

上下水道 오존高度處理 시스템의 기술동향

오존은, 그 강력한 산화력에 의하여 살균, 탈취, 탈색과 유기물 제거 등의 효과를 복합적으로 얻을 수 있고 또한 신속하게 산소로 분해되어 잔류하지 않기 때문에 환경개선에 사용하기에 이상적인 물질이다.

미쓰비시電機에서는 이러한 오존의 이점에 착안하여 1970년부터 오존발생기와 오존처리설비의 개발, 제품화를 추진하여 왔다. 오존에 의한 고도처리가 널리 일반에게 인정되어 그 수요가 높아지고 있는 오늘날에 있어서도 보다 많은 오존설비의 보급을 위하여 오존技術의 개발에 힘쓰고 있다.

본고에서는 상하수도 오존고도처리의 기술동향의 일부로 시도되고 있는 다음의 세 가지 내용을 소개한다.

(1) 오존處理시스템의 省에너지, 고효율화 기술

放電값의 단축화, 管内壓力의 고압화로 고폰도·고효율의 오존 발생을 실현하여 省전력화를 가능케 한 新型오존나이지를 개발 제품화하였다.

(2) 오존反應槽내에서의 散氣裝置特性的 파악

모델화가 곤란한 散氣裝置에 대하여 실험비규모의 실험설비를 사용하여 그 散氣특성을 분명히 하였다.

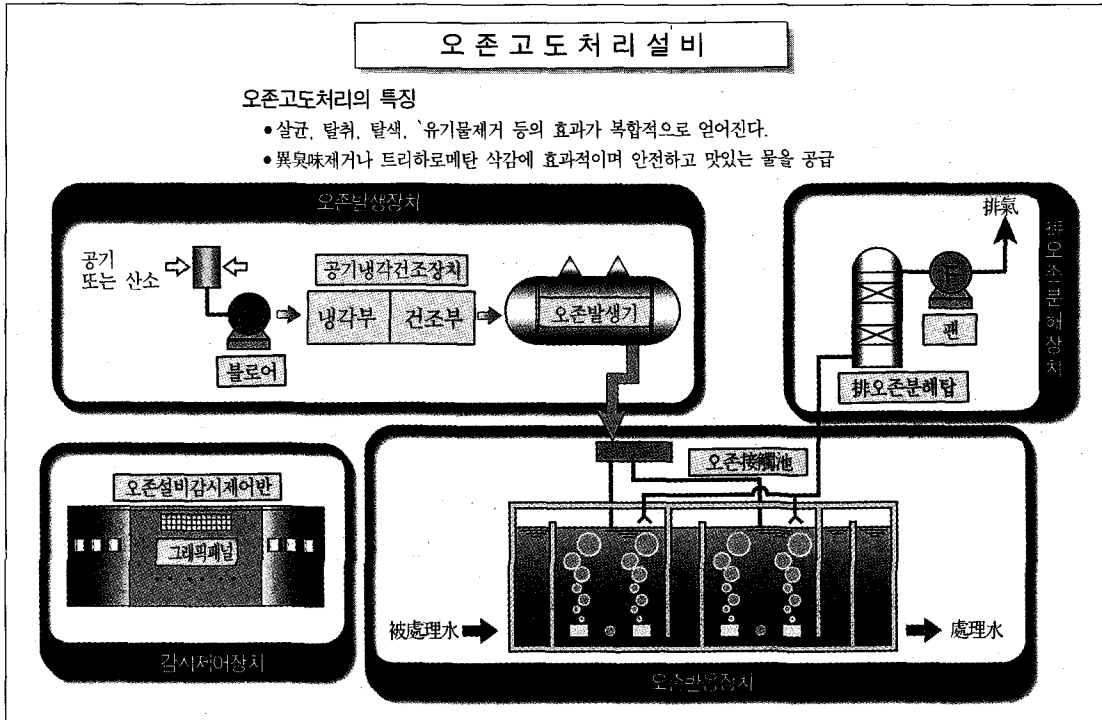
(3) 過酸化水素첨가 오존처리법에 의한 하수처리수의 재생이용

과산화수소첨가 오존처리법에 의하여 장기간에 걸쳐 하수처리수를 全有機炭素(TOC) 3mg/l 이하로까지의 처리를 달성하여 下水處理水を 水道水레벨로까지 고도로 정화할 수 있음을 실증하였다.

1. 머리말

염소에 의하여 생성되는 트리하로메탄(THM)의 위험성이 사회에 널리 알려지게 되어 "안전하고 맛있는 물"을 요구하는 소리가 더욱 높아지고 있다. 이에 따라 상수처리는 물론 하수처리에 있어서도 염소를 감소시키는 방향으로 검토되고 있어, 이를 위해 새로운 설비의 도입이 검토되고 있다.

오존은, 그 강력한 산화력에 의하여 살균, 탈취, 탈색과 유기물 제거 등의 효과를 복합적으로 얻을 수 있기 때문에, 지금까지 상수처리에서 곰팡이냄새 제거와 THM 저감에, 하수처리에서는 재이용 등에 쓰이고 있으나, 염소 삭감에 대한 사회적인 동향에 응하고 또한 최근 클로즈업되고 있는 耐염소성菌 '클리프트스포리지움' 대책 등에 오존처리가 유효하다는 보고도 있어, 그 도입이 가속화될 것으로 기대되고 있다.



〈오존고도처리설비의 설명〉

오존고도처리설비는 공기 또는 산소로부터 오존을 발생하는 오존발생장치, 발생시킨 오존을 被處理水和 반응시키는 오존반응장치, 오존반응장치에서 반응을 다하지 못한 배오존을 분해하는 배오존 분해장치, 이들 세 개의 장치를 감시제어하는 감시제어장치로 구성된다.

동사에서는 오존설비를 더욱 보급해가기 위하여 앞으로 요구되는 여러 가지 조사와 개발을 추진하고 있다.

본고에서는 상하수도 오존고도처리시스템의 기술동향의 일부로서 오존처리시스템의 省에너지, 고효율화기술, 오존반응조내에서의 散氣裝置特性的 파악, 과산화수소첨가 오존처리법에 의한 하수처리수의 재생이용에 대하여 새로운 지식을 얻었기에 소개한다.

2. 오존處理시스템의 省에너지와 高效率化技術

2.1 개요

오존처리시스템에서는 지금까지 오조나이저와 관련 기기의 운전에 다량의 전력을 필요로 하고 있었는데 그

대부분이 열로서 系外로 방출되고 있기 때문에 효율 향상과 열에너지의 유효이용이 전력소비 저감을 위한 중요한 과제가 되고 있다. 오존처리시스템 중 오조나이저 부분이 전시스템 소비전력의 약 70%를 점하고 있기 때문에 이것의 고효율화가 오존처리시스템의 省에너지화에 가장 유효하다는 것을 알 수 있다.

그래서 오존 발생을 위한 방전갯을 종래에 비하여 短갯化하고 또한 고압력하의 운전으로 하여 종래형 오조나이저에 비하여 보다 고효율이며 고농도의 오존발생을 가능케 하는 신형오조나이저를 개발하여 제품화하였다.

2.2 고효율화への 노력

無聲방전법에서는 방전공간에서 오존의 생성과 함께

오존의 분해도 동시에 진행되고 있다. 이 때문에 고농도의 오존을 고효율로 생성하기 위해서는 오존분해를 적극적으로 억제하는 것이 중요하다. 지금까지는 방전갭을 단축함으로써 냉각능력의 향상을 도모하여, 오존분해에 크게 영향을 미치는 방전공간내의 가스온도 상승을 저감시키려는 시도를 하여 왔다. 그러나 공기를 원료로 하였을 경우 방전갭의 단축으로 오존생성을 저해하는 NO_x의 생성량이 증가하여 역으로 오존생성효율이 저하되기 때문에 방전갭을 1mm 이하로 하는 것은 불리하다고 알려져 왔다.

NO_x의 생성은 공기중에 포함된 질소분자가 전자와의 충돌로 질소원자로 解離되고, 이 질소원자가 산소나 오존과 반응함으로써 일어나게 된다. 질소원자의 생성속도는 충돌하는 전자의 에너지의 영향을 받으며, 전자에너지는 방전공간내의 가스압력 P와 방전갭 d의 곱인 P·d치의 一義的인 함수가 된다고 알려져 있으며, NO_x의 생성에는 이 P·d치가 크게 영향을 미친다고 생각할 수 있다.

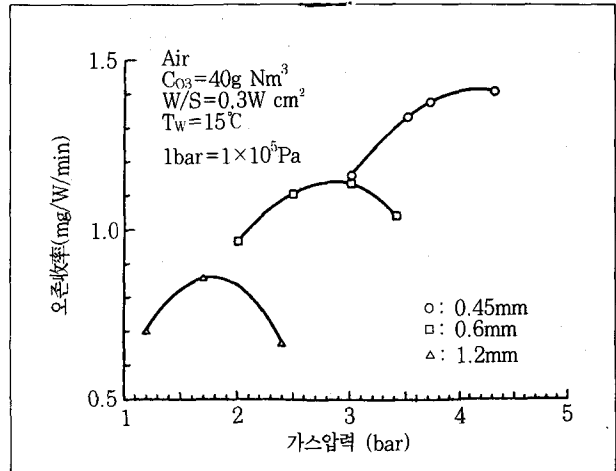
또 오존의 생성도 마찬가지로 P·d치에 의하여 영향을 받으며, 이 값이 높은 경우에는 오존의 解離가 진전되고 낮은 경우에는 NO_x의 생성에 의한 오존의 소비가 진전되기 때문에 오존생성에 최적한 P·d치가 존재한다고 생각할 수 있다.

이상의 검토항목에 대하여 실험적으로 확인하여, 가장 효율이 좋은 방전조건의 최적화를 도모하였기에 그 결과를 아래에 기술한다.

2.3 실험결과

실험은 1.2mm 이하의 방전갭 길이를 갖는 單管器를 사용하여 가스압력의 변화가 오존收率(단위시간 및 전력당의 오존발생량)에 미치는 영향을 조사하였다.

실험결과로서 그림 1에 3종류의 갭 길이에 대한 오존수율과 가스압력과의 관계를 나타내었다. 이것으로부터 각 갭 길이에서 최적의 가스압력이 존재하게 되며, 갭



〈그림 1〉 오존발생특성의 가스압력 의존성

길이의 단축화를 도모함으로써 오존수율이 비약적으로 향상됨을 알 수 있다. 또 오존농도와 동시에 NO_x농도도 측정된 결과 수율이 최대가 되는 가스압력근방에서 오존농도에 대한 NO_x농도의 비가 최소가 되어 오존수율의 향상이 NO_x생성의 저감에 좌우된다는 것을 확인하였다.

2.4 시스템의 최적화

실험결과에 기초하여 공기압축기, 공기건조기, 냉각기, 냉각수순환펌프 및 오존발생기를 포함한 오존나이지의 전소비전력의 변화를 발생오존농도에 대하여 자동산출하는 해석틀을 사용하여 시뮬레이션에 의한 시스템 운전조건의 최적화를 검토하였다. 그림 2에 오존발생량 500g/h일 때의 발생오존농도에 대한 시스템소비전력의 변화를 나타내었다. 다만 방전갭 길이는 현행시스템인 1.2mm와 짧은갭 길이인 0.6mm를 사용하고 냉각장치는 공냉칠러를 사용하였다. 이 결과 오존발생기를 고압·短갭化함으로써 발생오존농도전역에 걸쳐 15% 정도의 소비전력 저감이 가능하다는 것이 확인되었다. 또한 오존농도가 35~40g/Nm³ 근처에서 시스템전체의 소비전력이 최소로 되며 종래형(오존농도 20g/Nm³)보

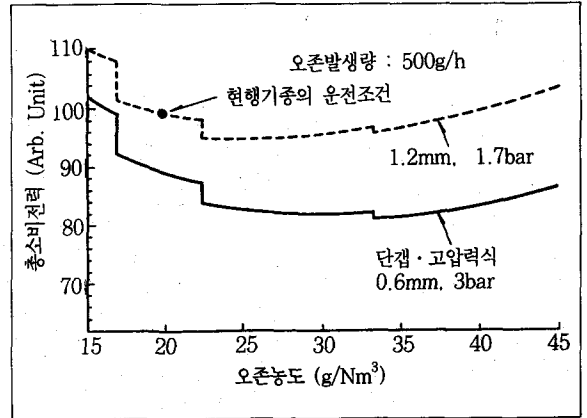
다도 발생오존농도를 높임으로써 보다 더省电력화가 가능하다는 것이 밝혀졌다.

지금까지의 성과를 기초로 고압력·短갭의 省에너지형 공기원료오조나이저 "J시리즈"를 제품화하였다(오존발생량 250~5000g/h). 오존발생량 1kg/h에 대한 종래형과의 성능비교를 표 1에 표시한다. 이 표에서 종래형과 비교하여 소비전력이 16% 적어질 뿐만 아니라 고농도·고압력 때문에 가스流量이 적게 되어 가스配管口徑을 소형화할 수 있으며 空氣源설비를 소형화할 수 있다는 등의 메리트가 있음이 분명해졌다.

3. 오존反應槽내에서의 散氣裝置特性的 파악

3.1 개요

처리수량이 많은 대도시권의 정수장에 있는 오존처리설비에서는 일반적으로 橫流式오존反應槽가 사용되고 있다. 효율 좋게 오존을 용해시켜 반응시키는 오존반응조 설계를 위하여 오존반응조의 모델 장치를 試作하여 유동해석과 시뮬레이션을 하고 있다. 특히 시뮬레이션 해석에서는 散氣의 영향을 고려한 散氣設備의 모델화는 곤란한 것으로 되어 있다. 그러나 실제로 흡수효율과 반응효율을 확인하여 最佳的의 오존반응조를 설계하기 위



〈그림 2〉 시스템 소비전력 계산에

해서는 散氣의 영향을 고려한 시뮬레이터의 개발과 유동해석은 필요불가결하다고 할 수 있다.

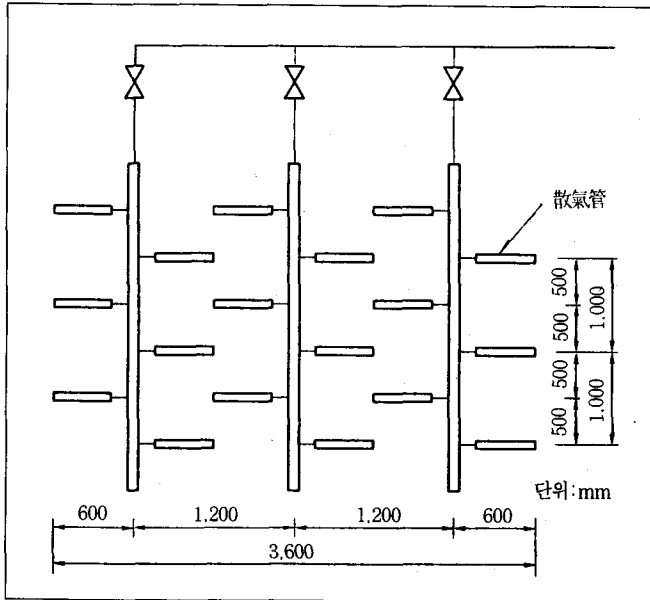
그래서 동사가 상수분야에서 사용하고 있는 散氣管을 사용하여 그 산기특성과 가스流量, 散氣本散, 散氣管配列 등의 관계를 실험설비를 사용하여 조사하였기에 그 결과를 기술한다.

3.2 실험장치

실험수조는 내부치수가 세로 4m, 가로 3m, 깊이 4m의 콘크리트제로 정면 4개소, 측면 2개소에 내부판찰용 창을 설치하고 있다. 그림 3에 표시하는 것과 같이 3본의 散氣헤더를 서포트대에 고정하고 여기에 1헤더

〈표 1〉 고압력형 오존발생장치와 종래형의 성능 비교

구 분	고압력형 오존발생장치	종래형 오존발생장치	고압력형 오존발생장치의 특징
	형식 : OS-1000J	형식 : OT-1F	
정격오존 농도 (최대제조가능치)	40gO ₃ /Nm ³ (50gO ₃ /Nm ³)	20gO ₃ /Nm ³ (25gO ₃ /Nm ³)	• 종래형에 비하여 고오존농도의 요구에 응할 수 있음
정격오존화가스량	25Nm ³ /h	50Nm ³ /h	• 종래형에 비하여 가스량이 작기 때문에, 공기원설비의 성전력과 및 반응탑설비의 소형화를 기할 수 있음
정격오존화가스압	1.9kg/cm ² G	0.7kg/cm ² G	• 종래형에 비하여 고압력이기 때문에 오존화공기배관 구경을 종래식에 비하여 작게 할 수 있음
설치스페이스	63%	100%	• 오존농도가 종래형의 2배이기 때문에 공기풍량은 1/2로 되어 공기원설비가 소형화됨.
오존발생량 1kg/h 당 소비전력	84%	100%	• 소비전력이 적음



〈그림 3〉 散氣管 配列

당 6본의 산기관을 지그재그로 설치하고 수조저면에서 53cm 띄워서 배열, 배치하였다. 실험에 사용한 산기관은 세라믹제로 크기는 외경이 75mm, 길이 500mm, 평균 氣孔徑은 50 μ m이다.

3.3 실험방법

수조의 정면관찰창에서 氣泡徑, 기포의 퍼짐을 읽을 수 있도록 스케일(mm단위)을 설치하였다. 또한 측면 창에서 조명을 하여 수심 50cm 간격으로 비디오촬영과 사진촬영을 하였다. 산기관특성의 조사는 산기수심 3.1m에서 산기관 1본당의 산기특성을 조사하는 單管散氣實驗, 복수의 산기관을 사용하여 산기시스템의 특성을 조사하는 시스템산기실험의 두 패턴으로 하였다.

실험항목은 다음과 같다.

- 산기가스량과 산기면적과의 관계
- 산기관의 배치와 산기상황

3.4 실험결과 및 고찰

3.4.1 散기가스량과 散기면적과의 관계

單管散氣實驗에서 산기관 근방의 기포는 산기가스 風量 80 l/min·本까지 증가시켜도 흐트러짐은 보이지 않고 산기상태는 양호하였으나 교반효과는 적었다. 산기가스 풍량이 100 l/min·本이 되면 기포는 파도가 치는 것처럼 상승하고 장소에 따라서는 기포 상승부 주변의 下降流에 일부의 기포가 말려들어가 산기상태, 교반상태 공히 양호하였다. 그러나 산기가스 풍량을 이 이상 증가시키면 기포상승의 구불구불함과 氣泡徑이 증대하는 것이 확인되었다. 기포경의 증대는 용해효율의 저하로 이어지는 것으로 추측되기 때문에, 최적한 산기가스 풍량은 100 l/min·本 정도라고 생각되었다. 또 이 산기가스 풍량에서 산기 수면에 미치는 면적, 즉 산기면적은 산기수심 3.1m의 조건에서는 長邊 100cm, 短邊 85cm에서 0.85m²/本으로 되었다.

다음에 시스템散氣실험에서 실제로 수면의 기포 상태를 관찰한 바 80 l/min·本에서는 벽부근의 기포가 적었으나 100 l/min·本에서는 거의 全面散氣되고 있어 양호한 상태였다. 또한 이 결과는 단관산기실험의 결과를 접친 것과 유사한 점에서 복수배열시의 산기면적은 단관실험데이터로부터 추측할 수 있는 것으로 생각되었다.

또 시스템산기실험에서 산기本數를 변화시켜 편중된 산기를 일으키면 수조내에서 대류가 발생하였다. 이 때문에 산기관의 배치가 부적절하면 수류에 난조가 생겨 최악의 경우 수류의 쇼트패스를 일으켜 오존반효율이 저하될 우려가 있어, 실제의 설비설계에서는 이러한 대류가 생기지 않도록 산기관배열을 충분히 고려할 필요가 있다. 오존나이지어운전 대수제어 등으로 가스유량이 저하하는 경우에도 편향된 산기에 의한 수류의 난조발생을 억제하기 위하여 全散氣管의 가스량을 균등하게

저하시키는 것이 좋다고 생각된다.

3.4.2 散氣管의 배치와 散氣상황

실제의 오존반응조에서는 하나의 오존헤더에 복수의 산기관이 설치되기 때문에 통상적으로 片側에서의 배관에서는 말단부로 갈수록 산기가스량이 감소될 것으로 생각되었다. 이 때문에 그림 4와 같이 산기배치를 바꾸어 通氣하여 각각의 산기특성을 조사·검토하였다.

그결과 실험(1)과 (3)에서는 산기관의 배치장소에 따라 산기가스풍량이 달랐으나 실험(2)에서는 산기가스풍량은 비교적 균일하였다. 실험(4)에서는 밸브 a, b 또는 a, c를 열어 산기하고 있는 상태에서 나머지 밸브를 열어도 3번째의 헤더관의 산기관으로부터는 산기가 생기지 않았다. 또한 산기하고 있는 헤더관의 하나를 잠귀도 산기는 일어나지 않고, 3本 모두 산기시키기 위해서는 한 번 블로어를 정지시켜 재가동할 필요가 있었다.

이에 의하여 산기가스풍량을 헤더마다 系列制御하는 경우에는 메인배관에 접속하는 헤더수를 여유있게 하거나 운전제어법에 의거하여 각 헤더의 유량을 평균화하는 등의 대응책을 고려할 필요가 있음을 알았다.

3.5 앞으로의 과제

이번에는 산기의 영향을 고려한 시뮬레이터의 개발과

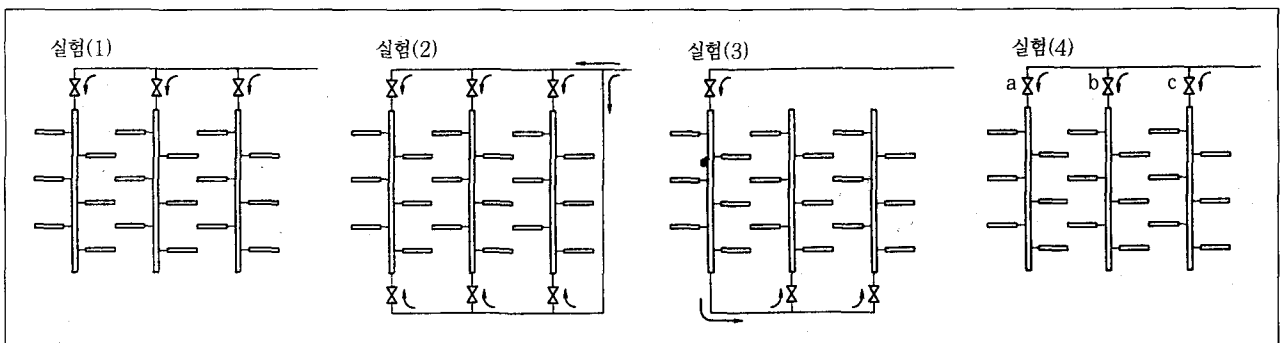
流動解析의 발판으로서 동사가 상수분야에서 사용하고 있는 산기관을 사용한 산기장치를 조사실험하여 ① 산기관 1본당의 산기가스풍량을 100 l/min·本 정도, 산기면적을 長邊 100cm, 短邊 85cm로 하고 반응조건면이 曝氣되도록 산기관을 배치하면 좋다는 것과, ② 반응조내에 편향된 산기를 일으키면 대류가 발생하여 오존반응효율이 저하할 가능성이 있다는 것, 그리고 ③ 헤더의 양단에서 가스를 공급하는 루프배관으로 하면 산기상태의 들쭉날쭉을 저감시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

이러한 사실로부터 앞으로 이 실험에서 얻은 산기특성을 기초로 고효율오존반응조의 설계기술을 축적하기 위하여, 산기의 영향을 고려한 시뮬레이터를 조속히 개발하여 實플랜트에 의한 그 상관성을 확인해 갈 것이다.

4. 過酸化水素첨가 오존處理法에 의한 하수처리수의 재생 이용

4.1 개 요

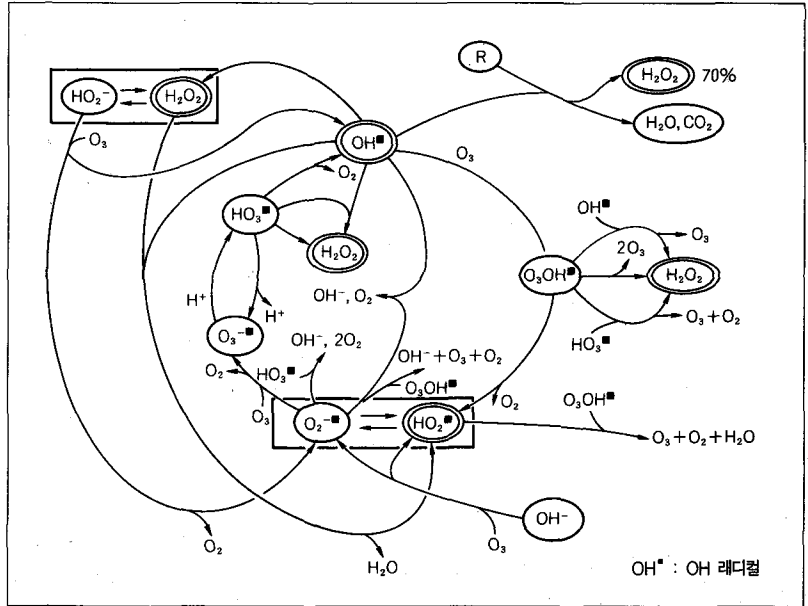
과산화수소첨가 오존처리법은 수중에서 오존과 과산화수소를 반응시킴으로써 보다 산화력이 강한 OH라디칼을 발생시켜 난분해성유기물을 분해, 살균하는 것으로,



〈그림 4〉 조사·검토한 散氣가스 配管流路

하수방류수 재이용을 촉진하여 만성화되어 가는 갈수문제 등을 해결하는 초고도 처리로서 유망하다. 이 처리법은 오존단독처리보다도 유기물제거성능이 우수하여 이젝터형 반응기를 사용하여 단시간에 대량의 오존을 주입함으로써 고속처리할 수 있는 가능성을 나타내고 있다.

현재 하수처리수의 재생이용기술의 확립을 위하여 실제의 처리장내에 처리수량 3m³/h의 파이롯플랜트를 설치하여 실증시험을 실시하고 있다. 여기서는 파이롯플랜트에서의 이 처리법의 처리성능에 관하여 기술한다.



〈그림 5〉 過酸化水素첨가 오존처리법의 반응모델의 스킴

4.2 過酸化水素첨가 오존處理의 反應모델

반응모델을 그림 5에 표시한다. 과산화수소첨가 오존처리법은 오존과 과산화수소와의 반응에 의하여 OH라디칼을 생성시켜 유기물을 분해하기 때문에 그 반응기구는 꽤 복잡하다. 또 OH라디칼은 제거대상이 아닌 물질과도 반응하여 무효소비된다. 實排水에서는 여러 가지 물질이 함유되어 있기 때문에 OH라디칼은 유기물이나 용존오존과 반응할 뿐만 아니라 라디칼스캐빈저와도 반응하는 競合反應系로 되어 있는 것으로 생각되며, 반응기구는 대단히 복잡하다.

4.3 실험방법

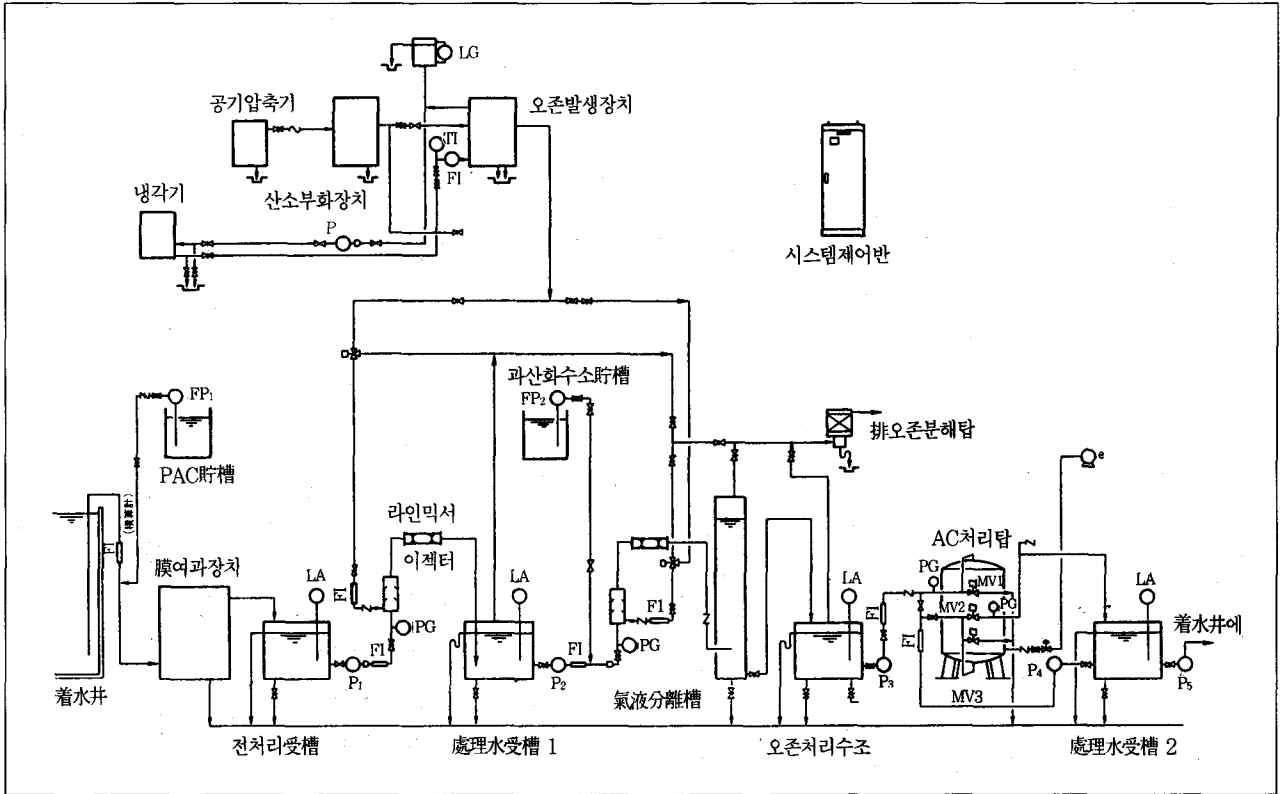
파이롯플랜트의 처리플로를 그림 6에 주요기기의 사양을 표 2에 표시한다. 이 플랜트에서는 하수처리수를 原水로 하여 우선 폴리염화알루미늄(PAC)으로 응집처리하여 中空糸膜式 여과장치로 처리한다. 다음에 오존 단독으로 분

해가능한 易分解性有機物質을 처리한 후(前오존), 難분해성유기물을 과산화수소첨가 오존처리법에 의하여 분해제거하였다(後오존), 오존처리설비는 前오존, 後오존 어느 것이나 이젝터형반응기를 사용하고 가스유량 25 l/min 농도 170~180mg/l로 발생시킨 고농도오존을 각각에 分岐供給하였다. 이젝터형반응기의 후단에는 라인믹서를 설치하여 氣液混合이 보다 잘 되도록 하였다. 또 최종단에 活性炭塔을 설치하여 잔류과산화수소, 용존오존 및 오존처리후의 잔류물을 제거하였다.

실험은 표 3의 운전조건을 기본으로 하고 응집제첨가량과 오존주입량을 변화시켜 처리효율에 미치는 영향도 검토하였다.

〈표 2〉 파이롯 플랜트의 주요기기의 사양

막여과 처리설비		오존 처리설비		활성탄 처리설비	
처리능력	4.5m ³ /h	처리능력	3m ³ /h	처리능력	3m ³ /h
처리방식	PAC응집·막처리방식	반응방식	이젝터 氣液혼합방식	처리방식	고정상하향류처리방식
주입율	7.5mg/l	O ₃ 주입률	최대 90mg/l	총 전량	0.76m ³
유효막면적	100m ²	O ₃ 농도	180g/Nm ³	선 속도	8m/h



〈그림 6〉 실증시험플랜트의 처리시스템 플로

4.4 실험결과 및 고찰

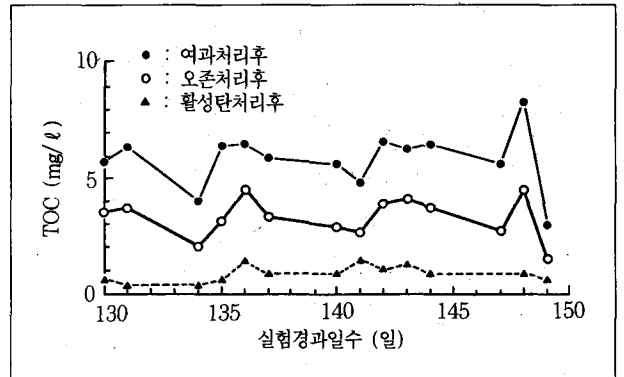
4.4.1 처리효과(經日變化)

그림 7에 130~150일째의 全有機炭素(TOC) 농도의 변화를 표시하였다. 기간중, 原水 TOC는 8~12mg/l

의 범위에 있으며 PAC응집·막여과처리로 40% 정도 감소되어 4~7mg/l로 되었다. TOC는 前오존 및 後오존 처리로 2~3mg/l 정도로 더 감소하여 수초의 극히

〈표 3〉 기본운전조건

처리대상수	하수 2차 처리수
처리수량	3m ³ /h(50 l/min)
PAC응집제첨가량	7.5mg/l
공급오존농도	170~180mg/l
공급가스유량	1.5m ³ /h(25 l/min)
전오존분岐率	30%
후오존분기율	70%
오존주입율	85~90mg/l
기액비	0.5
과산화수소첨가량	10mg/l



〈그림 7〉 TOC의 經日 변화

짧은 접촉시간으로 3mg/l 이하의 처리수를 얻었다. 또 이 기간중의 TOC제거량당 오존소비량($\Delta O_3/\Delta TOC$)은 약 20~30g/g이었다. 이와 같이 고농도 오존을 사용하여 효율좋게 고속처리할 수 있게 됨으로써 장치를 소형화할 수 있다는 것이 분명해졌다.

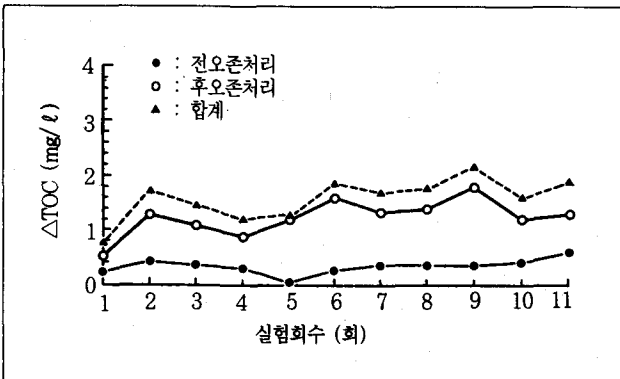
처리수질은 水道水수질기준항목을 모두 만족하고 있으며 재생이용수로서 충분한 수질을 얻을 수 있었다. 과산화수소첨가 오존처리에서는 동시에 탈색, 탈취도 가능하기 때문에 재이용의 용도, 수량을 비약적으로 확대할 수 있을 것으로 생각한다.

4.4.2 凝集劑, 오존注入量の 처리효과에의 영향

처리효과와 운전비의 최적조건을 조사하기 위하여 PAC를 첨가하지 않고 오존주입률 40~45mg/l로 하여 처리효과에의 영향을 조사하였다.

前오존처리, 後오존처리에서의 TOC제거량(ΔTOC)은 오존주입률 80~90mg/l인 경우에 비하여 적으나 각각 약 0.4mg/l, 1.2mg/l로 되어 오존처리 전체로 1.6mg/l 정도 감소하였다. 이 결과를 그림 8에 표시한다.

이 결과로부터 膜여과 처리후의 TOC를 6mg/l로 상정하였을 경우, 오존처리후의 TOC는 4.4mg/l 정도가 될 것으로 예상되어 다음 단계의 활성탄처리에서 재생이용의 확대를 기대할 수 있는 TOC 3mg/l 이하



〈그림 8〉 TOC제거량의 변화

의 수질을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 응집제를 첨가하지 않고 오존주입률을 반감시켜도 재이용수로서 양호한 수질을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.5 앞으로의 과제

실증플랜트는 설계대로 정상적으로 동작하여 장기간에 걸쳐 실증시험을 할 수가 있었다. 처리수질도 목표인 TOC 농도 3mg/l를 달성할 수 있었고 또 최종 처리수질은 수도수질기준을 거의 만족하여 하수처리수를 수도수레벨까지 고도로 정확할 수 있음을 실증할 수가 있었다.

앞으로는 과산화수소첨가 오존처리법의 고도배수처리시스템의 실현을 위하여, 수질의 계절변동에 대하여 상시 양호한 처리수질을 얻기 위한 최적처리조건 확립과 처리수질의 총합평가, 적용분야의 검토와 시스템 경제성의 평가 등을 시행하여 水再生技術의 확립을 지향해 나가고자 한다.

그리고 이 연구는 (재)엔지니어링진흥협회의 사회개발시스템 등 책정사업의 일환으로 실시한 것이다.

5. 맺음말

상하수도 오존고도처리시스템의 기술동향으로 오존처리시스템의 省에너지, 고효율화기술, 오존반응조내에서의 산기장치특성의 파악, 과산화수소첨가 오존처리법에 의한 하수처리수의 재생이용에 대하여 기술하였다.

이들 오존의 신기술이 우리들의 생활을 쾌적하고 풍요롭게 하는데 도움이 되도록 앞으로도 노력해 가고자 한다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.