

가압형평막(한외여과막)과 자외선 및 오존발생 장치(AOP System)를 이용한 중수설비 적용에 관한 연구

A Study on the Application Method for Recycling Water System

김 상 식*

Kim, Sang-Sik

한 미 선**

Han, Mi-Sun

Abstract

The amount of water demand at large buildings is increasing with the concentration of population to city and a rise in the standard of living in the city area. In this reason the Water Shortage is expected and a problem of water pollution by the city sewerage is increasing.

One of method of saving city water demand and city sewer is applying recycling water system witch make used water reuse by purification of water. The application of recycling water system witch make used performed since the application of Lotte World Complex. But the popularization of this system is not activated because of cost problem and feeling of people to the water recycled.

So in this study, provide application method for recycling water system by propose the estimation method of optimal sizing of recycling water system.

키워드 : 중수, AOP, 한외여과막

Keywords : Recycling Water System, AOP, Ultrafiltration System

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리나라는 도시화, 산업화 및 생활수준의 향상에 따라 용수 수요는 급증하는 반면 가용 수자원은 한계에 달하여 2006년 이후 전국적으로 물 부족 현상이 발생할 것으로 전망되고 있으나, 대규모 댐 개발 등에 의한 새로운 수자원의 개발은 한계성이 있기 때문에 중수도의 개발이 시급한 실정이다. 정부에서는 1991년 12월 수도법에 중수도제도를 도입하여 대형빌딩이나 공장 등 다량의 물을 사용하는 건축물이나 시설에 대하여 중수도의 설치를 권장하였으며, 2001년 수도법을 개정하여 수자원 부족의 해결을 위한 일환으로 일정규모 이상의 시설을 신축 및 증축 시에 절수설비 및 빗물이용시설 설치 의무화와 더불어 중수도 설치도 의무화 하였다.

1.2 연구의 목적

현재 설계 중이거나 시공 중인 중수처리시설은 침지형막을 이용한 공법을 적용하거나 외국에서 수입된 한외여과막을 이용한 처리가 대부분이다. 침지형막을 이용한 처리장의 경우 중수수질기준은 충족 하고 있으나 색도(10이상)를 제거 하지 못하여 재이용시 혐오감을 줄 수 있는 단점이 있고, 한외여과막을 이용한 기술은 국산이 아니라서 공사비가 약 50%정도 비싸다.

이에 본 연구에서는 국산 한외여과막 및 자외선, 오존발생장치(AOP System)를 이용한 순수 국내기술을 개발하여 공사비를 절감하는 한편 중수의 사용에 있어서 가장 문제가 되었던 색도의 완전한 제거, 변기물로 공급할 경우 우려 되었던 배관내 스케일 방지 및 유지관리가 용이한 기술을 제안하고자 하였다.

1.3 연구의 방법 및 절차

간실험을 통해 가압형 평막과 AOP System의 유기물, 부유물질, 색도 등의 제거 효과를 가늠해보고 현장실험을 통해 그 실용성을 검증해 보고자 하였다.

현장 테스트에서는 유입수와 처리수의 농도를 비교하여 오염물질별(BOD, COD, SS, 색도, 탁도 등) 처리효율을 평가하였으며 시공 시 투입된 총 비용(공사비, 운영비) 대비 총 편익(상수도·중수도·하수도·환경부담금 절감액)의 B/C Ratio를 분석하고 투자비 회수기간을 추정하여 경제성을 평가하였다.

2. 중수시스템

2.1 중수 설비 개요

2.1.1 개요

중수도란 종래의 상수도에 의하여 급수되고 있던 용도 가운데 반드시 음료수와 같은 정도의 청정도를 요하지 않는 용도에 대하여 적당한 수질의 용수를 공급하는 것으로서 사람이 마시

* (주)한진중공업 건설기술연구소, 정희원

** (주)다불산업, 정희원

기에는 적합하지 않은 물을 공급하는 시설을 가리키며, 중수란 수자원의 재활용을 전제로 한 개념으로 가정의 하수에서 오수를 제외한 부가적 정수시설로 정수가능한 물을 말한다. 물의 처리 및 재이용 정도에 따라 공공이용, 단독이용, 복합이용방식의 3가지 방식으로 크게 나눌 수 있으며, 순환방식에 따라서는 개방순환방식, 폐쇄순환방식 2가지로 나눌 수 있다.

2.1.2 중수 사용의 이점

표 1. 중수도 사용의 이점

| | |
|-----------|---|
| 수질오염 방지측면 | · 하천 등 수계로 방류되는 오염물질의 부하량을 감소시켜 하천수질개선에 기여 할 수 있다. |
| 경제적 측면 | · 물이용을 극대화한다는 측면에서 신규 수자원개발, 댐 건설, 정수장, 하수 처리장 및 상수도 시설 축소에 따른 건설비 감소로 국가 경제에 기여한다. |
| 물 절약 측면 | · 중수도의 설치로 대용량의 물을 아낄 수 있다. 일반적으로 대형건축물에서 중수도 설치에 따른 절약효과는 20% 정도이다. · 건축물의 경우 냉각용수 사용량을 절약할 수 있어 하절기 일시적 물수요의 증가에 따른 상수도 부족문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다. |

2.1.3 현행 중수도 사용의 문제점

중수도는 배수량을 감소시키는 효과와 아울러 물의 재이용이란 점에서 물에 대한 인식변화(절수)의 계기가 될 것이나, 다음의 문제점들을 충분히 해결해야만 한다.

표 2. 중수도 사용의 문제점 및 해결책

| 분류 | 문제점 | 해결책 |
|-----|--|---|
| 기술상 | 중수도의 이용을 확대시키기 위해서는 배관내 스케일 및 색도의 불완전 제거 등 기술상의 문제점들을 해결해야 한다. | · 중수의 용도별 적합처리 기술의 개발 · 부식 등의 장애요인 해결 · 소량의 슬라지 처리방안 등의 보완 |
| 위생상 | 중수도의 용도가 피부접촉이나 음용이외의 사용에 제한되어 있다. | · 세균, 바이러스 등의 병원성 미생물의 효과적인 제거 · 냉각탑이나 처리공정 등에서 발생하는 휘발물질의 비산에 대한 악영향 해소 등 |
| 비용상 | 중수도의 생산비가 상. 하수도 요금보다 높다. | · 국산 기술화 |

2.2 관련법규

우리나라 중수도 수질기준에 관해서는 수도법에 규정되어 있다. 수세식 화장실용수, 살수용수 및 조경용수로 제한하고 있으며, 공업용수로 재이용하기 위해서는 별도의 목표수질을 정하여 시행하여야 한다. 현재 우리나라의 중수도 개념 및 기준은 개별건물에서의 폐쇄순환방식에 대해서만 정의하고 있는 상태로서, 미국이나 일본의 경우에서처럼 하수 처리수를 아파트단지의 생활용수나, 지하수 충전용으로 재사용하는 광역중수도에 대해서는 아직 법적조치나 지도기준이 없는 상태이다.

표 3. 중수도 수질기준. 환경부 2001

| 용도 | 수세식 화장실 용수 | 살수용수 | 조경용수 | 세차·청소용수 |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 대장균수 | 검출되지 아니할 것 | 검출되지 아니할 것 | 검출되지 아니할 것 | 검출되지 아니할 것 |
| 잔류염소 (결합) | 0.2ml/l 이상 일 것 | 0.2ml/l 이상 일 것 | - | 0.2ml/l 이상 일 것 |
| 외관 | 이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것 | 이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것 | 이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것 | 이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것 |
| 탁도 | 5도를 넘지 않을 것 | 5도를 넘지 않을 것 | 5도를 넘지 않을 것 | 5도를 넘지 않을 것 |
| BOD | 10ml/l 를 넘지 않을 것 | 10ml/l 를 넘지 않을 것 | 10ml/l 를 넘지 않을 것 | 10ml/l 를 넘지 않을 것 |
| 냄새 | 불쾌한 냄새가 나지 않을 것 | 불쾌한 냄새가 나지 않을 것 | 불쾌한 냄새가 나지 않을 것 | 불쾌한 냄새가 나지 않을 것 |
| PH | 5.8~8.5 | 5.8~8.5 | 5.8~8.5 | 5.8~8.5 |
| 색도 | 20 이하 | - | - | 20 이하 |
| COD | 20ml/l 이하 | 20ml/l 이하 | 20ml/l 이하 | 20ml/l 이하 |

2.3 중수 설비 관련 선행기술

2.3.1 막 분리 기술

막 분리 기술은 정밀여과(micro-filtration), 한외여과(ultra-filtration), 나노여과(nano-filtration), 역삼투여과(reverse-osmosis), 전기투석 등이 있으며 공경의 크기 및 흡착, 막 표면에서의 용해 및 확산 등의 분리원리를 응용하여 물질을 분리한다. 표4에 분리하려는 미립자나 분자의 크기에 따라 막의 종류를 분류하여 놓았다.

표 4. 막의 세공 크기에 따른 분류

| 구분 | 세공의 크기 | 비고 |
|------------------|---------------------|----------------|
| Reverse Osmosis | RO 0.001 μ m | 순수, 초순수 |
| Nano Filtration | NF 0.01 μ m | RO 전처리, 정수 |
| Ultra Filtration | UF 0.1 μ m | 정수, 중수, 오수, 폐수 |
| Micro Filtration | MF 0.4 μ m | 오수, 폐수 |

2.3.2 AOP 산화법

AOP산화법이란 강력한 살균 및 산화력을 가지는 특수이온(OH라디칼)을 중간생성물질로 생성하여 수중 오염물질인 유기물 및 독성물질을 산화 처리하는 보다 진보된 수처리 기술을 말하며, 최근 수처리에 널리 사용되고 있는 오존(O₃)에 PH를 조절하거나, 과산화수소, UV에너지 등을 첨가하여 산화력을 증대시키는 방법을 말한다. AOP의 매력은 기존의 산화제인 염소, 이산화염소, 과망간산칼륨 보다 훨씬 강한 산화력을 갖고 있을 뿐만 아니라 오존만 사용하였을 경우보다 경제적, 효율적으로 수처리에 응용할 수 있는 장점이 있다.

2.3.3 선행기술의 문제점

기존 막여과 기술은 대부분 한외여과막을 외국에서 수입하여 사용하므로 공사비가 비싸며 색도 및 탁도의 제거가 완전히

이루어지지 못함으로 인해 혐오감을 유발시켜왔다. 또한 대부분 관형 타입으로 이루어져 있어 관이 자주 막히고, 교체주기가 2년 정도로 짧은 단점이 있다.

기존 AOP기술은 처리수조에 자외선램프를 설치하여 오존을 직접 분사하는 방법으로 접촉효율이 낮으며, 잉여오존의 발생률이 높다. 또한 자외선램프의 수와 오존 주입량이 많아 공사비가 고가인 단점이 있다.

3. 가압형평막과 자외선 및 AOP를 활용한 중수처리 시스템

본 연구는 하, 폐수의 처리를 위한 생물학적 반응조에 분리막 기술(Membrane Technology)을 결합한 것으로 침전조 대응으로 생물 반응조 내부 또는 외부에 분리막을 적용하여 활성슬러지와 처리수를 분리시키는 생물학적 공정이다. 가압형평막에 의해 유기물질이 제거된 후 추가로 AOP System에 의해 색도와 탁도의 제거 및 살균이 이루어지는 것으로 수처리공정 및 연구의 궁극 목표인 안전하고 깨끗한 중수 공급이 가능한 기술이다.

그림 1은 중수처리 시스템의 알고리즘이며 가압형평막(한외여과막)과 AOP 순환조가 주요 핵심 기술에 해당하는 부분이다.

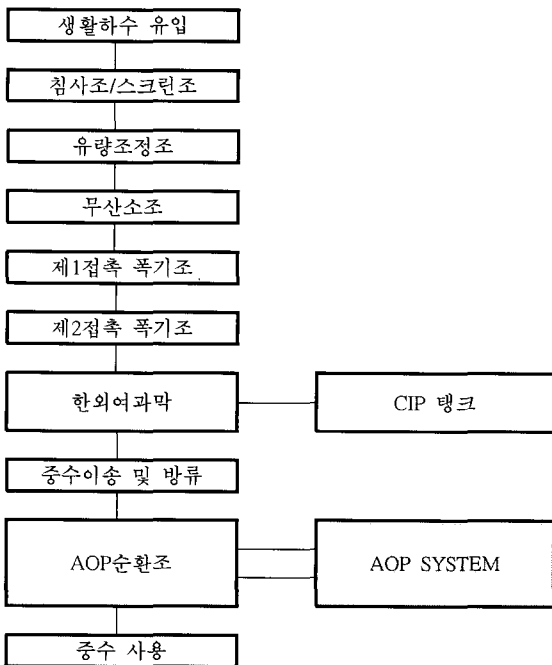


그림 1. 중수처리 시스템 기본계획 순서도

3.1 무산소조

전단에 무산소조를 설치함으로써 질소 제거 효율을 향상시켰다.

높은 BOD/NO₃-N비의 확보를 위해 무산소조를 전단에 설치함으로써 여타의 질소/인 처리공정보다 탈질속도가 빠르고

질소 제거효율을 높게 하였다. 이러한 빠른 탈질속도는 짧은 무산소조 체류시간에도 완전 탈질효과가 가능하도록 하여 부지절감(최초침전지 일부의 무산소조로 활용 가능)을 기술적으로 가능하게 하였다.

3.2 가압형 평막

표5에 기존 기술과의 차별성을 비교해 보았으며, 그림 2,3은 본 연구를 통해 개발된 가압형 평막의 사양이다.

표 5. 가압형 평막(UF)과 침지형 평막(MF)의 비교

| 구분 | 가압형 평막(UF) 본 기술 | 침지형 평막(MF) 기존 기술 |
|-----------|---|--------------------------------|
| Pore Size | 0.1 μ m | 0.4 μ m |
| 막 간격 | 3mm | 6mm |
| 관리 | 관리층위에 위치하므로 가동상태가 눈으로 확인하기 쉬워 관리가 용이하다. | 물속에 들어 있어서 상태확인 어려우므로 관리가 어렵다. |
| 미생물의 상태 | 높은 선속에 의한 Cross Flow Filtration으로 미생물의 상태에 따른 성능에 영향을 받지 않는다. | 미생물의 상태에 따라 성능에 큰 차이를 나타낸다. |
| Flux | 40~120LMH | 5~20LMH |
| 설치면적 | 설치면적이 적게 소요된다. | 설치면적이 적게 소요된다. |

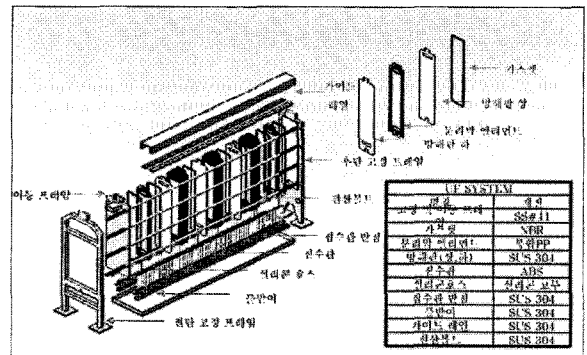


그림 2. 가압형 평막 구성도

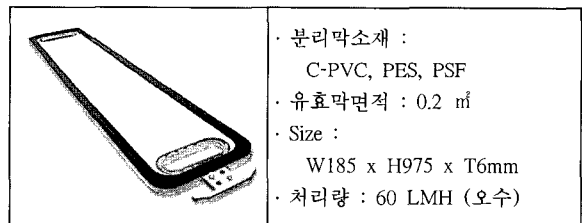


그림 3. 가압형 평막 module 사양

가압형평막은 UF로 Pore Size가 0.1 μ m이하 이므로 분리능력이 우수하다.

가압형 평막(한외여과막)을 이용한 기존의 기술은 외국에서 수입하여 설치가동 되어 초기투자비가 많이 소요 되었으나 본 연구의 가압형 평막은 국내 기술로써 외국에서 수입된 여과막보다 높은 처리효과를 거두면서도 초기투자비가 저렴하게 소요된다.

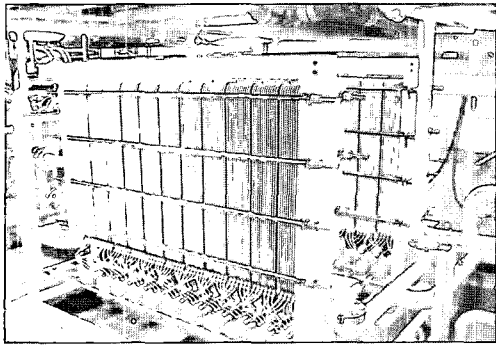


그림 4. 가압형 평막 설치도

또한, 가압형 평막은 처리장의 상부에 위치하여 운전관리가 용이하며, 높은 선속에 의한 Cross Flow Filtration으로 미생물의 상태에 따른 성능에 영향을 받지 않으므로 더 안정적인 시스템이다.

3.3 오존+UV를 이용한 AOP System

순환펌프에 의하여 가압된 상태로 유입된 중수물은 오존용해설비를 통해 수중에 오존을 공급받게 된다. 오존이 용해된 상태로 AOP CHAMBER로 공급되면 챔버 내부에 설치된 자외선램프에서 조사되는 다중파장의 자외선과 오존이 반응하여 강력한 살균 및 산화가 진행된다. 이런 일련의 과정을 통해 수중에 함유된 유기물질, 색도, 냄새 유발물질 등을 산화분해하게 된다.

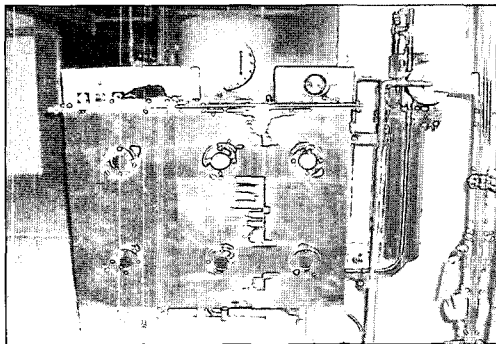
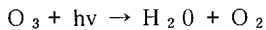
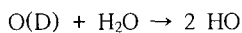
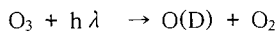


그림 5. AOP CHAMBER

용존된 오존의 광분해 메커니즘은 Taube와 Payton, Glaze 등에 의하여 연구되었는데 용존 오존이 자외선 에너지에 의하여 광분해 되는 초기반응의 결과로 과산화수소가 중간물질로 생성된다.

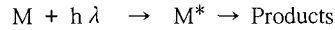


오존은 자외선 영역인 254nm에서 흡수성이 강하며 1몰의 오존과 1몰의 Photon이 반응하여 1몰의 과산화수소를 생성하게 된다. 생성된 과산화수소는 다음 경로에 의해 OH 라디칼을 생성하게 된다.



PEROXONE AOP(기존 기술)에서는 과산화수소를 인위적으로 주입하는 반면 Ozone/UV AOP(본 기술)에서는 과산화수소를 오존 광분해로 직접 생산한다.

Ozone/ UV AOP에서 기대할 수 있는 또 하나의 처리 이점은 유기물이 UV에만 의해서도 직접적으로 제거될 수 있는 광분해반응(Photolysis of substrate)이 유기물 제거에 도움이 될 수 있다.



즉, 유기물의 자외선 에너지에 대한 흡수성이 높고 분해수율(Quantum yield)이 높다면 Ozone/UV AOP는 매우 효과적인 유기물 처리공정으로 사용될 수 있다.

3.4 간이평가 실험

1m³의 수조를 이용하여 간이평가를 실시하였다. 가압형평막을 통해 유기물 및 부유물질이 제거된 유입수는 AOP System을 거치면서 색도가 효과적으로 제거됨을 확인할 수 있었다.

그림 6은 AOP System을 5시간 동안 거친 처리수의 색도 변화를 나타내고 있다.

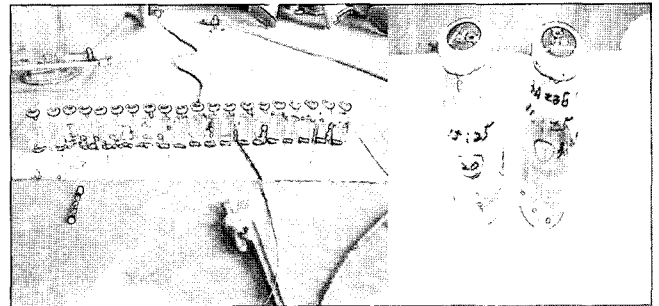


그림 6. AOP System 색도실험

3.5 선행기술과의 차별성

- ① 가압형평막(한외여과막)은 Pore Size가 0.1μm이하로 처리수질이 우수하다.
- ② 높은 선속에 의한 Cross Flow Filtration으로 미생물의 상태에 따른 성능에 영향을 받지 않으므로 더 안정적인 시스템이다.
- ③ 막을 전량 교체하지 않고 손상된 막만 교체가 가능하며, 판리층 위에 위치하므로 여과 과정 및 역세정과정을 눈으로 확인 가능하여 유지관리가 용이하다
- ④ 가압형평막은 판형으로 판의 손상이 적어 5년/1회 정도의 교체주기를 가진다.
- ⑤ 오존+UV를 이용한 AOP System은 유기물 및 색도를 완전히 제거할 수 있다.(시험 측정결과 1회에서 87.5%, 2회 이상에서 100% 제거 효율의 결과가 나타났다)
- ⑥ 오존+UV를 이용한 AOP System은 배관의 스케일을 방지하므로 배관수명 연장의 효과를 거둘 수 있다.
- ⑦ 본 AOP System은 과산화수소를 직접 주입함으로써 필요 이상의 과산화수소가 주입되었을 경우 유기물 제거에 오히려 역효과를 유발시켰던 기존기술과는 달리 과산화수소를 오존 광분해로 필요한 양만큼 직접 생산한다. 또한, 약품을 투입하지 않아(전기와 산소만을 사용) 2차 오염이 없는 친환경적인 기술이기도 하다.
- ⑧ 가압형평막과 오존+UV를 이용한 AOP System은 AOP 챔버에서 오존과 UV램프를 접촉시키는 방법으로 좁은 공간에서 오존과 UV의 접촉효율을 극대화시켜 처리조로 이송

시키는 방법이다. 따라서 잉여오존의 발생량이 적고, UV램프 수와 오존 주입량이 적어 공사비가 저렴한 국내 자체 개발 공법이다. (특허 출원 번호 : 제10-2005-0014256호)

⑨ 자동제어 시스템을 이용하여 원수물량, 중수물량, 배수물량, 막세정 주기를 모니터링 기능으로 확인이 가능하다.

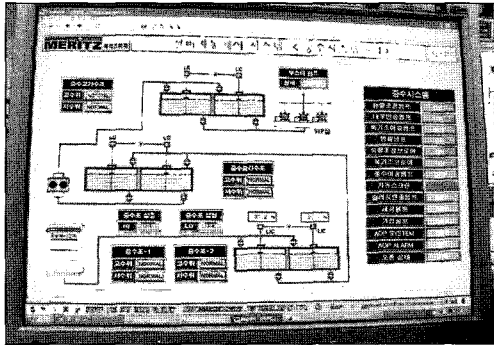


그림 7. 자동제어 모니터링 시스템

4. 성능 및 경제성 평가

4.1 사례 건물

- 공사명 : 메리츠 금융사옥 신축공사 중 중수처리시설 공사
- 공사기간 : 2004.04.10~2005.10.31
- 공사금액 : 297,550(천원)
- 공사위치 : 서울시 강남구 역삼동 825-2
- 중수사용계획 : 100m³/일

4.2 사례 건물의 중수설비 흐름도

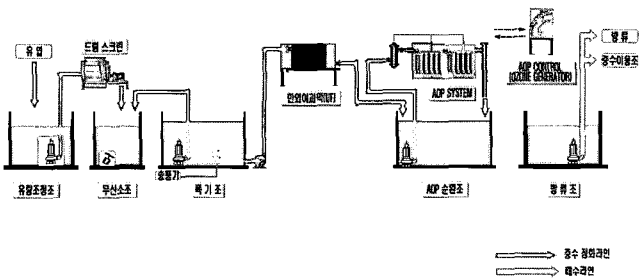


그림 8. 중수설비 흐름도

4.2.1 침사조

오수 중에 유입되는 사석을 제거하기 위하여 설치하는 시설로 사석으로 인해 펌프가 마모되는 것을 방지(수평 유속을 충분히 유지하도록 구성)하고 폭기조, 침전조, 소화조에 축적되는 것을 방지하며, 관이 막히는 것을 방지하기 위해서 설치하였다.

4.2.2 스크린 조

침사조를 거친 유입 오수중의 협잡물 및 토사를 분리 제거함으로써 침사조 이후 공정에서 기계 설비(펌프 및 배관 등)의 마모 및 폐쇄로 인한 내용 연한단축, 구조물 등에 퇴적으로 인

한 처리 기능 저하 등을 예방하기 위해 설치된다.

유입 관로를 통해 유입된 오수는 눈목 20mm의 Bar스크린을 통과할 때 비교적 큰 협잡물이 제거된 후에 5mm의 Auto Bar Type의 자동 스크린을 통과하며 2차 협잡물이 제거된다. 한편 예비로 설치된 바스크린은 60° 경사로 설치된 간격 50mm의 조목스크린과 20mm의 세목 스크린으로 구성되어 있다.

4.2.3 유량 조정조

시간에 따라 유량 및 부하 변동이 큰 오수를 유량 조정조 체류시간 동안 어느 정도 완화하여 폭기조로 일정량 이송하기 위한 목적으로 설치되었다.

수중 펌프를 설치하고 펌프 보호를 위하여 Timer에 의한 교대 운전이 되도록 하였으며, 오수의 균질화 및 부패 방지를 위하여 교반 시설을 설치하였다.

4.2.4 무산소조

유량 조정조에서 일정량 이송된 오수중의 콜로이드성 및 용해성 유기물질과 질소를 미생물에 의해 흡착, 섭취 분해하여 제거하는데 그 목적이 있다.

질소와 유기물을 동시에 제거하기 위하여 무산소조에 수중 교반기를 넣어 탈질이 원활하게 하여주며 수중 미생물에 의하여 질소와 유기물이 분해될 수 있도록 하였다.

4.2.5 폭기조

무산소조와 동일한 목적으로 미생물이 유기물을 분해하기 위한 환경을 제공하는 곳으로 공기의 유입으로 유기물이 호기성 상태에서 부패를 방지하며 미생물의 원활한 활성을 목적으로 하였다.

4.2.6 한외 여과막

반투성 막을 이용해 고액 분리하는 것으로 기존의 침전조를 대신하여 폭기조 다음에 설치함으로써 미생물의 농도를 높게 유지할 수 있도록 하여 처리 효율을 높였다.

판형 형태의 한외 여과막으로 막의 특성상 대장균이나 부유물질이 통과하지 못하게 되어 있으며 이에 따라 미생물 플러를 계속 순환시킴으로써 폭기조 내 미생물 농도를 높게 유지할 수 있다.

4.2.7 CIP TANK

한외여과막의 세척을 위해서 가압펌프의 Concentrate를 CIP TANK로 연결하였고 각각의 한외여과막 TANK를 개별 세척할 수 있는 형태로 만들어 세척시에도 유입물량을 처리할 수 있는 구조로 하였다.

4.2.8 중수 이송조 및 방류조

방류 펌프를 설치하고, 수위에 따라 운전될 수 있도록 설치하였다.

4.2.9 고급산화법(AOP SYSTEM)

중수 탱크내의 물을 순환 하면서 처리하기 위해 두 대의 순

환펌프를 이용하였다. 산소·오존 발생기, 고급산화장치, 중수 탱크를 계속 순환하며 중수로 재이용된다.

4.3 성능 검토

표 6. 오염물질별 처리효과

| 항목 | 오염물질농도(mg/l) | | 처리효율(%) |
|-----|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| | 유입수 | 처리수 | |
| BOD | 217.8~336 (265.44) | 3.38~4.25 (3.79) | 98.2~99.0 (98.55) |
| COD | 120.6~188.94 (161.09) | 5.43~5.93 (5.69) | 95.9~96.9 (96.4) |
| SS | 112.0~175 (153.54) | 1.3~2.56 (1.7) | 98.5~99.2 (98.86) |
| 색도 | 8~12 (9.6) 막통과 후 | 0~1 (0.17) AOP 통과 후 | 87.5~100 (97.9) |
| 탁도 | 2.13~3 (2.53) 막통과 후 | 0.2~0.29 (0.245) AOP통과 후 | 87~92 (90.05) |

※ ()안은 평균값임.

※ 본 시설은 가압형평막(한외여과막)과 AOP SYSTEM을 거친 후 중수로 재이용되는 시설이다.

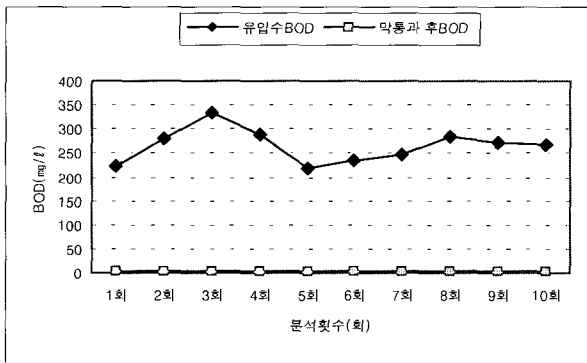


그림 9. BOD 처리효율 변화도

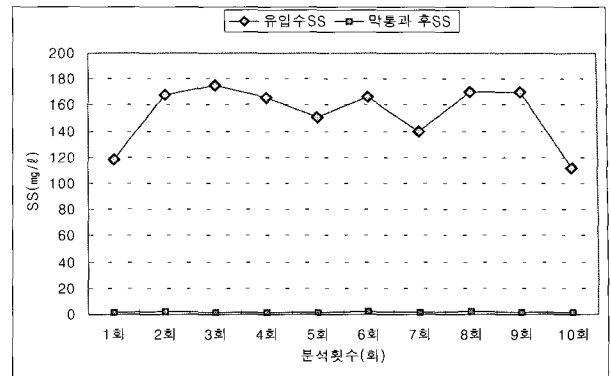


그림 11. SS 처리효율 변화도

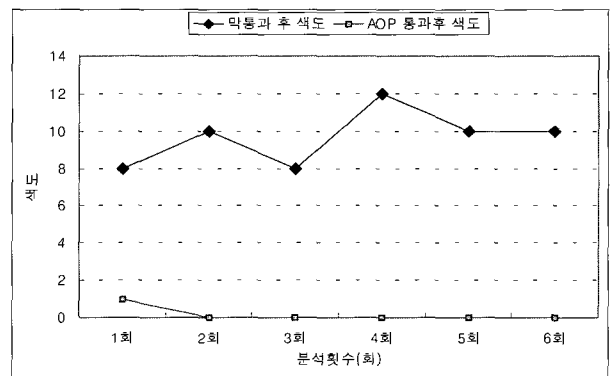


그림 12. 색도 처리효율 변화도

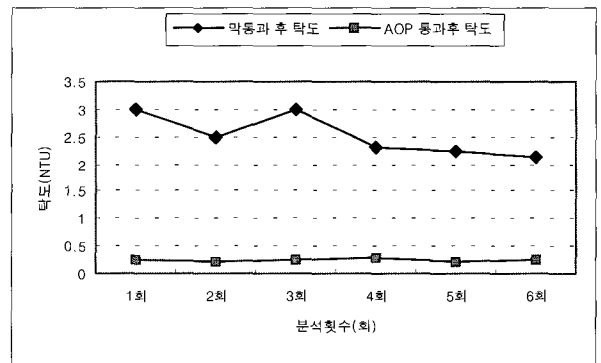


그림 13. 탁도 처리효율 변화도

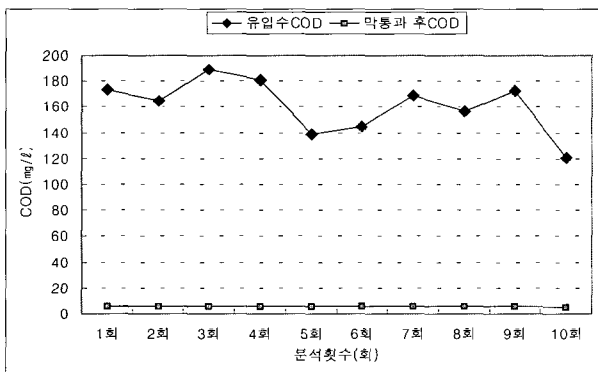


그림 10. COD 처리효율 변화도

4.4 경제성 검토

경제성 검토를 위한 비용, 편익 요인과 세부 내용은 표7, 8 9에 나타내었다.

표 7. 비용, 편익 요인

| 구분 | 비용 요인 | 편익 요인 |
|----|-------------------------|--|
| 항목 | · 설치공사비(토진/기전) · 운영비 | · 상하수도 요금 절감액 · 물이용 부담금 절감액 · 환경개선 부담금 절감액 |

표 8. 비용요인 세부항목 및 기존공법과의 비교 (단위: 천원)

| 구분 | 기존방법 (BIOSUF공법) | 신청기술 | 비고 | |
|-------|-----------------|---------|---------|--------|
| 직접공사비 | 한외여과막 | 120,000 | 50,000 | 약60%DN |
| | AOP System | - | 14,500 | 100%UP |
| | 기계, 배관, 잡철물 공사 | 172,500 | 143,400 | 약17%DN |
| | 전기공사 | 30,000 | 19,000 | 약40%DN |
| | 소계 | 322,500 | 226,900 | 약30%DN |
| 노무비 | 한외여과막 | 25,000 | 15,000 | 약40%DN |
| | AOP System | - | 6,900 | 100%UP |
| | 기계, 배관, 잡철물 공사 | 57,000 | 41,900 | 약25%DN |
| | 전기공사 | 7,000 | 9,300 | 약25%UP |
| | 소계 | 89,000 | 73,100 | 약20%DN |
| 합계 | 411,500 | 300,000 | 약27%DN | |

* 운영비용은 표 10에 결과년수 별로 표기

표 9. 편익요인 세부항목 및 근거

| 구분 | 수도요금 | 중수도감면 | 하수도요금 | 환경개선부담금 | 비고 |
|--------------|--|----------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|
| 법적근거 | 수도법 서울시 수도공급조례 | 수도법 서울시 중수도설치권 장에 관한 조례 | 하수도법 서울시 하수도사용조례 | 환경 개선법 ²⁾ | |
| 구분 | 업무용 | 상수도의 50% | 업무용 | - | |
| 적용단가 | 600 원/㎡ | 300 원/㎡ | 390 원/㎡ | 79 원/㎡ | 1,369원/㎡ |
| 산출근거 | 중수사용량(㎡/일) × 365(일/년) × 15(년) × 적용단가(원/㎡) | | | | |
| 절감액 (천원) | 328,500 | 164,250 | 213,525 | 43,348 | |
| 총 편익 (천원) | 749,623 | | | | 내구연한 15년 적용 |

1) 한강수계상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률

2) 환경개선비용 부담법

4.4.1 편익-비용(B/C Ratio) 분석

편익-비용 분석은 총 편익과 총 비용의 비를 구하여 그 값이 1보다 크면 경제성이 있는 것으로 판정하였다. 이에 따라 본 시설의 B/C Ratio는 1보다 큰 1.80으로 산정되는 바, 설치시 경제성이 있는 것으로 판단되었다.

- B/C Ratio = 총 편익/총 비용
= 749백만원/415백만원
= 1.80 (> 1)

• 분석 결과 : 경제성 내재

* 총 편익은 표9에 근거하여 산출하였으며 총 비용은 표8의 초기투자비와 15년간 운영비용의 합산액임.

4.4.2 중수도 순 편익 및 투자비 회수기간 분석

본 시설의 설치로 인하여 소요되는 시설 투자비 및 내구연한 15년 동안의 운영비는 사용기간 동안 발생하는 상·하수도요금, 물이용 부담금, 환경개선부담금 등의 절감으로 일정기간 후에는 총비용이 회수되고 순 편익이 예상된다. 따라서 추정된 총 비용과 총 편익을 종합 분석하면 약 334백만원(2019년 예상)의 순 편익이 예상되며 투자비 회수 기간은 약 7년이 소요될 것으로 예상된다.(2005년 10월 기준)

표 10. 편익 및 투자비 회수기간 추정 단위 : 천원

| 경과년수 | 총 비용 | | 총 편익 | | | | 순 편익 | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|----------|
| | 운영비용 | 초기 투자비 | 상수도요금 | 중수도감면 | 하수도요금 | 물이용부담금 | 환경부담금 | 총 편익누적 | 순 편익 |
| 0 | 14,310 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 49,974 | -365,400 |
| 1 | 9,724 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 99,949 | -315,425 |
| 2 | 9,261 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 149,924 | -265,450 |
| 3 | 8,820 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 199,899 | -215,475 |
| 4 | 8,400 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 249,874 | -165,500 |
| 5 | 8,000 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 299,849 | -115,525 |
| 6 | 7,619 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 349,824 | -65,550 |
| 7 | 7,256 | 300,000 | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 399,799 | -15,576 |
| 8 | 6,911 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 449,774 | 34,398 |
| 9 | 6,581 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 499,749 | 84,873 |
| 10 | 6,268 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 549,724 | 134,348 |
| 11 | 5,970 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 599,699 | 184,323 |
| 12 | 5,685 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 649,674 | 234,298 |
| 13 | 5,415 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 699,649 | 284,273 |
| 14 | 5,157 | | 21,900 | 10,950 | 14,235 | 0 | 2,890 | 749,624 | 334,248 |
| 합계 | 115,375 | 300,000 | 328,500 | 164,250 | 213,525 | 0 | 43,348 | 749,623 | 334,248 |

5. 결 론

중수설비는 개별적인 상하수도 요금의 절감 차원보다는 환경오염방지 및 수자원 절약 차원에서 범국가적으로 추진해야 하는 시설이다. 일반적으로 중수설비는 고비용으로 생각하지만, 비용비교 대상에 따라 그 평가는 상당히 달라질 수 있다. 댐 건설비용, 상하수도 건설비용 등 사회적 비용을 고려하는 공공적인 관점에서 그 타당성을 찾아야 할 것이다.

본 연구의 가압형 평막은 국내 최초 기술이며 여과막의 재료와 설치 위치, 방법 등에서 선행기술의 문제점을 개선하여 소규모 처리시설(1,000㎡/day이하)에 적합하게 하였다.

본 기술은 중수처리장의 공정 중 폭기조내 가압형평막(한외여과막)을 이용하여 폭기조 혼합액을 고액 분리시킴으로써

BOD, SS, 대장균을 완벽하게 처리 할 수 있었으며, 가압형평막으로 처리하기 힘든 색도, 탁도 문제를 오존+UV(AOP SYSTEM)를 결합하여 색도는 물론 배관의 스케일방지, 저장시 발생하기 쉬운 부패 현상까지 방지하였다.

참 고 문 헌

1. 환경부, "중수도 이론과 실제", 환경부 수도정책과, 1997.
2. 이규현 (1994) 막을 이용한 고도 수처리 기술, 환경기술, pp.18~25.
3. Pervov G. (1991) Scale formation prognosis and cleaning procedure schedule in reverse osmosis system operation, Desalination 83, pp.77 ~ 118.
4. "관형 세라믹 한외여과막을 사용한 폐수처리 및 재활용 기술 개발: 1. 주기적 역세척 효과 (Development of Wastewater Treatment and Recycling Technology Using a Tubular Ceramic Ultrafiltration Membrane: 1. Effect of Periodic Backflushing)", 박진용, 멤브레인 (Membrane Journal), 9권 3호, pp.178-184 (1999).
5. "중공사형 한외여과 막분리 공정에 의한 하천수 처리 (Lake Water Treatment Using a Ultrafiltration Membrane Process of Hollow Fiber Type)", 박진용, 멤브레인(Membrane Journal), 7권 1호, pp.39-47 (1997).
6. 오현제, 1998, 우리나라 실정에 적합한 고도정수처리기술의 개발과 활용, 한국건설기술연구원.
7. 石飛博之, 1994, 상수의 고도정수시설 도입, 첨단환경기술 1994년 5월호.
8. 환경부 상하수도국, 1999, 상수도 실무자를 위한 고도정수처리 기술사례집.
9. 한국건설기술연구원, 1995, 고도정수처리시스템 개발 Vol. I, 환경부.
10. 영남대학교 환경문제연구소·동경대학 생산기술연구소, 1994, 상수고도처리, '94 제2차 한·일 공동 환경심포지움.