

OZONE MANUAL

1. 오존(OZONE)이란?

OZONE은 그리스어의 OZEIN(냄새)에서 유래된 말로 특유한 자극적인 냄새가 나는 기체의 명칭이며, 산소의 3원소 동소체로 산소분자 3개의 원자로 이루어진 분자로서 화학식으로 분자기호 O_3 로 표시된다. 옅은 담청색을 나타내므로 육안식별은 어렵다.

오존은 3개의 원자 중 제삼의 원자는 결합력이 약하여 쉽게 분리되어 발생기산소로 된다. 이 발생기산소의 산화력은 자외선의 64배, 염소의 5.6배(속도 3,125배)로 강력하며 냄새나 색깔을 남기지 않고 화학적 성질을 남기지 않는다.

살균 후 2차 오염이 없는 지구 최적의 정화물질이다. 살균의 메커니즘은 세포벽 등 원형질을 직접 파괴시키고, 바이러스는 DNA를 손상 절단하여 불활성화 한다. 대기의 오존은 지표면으로부터 약 20~50 km 사이에 있는 성층권에 오존층이 형성되어 태양으로부터 오는 유해 광선을 차단하여 지상의 모든 생명체를 보호하고 있다. 순수 자연 오존은 해안, 숲속, 고산, 자연의 대기 중에 0.01~0.03 ppm 정도로 소량 존재한다.

2. 오존의 물리적 성질

- 화학식: O_3
- 용해도: 49.4 ml/100 ml
- 분자량: 48 g (공기 분자량 32)
- 액체비중: 1.57(측정온도 -183 °C)
- 융점(녹는 점): -192.7°C
- 비점(끓는 점): -112°C
- 비중: 2.144 g/l. (산소 1.419 g/l).

※ 오존은 산소보다 1.68배 무겁다.

3. 오존기술의 발달

1785년: 오존은 처음으로 발견되었다.

1800년: 처음으로 공업제조용의 오존 제조장치가 만들어졌다.

1888년: Fewson은 하수구의 냄새를 없애기 위한 오존을 생성하는 장치에 대한 특허를 출원하였다.

1893년: 네덜란드에서 오존장치가 정수용으로 처음 채택되었다.

1906년: 프랑스의 니스에서 본격적으로 음용수의 정화장치에 오존을 상업적으로 이용하게 되었다.

1940년: 미국에서는 인디애나주 Whiting(와이팅) 지역에 처음으로 오존을 이용한 음용수 제조공장이 세워진 이래 1987년까지 200여개 이상의 음용수 처리 시설들에서 정수처리까지 오존을 사용하고 있다.

1953년: 오존을 함유하는 가압 된 공기는 빈 식품용기를 살균하는데 있어서 이산화유황 (sulfur dioxide)보다 더 효과적이라고 판명되었다.

1956년: 오존처리는 프랑스를 비롯한 네덜란드, 독일, 오스트리아, 스위스 등의 다른 여러 나라에서 정수 및 물의 살균처리에 대한 표준방법으로 채택되었다

1983년: 일본에서 하수도 처리장의 탈색, 탈취, 음료수의 냄새제거와 살균등의 목적으로 전국에 200~300개소 정도에 오존처리장치가 설치되었다.

1986년: 유럽에서 프랑스를 비롯한 독일 외에 18개국에서 1500여개 정수장에 오존처리 장치가 설치되었다.

1909년: 독일의 게룬시에 처음으로 식품분야에 오존을 냉동육의 보존제로 이용되었다. (오존발생기가 공업적으로 제작되었지만 거의 100년 이상 지나서야 식품에 이용하게 되었다.)

1930년: 오존을 이용하여 바나나의 후숙 지연, 식육의 위생적 살균, 계란의 보존 등에 이용하였다.

1950년: 이후 오존에 의한 딸기의 흰 곰팡이의 방지, 치즈의 곰팡이 발생방지, 사과, 오렌지, 바나나의 후숙 지연에 이용하였다

1960~1970년: 생선식품의 위생 및 저장에 이용. 저 농도의 오존으로 치즈의 곰팡이 발생방지, 딸기의 저장기간, 식육의 저장기간 연장에 이용

1980~1990년: 오존을 이용해서 가공식품공장의 공기 살균 및 가공식품 전반의 살균에 이용되어 왔다.

4. 오존기술의 화학

오존은 냉장온도에서도 가스 상태로 존재하는데, 다른 기체와 마찬가지로 부분적으로 물에 용해되며 물의 온도가 감소할수록 용해도는 증가한다.

또한 자기분해 적 성질이 있어서 수많은 OH라디칼(수산자유기)을 생성시킨다. 성층권에서는 대기온도가 올라감에 따라 오존의 분해가 촉진되어 산소함량이 높아진다. 35 °C 정도에서 아래와 같은 오존의 생성과 분해 반응은 평형성을 이루고 있다. ($3O_2 \rightleftharpoons 2O_3 + \text{열과 빛}$) 용해된 오존을 함유한 용액의 pH가 증가함에 따라 오존의 분해속도가 빨라지고 OH라디칼의 생성도 그만큼 증가하게 된다. 약 pH10정도에서 오존은 순간적으로 분해된다. 결과적으로 오존분해 생성물인 OH라디칼(수산자유기)이 강력한 산화제로서 살균력을 나타내게 된다. 미생물을 확실하게 살균하려면 분자상태의 오존이 필요하다. 분자상태로 존재하는 오존의 반감기는 약 12시간 정도로 길다.

그러나 수용액상에서는 대개 오존처리가 필요한 대상물질(미생물)이 많을수록 오존의 필요량이 늘어나고 많이 소모되므로 반감기가 짧아진다. 바꾸어 말하면 오존 처리되어야 할 물이 깨끗할수록 오존처리를 받아야 할 미생물 같은 대상물질이 적게 함유되어 있을수록 소비되는 오존의 양이 줄어들어서 많이 남아 있게 되므로 오존의 반감기는 길어진다. 실제로 설거지한 물이나 하수에서 오존의 반감기는 몇 초밖에 안되지만 음용수 정도의 깨끗한 물에서는 수 시간씩 간다. 오존은 열역학적인 산화잠재력에 있어서 Fluorine(불소), Chlorine(염소), Trifluoride(삼불화), Oxygen(산소), OH라디칼(오존의 분해물질)의 순서이므로 5번째로 잠재력이 큰 물질로서 음용수나 폐수처리, 살균제로서 이용될 수 있는 가장 강력한 산화제이다. 이러한 특징 때문에 오존은 식품재료의 보존과 보호를 위한 좋은 화학물질로 각광을 받고 있는 것이다.

오존은 태양으로부터 자외선과 대기중의 산소가 반응하면서 생성된다. 산소가 자외선을 받으면 산소원자(O)로 분해되고 분해된 산소원자는 산소분자(O_2)와 반응(결합) 하여 오존분자(O_3)를 생성한다. 좀 더 높은 에너지를 갖는 자외선은 오존분자와 반응하여 오존을 파괴시키게 되지만, 이 결과 태양으로부터 강력한 에너지를 갖는 자외선들이 성층권에서 걸러지게 되고, 결국 지표면에는 그런 자외선들이 도달하지 못하게 되는 것이다.

결론적으로 성층권에서는 자외선에 의해 오존의 파괴와 생성이 평행을 이루고 있으며, 그 과정에서 자외선이 사용되어 지표면에는 그렇게 많은 양의 자외선이 도달하지 못하게 되므로 지구위의 많은 생명체들이 태양의 강력한 자외선으로 부터 보호를 받게 되는 것이다. 지표면에서는 대기중에 번개가 칠 때 오존이 생성된다. 매우 높은 전기적 에너지가 요구되며 오존이외에 많은 부산물들이 생성된다. 또한 지표면에서 탄화수소·산소·질소 등이 관여하는 광화학적 산화반응에서도 오존은 부산물로 생성되기도 한다.

대기중에 존재하는 유기탄화수소(자동차 배기가스, 공장의 매연, 숲과 화산활동의 배출물 등)가 광화학반응에 노출되면 과산화질소, 산화물들의 복합체가 형성되고, 일련의 광화학 반응이 좀 더 진행되어 오존과 같은 광화학 스모그의 성분들이 생성되어 악성 오존이 생성되기도 한다.

특별한 용도에 사용할 오존을 생산하기 위해서는 자연을 자극시켜 오존을 얻어낼 수도 있다. 예를 들면 200 nm이하의 파장을 발산하는 자외선 전구를 이용하면 약 0.1% 함량(1.200 ppm 수준)의 오존농도를 생성시킬 수도 있다. 이와 같이 상대적으로 낮은 농도의 오존을 발생시키는 자외선 전구 등은 육제품이나 계란 등을 저장하는 냉장실에 오존을 공급하는 용도로 이미 오래전부터 사용되어 왔다.

높은 농도의 오존을 얻기 위해서는 코로나 방전기술과 상업적 방법이 동원된다. 이 기술은 두 개의 전극이 가까이 세워져 있고 그 사이에는 유리나 세라믹과 같은 유전성 물질(dielectric material)이 채워져 있으며 좁은 방전 틈새가 있다. 이 방전 틈새를 통하여 고압의 전류를 흐르게 하면 코로나 현상이 일어나고 코로나 현상이 발생되는 그 틈새로 산소가 지나가면서 오존이 생성된다. 이 코로나 방전기술을 사용하면 약 18 % (216.000 ppm)정도의 높은 오존농도를 얻을 수 있다.

5. 오존의 살균원리 및 효과

5.1 바이러스·세균 살균

살균을 다른 말로 바이러스의 불활성화라고도 부른다. 이러한 말은 바이러스가 생존이 불가능하고 증식할 수 없는 상태를 말하는데 세균이 어떠한 상태에서 생존이 불가능한 형태로 되는가 하는 것은 크게 4가지로 볼 수 있다.

- ① 효소의 변성으로 인하여 균체의 대사 및 합성이 불가능하게 된다.
- ② 세포막의 손상으로 인하여 세포막의 투과성이 변화하여 세포 내에서 Ca^{2+} 와 Mg^{2+} , RNA 등이 누출된다.

- ③ RNA와 리보솜 단백질이 분해된다.
- ④ 염색체 또는 그 구성 물질인 DNA가 손상된다.

5.2 오존의 미생물 처리효과

미생물의 종류	오존농도 (ppm)	미생물농도 (개/ml)	온도 (°C)	pH	접촉시간 (초)	사멸율 (%)
대장균	0.95	105 celle	21.0	7.0	5	100
포도상구균	1.08	105 celle	21.0	7.0	5	100
녹농균	1.08	105 celle	21.0	7.0	5	100
크로스트룸	0.96	105 celle	21.0	7.0	5	100
인플루엔자	0.96	105-3EID50	21.0	7.0	5	100
계(鷄) 뇌척수염 바이러스	0.72	102-9EID50	21.0	7.0	5	100
견(犬) 전염성 간염바이러스	1.20	101-5EID50	21.0	7.0	5	100
견(犬) 바부르 바이러스	0.96	102-5EID50	21.0	7.0	5	100
계(鷄) 콕시디움	1.92	약 3x105 celle	20.0	7.0	30	100
곰팡이	0.3~0.5	106 celle	20.0	6.5	19	99.9
효모	0.3~0.5	106 celle	20.0	6.5	90	99.9
고초균	0.3~0.5	106 celle	20.0	6.5	30	99.9

5.3 오존의 품목별 제거

구분	오존투입율 (ppm)	제거효과 (%)	접촉시간 (min)
살균	1.0 ~ 3.0	90 ~ 99	5분 이상
탈색	2.5 ~ 3.5	90 ~ 99	5분 이상
탈취/탈미	1.0 ~ 2.5	80	1분 이상
철, 망간	0.5 ~ 2.0	90	1분 이상
유기물	1.0 ~ 3.0	40	5분 이상
페놀	1.0 ~ 3.0	95	10분 이상
시안	2.0 ~ 4.0	90	3분 이상
ABS	2.0 ~ 3.0	95	10분 이상

5.4 오존 처리 시의 장점

- 공기중에서 단시간에 산화 분해되므로 처리 속도가 빠르다.
- 신설공사 때에는 FAN의 용량 및 덕트(DUCT) 공사비의 절감효과가 있다.
- 기기의 자동화로 관리가 용이하며 유지비가 저렴하다.
- 2차 생성물(먼지, 검댕)이 새롭게 생기지 않는다.

6. 오존을 이용한 탈취 및 탈색

6.1 탈취 방법

오존의 강력한 산화력은 수중의 용존 유기물을 산화하고 탈취·탈색할 수 있게 한다. 인간에게는 시각·청각·후각·미각·촉각의 5개 감각이 있는데, 오존처리는 물속의 착색 물질을 산화하여 탈색하므로 시각적으로, 그리고 이상한 냄새를 제거, 개선시켜 취각이나 미각에도 공헌하는 처리방법이다.

- 오존 산화법
- 연소 탈취법
- 이온 교환법
- 액체 세정법
- 흡착법
- 기타

6.2 오존에 의한 탈색

물의 착색 원인은 자연광으로부터 특정한 파장의 빛을 수중에 흡수 혹은 산란하여 인간의 눈에 색을 인식하게 하기 때문이다. 착색의 우선인 물질은 무기질·유기질 이들의 착체(錯體)등이 있고, 이들은 수중에서 콜로이드입자로 현탁하는 경우와 용해되는 경우가 있다.

물의 착색이 문제가 되는 것은 수돗물에서는 철·망간의 산화물이 콜로이드 상으로 포함되어 붉은색 혹은 검은색을 띠는 것과, 또 부식토에서 용출된 푸민계의 물질 때문에 적갈색으로 착색되는 현상이다.

공장폐수의 합성염료, 펄프공장의 흑갈색을 띤 리그닌, 분뇨, 하수처리장에서는 푸민계 물질과 사람의 담즙 색소 등이 혐오스러운 색을 띠게 한다.

6.3 철과 망간의 산화분해

지하수를 음용수로 사용할 경우 지하수에서 철과 망간이 포함되어 있다면 반드시 이를 제거해 주어야 한다.

음용수 사용에 있어서 철과 망간의 허용농도는 다음과 같다.

- 철: 0.1 mg/l
- 망간: 0.3 mg/l

철과 오존의 반응은

- $\text{Fe}^{2+} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{O}_2 + 2\text{HO}$ 가 되고
- $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ 가 되어 불용성 철이 된다.

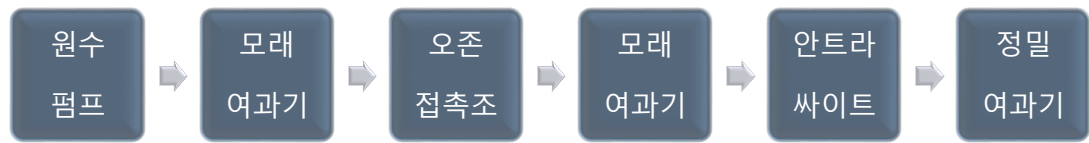
철은 중성에서 산화제 또는 단순 폭기에 의하여 쉽게 산화될 수 있는 반면, 망간은 이에 비하여 산화 정도가 훨씬 느리다. 망간을 산화하기 위해서는 철보다 약 2배의 많은 산화제가 필요하다.

수중에 유기물이 존재하면 철과 망간의 산화가 방해를 받을 수 있으며, 산화를 위한 금속과의 경쟁반응으로 인하여 산화속도가 상당히 감소된다. 오존은 가장 강력한 산화제의 하나로 지난 60년간 유럽의 많은 정수장에서 이용되어 왔다.

철분제거의 이론상의 오존농도는 2 mg/l 이며, 망간의 주입 농도는 4 mg/l 이지만 여러 연구소에서 실험한 결과 수질의 상태에 따라 이 농도로는 제거가 어려운 것도 있는 것으로 고찰되었다.

철과 망간을 제거하기 위하여 오존을 과잉 투입하면 과망간산이온이 생성되어 물의 색이 분홍색 또는 흑갈색을 띠기도 한다.

- 철분, 망간 제거 프로세서



※ 위의 프로세서는 수질 상태나 오존 농도에 따라 변동될 수 있다.

6.4 물질별 산화력 비교표

물질명	반응과정	산화전위
불소	$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F$	2.87
오존	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	2.07
과산화수소수	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.77
과망간산염	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.67
하이포브롬산	$BrO_2^- + 4H^+ + e^- \rightarrow 1/2Br_2 + 2H_2O$	1.59
이산화염소	$ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$	1.50
차아염소산	$HOCl + H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O$	1.49
염소	$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.36
브롬	$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.09
요오드	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.54

6.5 악취의 정의

경보전법 제2조에 의하면 "악취란 황화수소, 메캅탄류, 아민류 및 기타 자극성 있는 기체 성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새"로 정의되어 있으며, 악취 물질이라 함은 사람의 일상 생활에 불쾌감을 주는 황화합물, 석탄산 또는 그 화합물, 기타 자극성 있는 물질이다.

6.6 탈취의 원리

오존의 산화작용과 다른 냄새를 덮어버리는 마스킹효과 두 가지 방법이 있는데, 오존은 악취 성분의 분자 구조의 고리를 파괴시켜 냄새의 근본을 제거한다.

- $6H_2S(\text{유화수소}) + 2O_3 \rightarrow 6H_2O + 3S_2$
- $3CH_4(\text{메탄}) + 4O_3 \rightarrow 3CO_2 + 6H_2$

6.7 탈취 메커니즘

취기 물질	분해 메커니즘	해당 식품
1. 탄화수소계		
R - H (탄화수소) R - OH (알콜) R - CHO (알데히드) R - COOH (유기산)	$O_3 \rightarrow H_2O + CO_2$	육류, 식초, 식용류, 양념류
2. 황화합물계		
H ₂ S(황화수소) CH ₃ SH(메칠메캡탄) (CH ₃) ₂ S (황화메칠) (CH ₃) ₂ S ₂ (이황화메칠) SO ₂	$\rightarrow SO_2 + H_2O$ $\rightarrow SO_2 + CH_3OH$ $\rightarrow (CH_3)_2SO$ $\rightarrow SO_2 + H_2O + CO_2$ $\rightarrow SO_3 + H_2O$ $\rightarrow H_2SO_4$	조개, 가공식품, 파, 양파, 마늘, 부추, 김치, 된장, 무우, 감자, 생선
3. 공소화합물		
(CH ₃) ₃ N (트리메칠아민)	$\rightarrow CH_3NO_2 + CO_2 + O_3 + H_2O$	된장, 간장, 생선

6.8 건식 탈취방식의 원리와 생성물

악취성분	원리	반응 생성물
암모니아	화학흡착	
유화수소	산화	NH_4^+
메칠메캡탄	산화	SO_4^{2-} , S
유화메틸	산화	CH_3SO_3H
이류화메틸	산화	$(CH_3)_2SO$
트리메틸아민	화학흡착산화	CH_3SO_3H
아세트알데히드	물리흡착	$(CH_3)_3NO$
스틸렌	물리흡착	

6.9 화학 물질별 냄새의 특징

화 학 물 질	시 성 식	냄 새
Allyl mercaptan	$\text{CH}_2 : \text{CH} . \text{CH} . \text{SH}$	매우 불쾌한 마늘냄새
Ammonia	NH_3	쏘는 듯한 냄새
Benzyl	$\text{C}_6\text{H}_5 . \text{CH}_2 . \text{SH}$	불쾌한 냄새
Chlorine	Cl_2	자극적인 냄새
Chlorophenol	$\text{Cl} . \text{C}_6\text{H}_4 . \text{OH}$	약품냄새
Crotyl mercaptan	$\text{CH}_3 . \text{CH} : \text{CH} . \text{CH}_2 . \text{SH}$	스컹크 냄새
Diphenyl sulfide	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	불쾌한 냄새
Ethyl mercaptan	$\text{CH}_3 . \text{CH}_2 . \text{SH}$	썩은 양배추 냄새
Ethyl sulfide	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{S}$	구역질나는 냄새
Hydrogen sulfide	H_2S	썩은 달걀 냄새
Methyl mercaptan	CH_3SH	썩은 양배추 냄새
Methyl sulfide	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$	썩은 채소 냄새
Pyridine	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	불쾌한 자극적 냄새
Skatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	분뇨 냄새
Sulfur dioxide	SO_2	자극적인 냄새
Thiocresol	$\text{CH}_3 . \text{C}_6\text{H}_4 . \text{SH}$	스컹크 냄새
Thiophenol	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SH}$	구역질나는 냄새

6.10 취기의 종류

취기의 분류	취기의 종류
방향성 취기	멜론, 제비꽃, 마늘, 오이냄새 등
식물성 취기	수초, 풀, 목재, 해조류 냄새
토양취, 곰팡이취	토양, 곰팡이 냄새
어패취	생선, 간유, 대합 냄새
약품성 취기	페놀, 타르, 기름, 유지, 파라핀, 황화수소, 염소
금속성 취기	녹, 금속 냄새
부패성 취기	쓰레기, 하수 냄새
불쾌취	생선 썩은 냄새, 축사 냄새, 부패 냄새 등

6.11 탈취 시스템 설계 반영 조건

오존에 의한 탈취는 세심한 설계와 화학에 대한 전문지식이 있어야만 만족스러운 결과를 만들어 낼 수가 있다. 그것은 오존으로 반응하지 않거나 또는 오존으로 인하여 다른 성분으로 바뀌어 깨지지 않는 분자 형태로 남는 것이 있기 때문이다. 이런 경우에 잘못 판단하여 실패하는 경우가 있다. 다음에 나열한 조건 가운데 하나라도 계산에서 누락된다면 그 탈취시스템은 만족스러운 결과를 얻을 수 없다.

오존 탈취시스템을 설계할 때 적용

- (a) 냄새의 형태 (냄새의 분자구조)
- (b) 냄새의 농도 (ppm)
- (c) 실내 공간의 크기 (m³)
- (d) 배기가스의 온도 (°C)
- (e) 배기가스의 습도 (%)
- (f) 오존의 접촉방법
- (g) 오존의 접촉시간
- (h) 오존의 주입량

6.12 약취제거 효과와 약취성분의 오존 첨가율

국내외에서 발표되고 있는 약취성분에 대한 특성과 실 가스 실험에서 경험을 가미한 결과로부터 각 약취 성분에 대한 제거효율과 오존 첨가비율은 다음과 같다.

6.13 약취제거 오존의 주입량

오존 주입량(g/h)=오존 주입율(ppm) × 총 약취의 풍량(m³/h) ÷ 1000 ÷ 22.4 × 48
총 약취의 풍량에서 냄새 분자구조의 형태와 냄새의 농도에 따라 오존의 주입률이 변동되고 배기가스의 온도와 습도에 따라 탈취시스템의 메커니즘이 달라진다.

6.14 약취의 온도와 습도

약취의 온도가 높으면 그 온도에 따라서 오존 주입농도와 주입율의 변수가 크다. 또한 온도가 높으면 습도도 높을 가능성이 많다. 오존은 열에 약하기 때문에 약취와 반응하기 전에 파괴될 수 있기 때문이다. 이러한 때에는 탈취 시스템에서 약취공기와 오존이 접촉하기 전에 온도를 내려줄 수 있는 전 처리 장치가 투입되어야 한다.

기계적인 냉각장치가 설치가 된다면 온도는 물론 습도까지 처리할 수가 있다.

- 오존농도/악취물질 비 평균: 제거효과 처리 오존농도 3 ppm

악취물질	처리 전 농도	제거 효율	오존 첨가비
유화수소	0.5 ppm	99.8 %	4
메칠메캅탄	0.015 ppm	98.3 %	3
유화메틸	0.001 ppm	100 %	1
암모니아	0.2 ppm	75 %	-
트리메틸아민	0.005 ppm	100 %	1
아세트알데이드	0.03 ppm	96.7 %	-

6.15 적용 가능 사업장

- 오수 및 분뇨처리장
- 식품 가공공장
- 화학공장
- 양조 및 기름 정제공장
- 제지 및 의약품 제조공장
- 기타 화학플랜트의 배기가스

6.16 악취의 규제

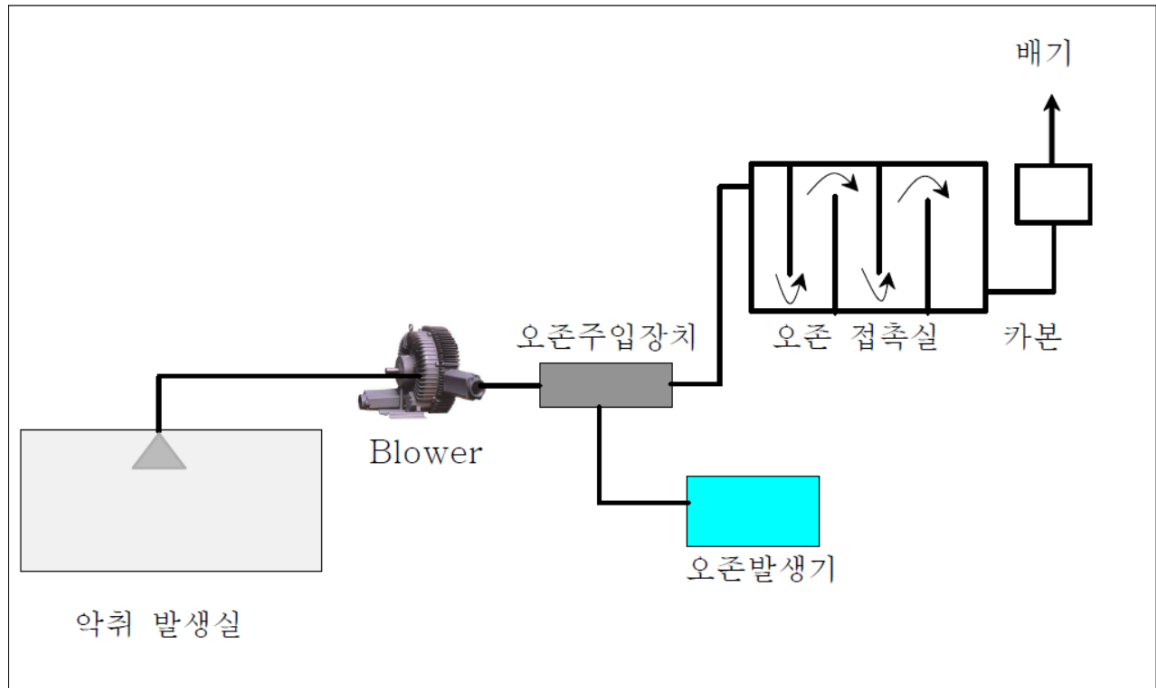
악취는 단일 구성의 물질보다는 여러 가지 냄새가 복합 구성되어 있는 것이 보통이며, 우리나라는 관능법에 의해 측정하며 3도 이상이면 악취규제 대상이 된다.

- 악취 판정표

악취도	악취 감지 구분	
0	무취 (냄새를 감지 못함)	None
0.5	감지취 (약간 냄새를 감지)	Threshold
1	확실한 취 (확실한 냄새를 감지)	Definite
2	보통 취 (보통 정도의 냄새를 감지)	Moderate
3	강취 (강한 냄새를 감지)	Strong

4	극심한 취 (아주 강한냄새)	Very strong
5	참기 어려운 취 (견딜 수 없는 냄새)	Over strong

6.17 일반적인 탈취 시스템 계통도

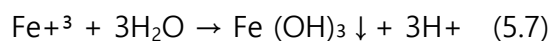
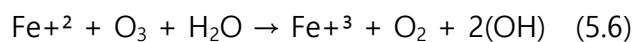


7. 오존의 무기 화합물 분해력

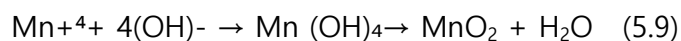
철, 이온, 망간이온은 수돗물 원수에 같이 함유되어 있는 경우가 많다. 금속성 냄새, 붉거나 검은 물 색깔의 원인이 되고 수도법에 따르면 이 두가지 이온 함유량의 합이 0.3 mg/l 이하로 되도록 정하고 있다.

물속의 철과 망간은 중탄산염으로 용해된 것, 아민 등의 유기물과 착체를 형성한 것, 수산화물로서 콜로이드상이 된 것, 혹은 규산이나 암모니아와 공존하는 것 등이 있다. 지하수나 호수의 밑바닥 물 중에 많이 포함되고 광산폐수나 공장폐수가 원인이 되어 포함되는 것도 있다.

Fe²⁺ 이온은 오존에 의해 산화되어 Fe³⁺로 되고 수화, 응집, 침전된다.

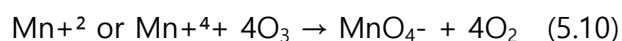


Mn⁺² 이온도 오존에 의하여 산화되어 Mn⁺⁴로 되고 불용성의 이산화망간이 된다.



철, 이온, 망간이온은 단지 오존을 폭기하기만 하여도 산화, 제거되지만 아민 등과 착체를 만든 상태에선, 산화력이 강한 것이 아니면 처리되지 않는다.

망간 화합물을 과잉의 오존으로 산화하면 물에 녹기 쉬운 과망간산 이온을 형성하여 물이 핑크빛으로 변한다.



과망간산 이온은 용존 유기물과 반응하여 이산화망간으로 되도록 처리 후 15-30분간 체류시키면 좋다. 또 과산화망간이온을 바로 활성탄층을 통과시키면 상부층에 환원된 불용성의 이산화망간이 몇 cm의 두께로 생성되어 축적된다.

망간이온의 오존에 의한 산화는 pH, 수온의 영향을 적게 받으며 처리하면 이산화망간으로 효율 높게 제거된다.

상수의 정화에 있어서 오존은 여러 단계에서 이용되는데 특히 오존 전 처리의 효과로 용존산소의 공급, 철·망간의 산화, 유기물 부분 산화가 알려졌다. 철·망간의 산화물은 모래 및 활성탄에 의한 여과의 과정에서 제거된다.

지하수의 오존처리에 의한 철이온·망간이온의 산화제거의 예를 그림5-18에 보였다.

산화는 철, 이온이 제거된 후 망간이온의 산화가 순차적으로 일어난다.

염소처리와의 비교, 폴리염화알루미늄(PAC) 사용에 의한 flocc의 침강성에 대하여 표 5-5, 5-6에 각각 나타내었다.

지하수의 오존처리에 대하여는 다른 예를 표 5-7에 제시하였다.

이상과 같이 오존처리에서는 철, 이온, 망간이온의 산화는 비교적 빠르고, 반응은 오존의 확산이 율속(rate-limiting step) 단계가 된다.

지하수의 오존 산화에 의한 수질변화

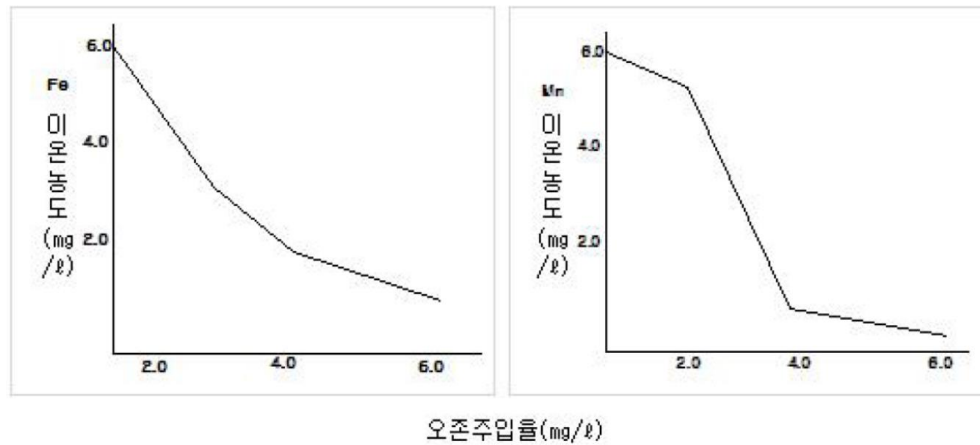


표 5-5 염소 처리와의 비교

	주입율 (mg/ℓ)	pH	철이온		망간이온	
			농도(mg/ℓ)	제거율(%)	농도(mg/ℓ)	제거율(%)
원 수	—	6.85	6.80	—	0.68	—
염 소	4	6.98	0.07	99.0	0.33	51.5
염 소	10	7.04	0.10	98.5	0.10	85.3
공 기	—	7.08	5.30	22.1	0.68	0
오 존	4	6.98	0.06	99.1	0.03	95.6

표 5-6 산화물의 응집침강성 비교

	플 록		필요 PAC 첨가량 (mg/ℓ)
	형 상	침강성	
염소 4 mg/ℓ	소	조금 빠름	20
염소 10 mg/ℓ	중	조금 빠름	15~20
공 기	미소	느림	20 이상
오존 4 mg/ℓ	대	빠름	10

표 5-7 철 및 망간의 제거

금수정 NO	G/L	오존주입량 (mg/l)	원 수 (mg/l)		처리수 (mg/l)	
			Fe	Mn	Fe	Mn
2	1.7	3.7	3.4	0.6	0.09	0.05
3	1.7	8.8	9.5	1.2	0.04	0.05
2	1.7	2.8	3.6	0.5	0.02	0.15
3	1.7	6.3	9.9	1.2	0.06	0.11

L=1.2 m³/h(5분 접촉), G=0.4 m³/h(오존화공기), 오존농도 12 mg/l, 수온 16~17 °C

8. 오존의 유기 화합물 분해력

용수 냉각수 배수계 등 수(水) 사용 환경에서는 미생물에 의한 장애가 반드시 발생한다. 최근 급성장을 달성하고 있는 반도체 생산업에서도 초 순수 제조공정에서 대량으로 사용되지만 미생물은 이 초 순수 중에서도 극미량의 질소, 인을 흡수하여 배관 내에서 증식한 제품에 부착된다. 1 μ m 정도의 미생물 1개에서도 미세한 IC회로를 단로시켜 불량품을 만들어 낸다.

음료수계에서도 잔류염소가 소실하면 미생물의 생육이 일어난다. 특히, 노후화된 수도배관, 빌딩, 수조 등에서는 철박테리아가 생육하여, 배관의 국부적인 생물부식을 촉진하고, 붉은 녹을 생성한다.

공업용수계에서는 용수배관·저수조 등에 미생물, 조류 등이 생성되고 토사·녹 등을 포함한 딱딱한 것으로서 박리되면 직접 제품에 혼입하여 불량품을 만들게 된다.

물 사용에서 가장 커다란 생물장애는 냉각수계에서 일어난다. 하천수, 지하수의 담수 냉각계에서는 주글레아·스파에로틸루스 등의 미생물에 의한 슬라임의 생성, 해수를 사용하는 화력, 원자력발전소 등의 냉각수계에서는 해양성 플랑크톤이 부착한다.

미생물에 의한 생물장애가 있어, 냉각계 열교환 효율의 저하, 냉각수량 저하, 배관 폐색, 생물부식 등이 일어난다. 이들 생물은 배관 내벽에 스스로 부착한다. 이 환경에서는 천적과는 분리되어 일정유량에서 영양물질이 공급되며, 폐열에 의한 외계보다 생육이 쉬운 조건이 되고 있다.

독립하여 냉각계로서 냉각탑을 사용하여 순환수를 이용하는 곳에서는 수중 또는 설비 충전재 표면상에 특수한 병원균이 생육·번식하고, 산수부로부터 대기 환경으로 병원균이 산포되는 등의 사례도 알려져 있다.

또한, 배수계에서는 수처리계 배관 내부에서의 슬라임 생성, 수질분석계 측정부로의 미생물부착 등이 문제를 일으킨다.

이와 같은 물 사용계에서 생물장해에 대해, 오존은 강력한 살균효과·박리효과를 나타내고 오존수 용액 또는 오존화 공기와 물과의 혼합에서 사용하면 오존의 산화 작용과 동시에 기포에 의한 표면세정 효과도 얻어지고 사용 후 수중에 독성이 남지 않는다는 특징 때문에 넓은 사용범위가 생각될 수 있다.

9. 잔류 오존의 처리 및 오존 배출기준

9.1 개요

오존은 수중에 주입 시 접촉효율을 높여도 100% 용해되지 않고 일부 (10~20%)수면 위로 튀어 올라 대기로 방출된다. 방출된 오존은 산화력이 매우 높으므로 인체에 흡입 시 나쁜 영향을 끼치고 시설물을 산화시킬 수 있으므로 오존을 산소로 환원시키거나 파괴해야 한다.

9.2 잉여 오존 처리방법

(a) 열분해법

오존은 열에 약하므로 잉여 오존가스를 히터(HEATER)로 주입시키면서 히트의 온도를 300~350 °C로 해주면 거의 100% 제거되며, 상·하수도 처리 등 대규모 플랜트에 이용된다.

(b) 활성탄 흡착법

$(3C + 3O_3 \rightarrow 2CO_2 + CO + 2O_2)$ 오존을 활성탄에 통과시키면 오존은 산소로 환원된다. 활성탄층의 높이는 약 30츠 이상이면 충분하다. 주로 소규모 식품공장 등에 이용되며 처리효율은 100% 가능하다.

(c) 촉매분해법

금속산화물, 즉 백금족 산화물 (Pd,Pt), 철족 금속산화물 (Fe. CO. Ni), 망간 산화물 (Mn), 구리산화물(Cu)의 촉매를 이용한다.

오존 → Demister (수분제거) → 히트 (Heater) → 촉매 → 송풍기 → 배기

9.3 잉여 오존의 이용

잉여 오존은 위와 같이 사람이 있는 곳이나 시설물이 있는 곳에 확산되면 여러 가지 부작용이 있다. 그러나 오수처리장 등에서는 오수의 악취가 발생하므로 배기팬 덕트를 이용하여 이 악취를 실외로 배출시킬 수 있다.

이때 잉여 오존라인을 덕트 라인에 꽂으면 배기 덕트에서 각종 악취물질과 반응하여 악취를 제거하게 되므로 오수처리장에서는 일반적으로 덕트 라인에 연결하여 악취제거에 이용할 수 있다.

9.4 배출 환경기준 (1시간 평균치)

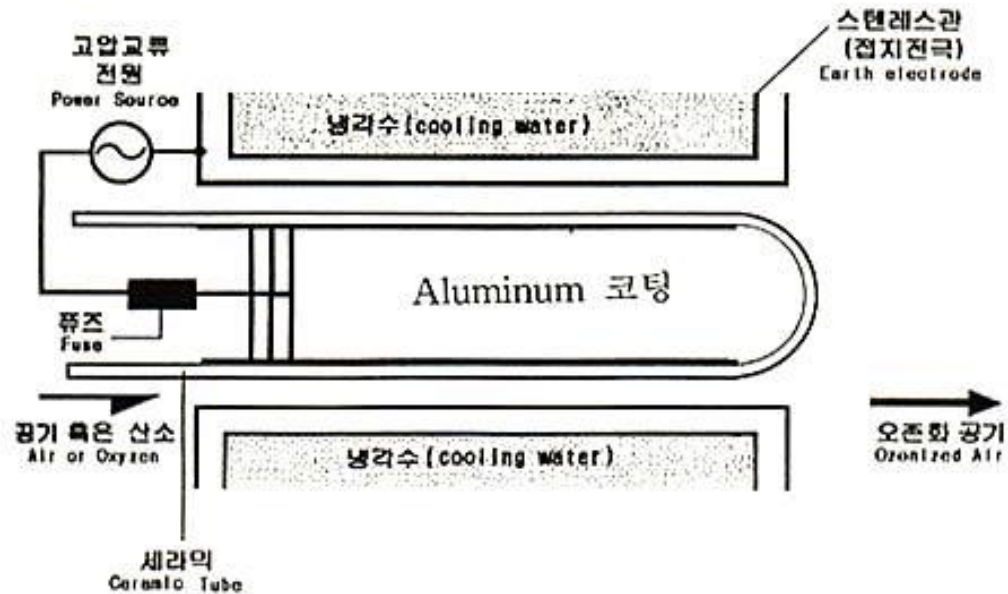
지역	한국	미국	일본	독일	유럽
기준	0.1 ppm	0.12 ppm	0.06 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm

배 오존은 스모그의 한 성분으로 대기오염을 방지하고, 작업환경을 보전하기 위해 일정 농도 이하를 유지해야 한다.

10. 오존발생기의 기본 원리

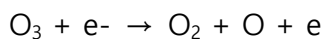
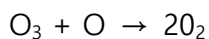
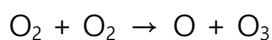
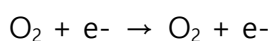
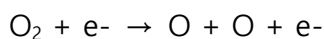
공기 중의 오존농도는 극히 낮으며 대기 중에 있는 혼합기체에서 공기 분리장치를 이용하여 오존을 얻을 수는 없다. 오존은 3개의 원자 형태의 산소로서 활성화된 산소 분자나 원자가 다른 산소분자와의 결합에 의하여 생성된다.

오존의 생성에는 전기광학적인 전기화학 에너지가 요구되고, 이들 재결합의 원인이 되는 열로 방출되므로 냉각이 필요하다. 오존은 높은 에너지를 갖는 분자로서 불안정한 상태를 이루게 되며, 빠르게 산소로 환원되므로 오존발생기는 밀폐된 상태에서 작동된다



오존이 발생하는 원리는 위의 그림에서와 같이 냉각수가 흐르는 벅셀에 방전관 즉 유리를 사이에 두고 그 방전관 내에 고압전류를 인가함으로써 방전관과 벅셀 사이에 고압방전을 형성시켜 많은 전기적 에너지 충돌을 유도하여 그 간극 사이로 지나가는 공기 중의 산소가 전기적 에너지 충돌에 의하여 O_2 에서 $O+O$ 로 일부가 분리되며, 분리된 산소 O 가 분리되지 않은 산소 즉, O_2 와 재결합함으로써 $O_2+O = O_3$ 가 된다.

이때 방전관에서 만들어진 오존 발생량이 매우 중요한 역할을 한다.



이상 위의 반응식에서 보면 전기적 에너지의 충돌은 오존가스를 생성하는 것만이 아니라 이미 만들어진 오존도 다시 산소로 환원되는 것을 알 수 있다.

또한 이때 방전관과 벅셀 사이에는 전기적 에너지 충돌에 의하여 열이 발생되므로 이 열을 공기나 물(냉각수)로 냉각해야 한다. 이 열을 냉각(배출)하지 않으면 다음과 같은 문제점이 생긴다.

- 오존발생량의 감소 (오존은 열에 약하여 곧바로 파괴된다.)
- 전기적 부하로 HVT(고압트랜스)의 손상이나 인버터의 파손우려가 있다.

10.1 오존 생산을 위한 공기공급: 공기(Air) 소스

오존을 생산하기 위해서는 오존발생장치에 공기를 공급해 주어야 하는데 공급 공기의 처리가 매우 중요하다. 오존을 발생시키는 방전관의 내부는 특수한 소재로 되어 있으며, 전기적 에너지가 충돌하는 곳이므로 매우 깨끗하고 습기가 없는 공기가 공급되어야 한다. 요즘은 오존발생장치에 공급 공기를 거의 산소(산소발생기, 기체산소)를 사용하므로 오존발생기의 가동에 별 문제가 없으나 일반 공기를 사용하게 될 경우에는 반드시 제습과 먼지 등 공기 중의 불순물을 제거해 주어야 한다.

그렇지 않을 경우에는 방전관에 공기 중의 습기와 먼지 등이 붙어서 짧은 시간 내에 오존발생기의 손상을 가져온다. 공급할 공기의 생산은 에어펌프로 공기를 생산하는데 여기서 생산된 공기는 먼지와 유분, 습기를 가지고 있다.

이 공기를 다음과 같은 프로세서를 사용하여 깨끗한 공기를 생산하여 오존 발생기에 공급한다.

- Compressor → After Cooler → 에어탱크 → Filter40 μ m(a) → Ref Type Dryer(b) → Filter 5 μ m(c) → Filter 1 μ m(d) → Filter 0.01 μ m(e) → 흡착식 드라이어(F) → Air Reiner → Hypersorb Filter → 압력 조절기 → 오존발생기(방전 전극)

위와 같은 순서로 공기 공급량에 맞는 용량을 설정하여 공기처리를 한 후에 오존 발생기에 공기를 공급한다.

10.2 오존 생산을 위한 공기공급: 산소 소스

공급공기를 산소로 사용할 경우 주의해야 할 점은 산소발생기의 사용에 있다. 기체산소나 액상산소를 기화하여 사용하는 것은 오랜 시간 오존발생기를 운전하여도 오존의 농도나 오존의 양이 변동 없이 공급이 되지만 산소발생기를 사용할 경우에는 시간이 경과할수록 산소의 농도가 떨어지므로 오존 발생량이나 오존의 농도가 저하되므로 오존측정기를 설치하여 감시 운영하여야 한다.

이러한 점을 예방하기 위해서는 산소발생기 시스템을 만들 때 공기 전 처리 장치를 철저히 해주어야 한다.

앞에서 공기 공급 시에 제습장치와 같은 메커니즘을 꾸미되 에어펌프의 설정을 오일리스 압축기(Oilless Type의 Compressor)를 설정하는 것이 바람직하다. 또한 소형 오존발생기의 경우에는 각 제조사마다 개발된 제습장치를 사용하는데, 이것은 습기를 제거하는 방법은 다르지만 제습제가 자동으로 재생이 되도록 제작되어 있으므로 반드시 이를 사용하여야 오존발생기가 내구성을 가지고 운영 될 수 있다.

● 오존의 용도별 소요량

대상	용 도	오존 농도
음료수	살균	0.1~1.0 ppm
	탈색	1.5~4.0 ppm
	악취 제거	0.5~2.0 ppm
	살균은 오존 주입 후 10~20분 경과 후 0.1 ppm이 잔류되어도 충분하다.	
하수 악취	탈취	0.1~50 ppm
	접촉시간은 오존이 잘 혼합된 것을 전제로 1~5초이다.	
3차 처리 수	살균, 탈취, 탈색, BOD, COD 제거	10~20 ppm
공장 폐수	탈색	변동 폭이 큼
	페놀 제거	1.5~2.5 ppm
	BOD / COD 제거	변동 폭이 큼

11. 수 처리 시 용존 오존 계산법

오존 1 g이 물 1 m³에 100% 용해되었을 때 물속에 오존농도는 1 ppm이 된다. 물의 사용량이 5 m³/h 일 경우 5 g/h의 오존을 넣었을 때 100% 용해 시 1 ppm이 되지만, 그러나 용해 효율이 70 %일 경우에는 0.7 ppm이 된다.

용해 효율은 용해장치와 수온 그리고 오존의 농도에 따라 차이가 있으며, 수온이 낮을수록 용해 효율이 높고 오존의 농도가 높을수록 용해 효율이 높다. 또한 오존발생

장치에 공급공기를 사용했을 때 보다 산소를 사용했을 때가 용해효율이 높다. 시간이 지나면 어느 정도 일정한 농도까지 상승이 되지만 그 수치는 수질과 수온, 탱크의 형태 등에 따라 달라진다.

이는 수 중에 녹아 있는 오존이 산소로 바뀌는 양과 수 중에서 다른 물질(세균, 유기물, 무기물 등)에 반응하는 양이 오존을 녹이는 양과 교차하는 부분에서 일정 농도 이상은 상승하지 않으며 그 수치는 현장에서 직접 체크해야 한다.

12. 악성 오존이란?

자동차 배기가스와 각종 오염물질이 강열한 자외선에 의해 대기 중에 스모그 현상으로 질소산화물이나 유기화합물이 결합되어 악성 오존이 생성된다.

오존 주의보는 오존농도가 0.12 ppm 이상 일 때 발령되고 대기오염이 심한 도심지에서 주로 발생된다, 악성 오존이 많아지면 심한두통과 눈이 따갑고 기침이 나며 호흡기 질환과 심할 경우 폐기능이 저하된다.

● 오존 사용 농도 데이터 (단위: ppm)

공기	생식공장	저온창고	원예	세척	버섯
오존 농도	잔류오존 0.05 ppm 이하		0.5~0.1	0.3~0.5	0.5~1.0
수질	간이정수장	생수공장	아파트	얼음공장	음료공장
오존 농도	0.3~0.5				
수질(세척수)	농산물	단체급식	양돈	양계	
오존 농도	0.5~1.0	0.3~0.5	0.5~1.0	0.5~1.0	
수질	골프장	인공 호수	수영장	양어장	수족관
오존 농도	난이도 상	난이도 상	0.5	0.3	0.3
수질	냉각탑				
오존 농도	0.5				

● 오존농도를 위한 오존 필요량

조 건		온도(°C) / 오존 필요량(g)		
오존 농도	처리량(톤) / h	15 °C	20 °C	25 °C
0.03 ppm	5	0.456	0.553	0.586
	10	0.912	1.106	1.172
	15	1.368	1.659	1.758
	20	1.824	2.212	2.344
	30	2.736	3.318	3.516
	40	3.648	4.424	4.688
	50	4.56	5.53	5.86
	100	9.12	11.06	11.72
0.3 ppm	5	4.573	5.227	5.859
	10	9.146	10.454	11.718
	15	13.719	15.681	17.577
	20	18.292	20.908	23.436
	30	27.438	31.362	35.154
	40	36.584	41.816	46.812
	50	45.73	52.27	58.59
	100	91.46	104.54	117.18
0.5 ppm	5	7.62	8.711	9.76
	10	15.24	17.422	19.52
	15	22.86	26.133	29.28
	20	30.48	34.844	39.04
	30	45.72	52.266	58.56
	40	60.96	69.688	78.08
	50	76.2	87.11	97.6
	100	152.4	174.22	195.2
1 ppm	5	15.83	17.41	19.53
	10	31.66	34.82	39.06
	15	47.49	52.23	58.59
	20	63.32	69.64	78.12
	30	94.98	104.46	117.18
	40	126.64	139.28	156.24
	50	158.3	174.1	195.3
	100	316.6	348.2	390.6

(END)