- 4) 설치면적도 재래방식에 비해서 매우 적다.
- 5) 무인화·자동화·코스트콘트롤 제어운전이 되고 라이닝 코스트가 싸고 경제적이다.
- 6) 취기의 확산을 완전히 방지 할 수 있다.

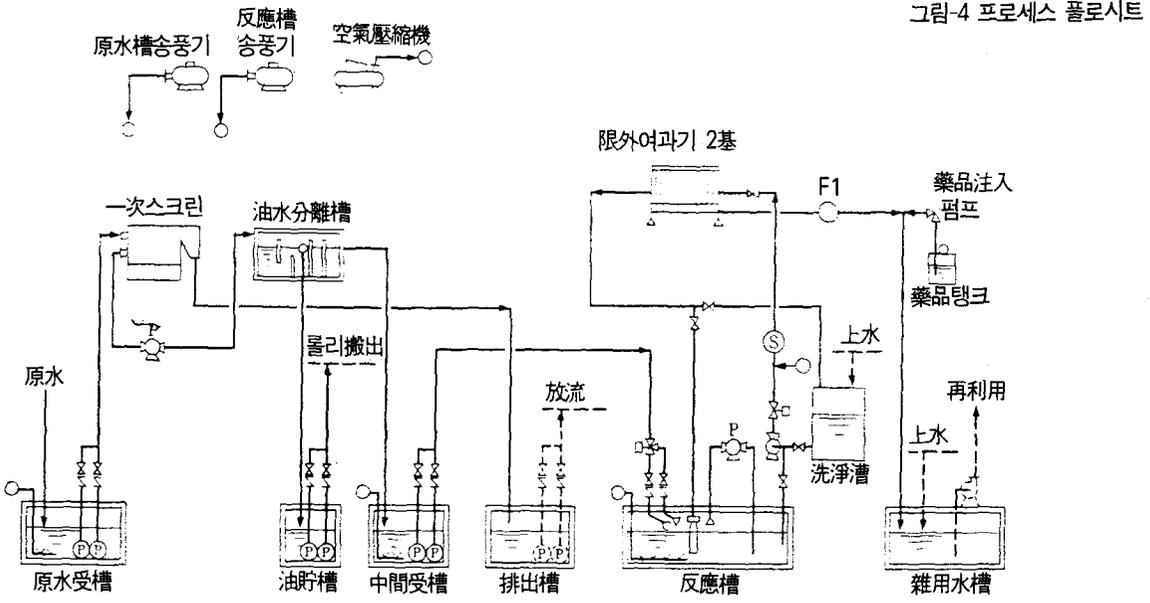


그림-4 프로세스 플로시트

그림-5 中水機室平面圖

