

식품산업에서 오존 살균법의 이용

박석준 · 박지용

연세대학교 생명공학과

I. 서 론

현재 대부분의 식품 살균 공정은 가열 살균법에 의존하고 있으나 열에 민감한 생 야채류나 과일 및 셀러드류는 가열 살균이 곤란하여, 저온 저장이나 냉동을 통해 유통시키거나 화학적 살균법을 사용하고 있다. 화학적 살균은 주로 halogen 화합물, oxidizer, alcohol 등을 이용하거나 chlorine과 그 유도체인 chlorine dioxide나 peroxyacetic acid 또는 hydrogen peroxide를 사용해 왔으며, 방사선 및 UV 조사 등의 방법도 이용되고 있다. 하지만 hydrogen peroxide는 사용이 허가되어 있지 않고, 특히 가장 많이 사용되고 있는 염소 화합물은 trihalomethane(THM)과 같은 발암성 물질을 형성한다고 알려져 있다. 따라서 가까운 미래에 염소 화합물질을 이용한 살균법이 규제를 받을 가능성이 높기 때문에 열에 민감한 식품에 대한 대체 살균법의 개발이 시급한 실정이다.

최근에는 가열 처리 중 발생하는 열에 의한 식품의 품질 저하를 최소화하고자 다양한 최소 가공법(minimal processing)들이 연구되고 있다. 현재 식품 산업에서 개발되고 있는 비열처리 기술은 물리적 방법으로 초고압(high hydrostatic pressure), 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields, PEF), 진동 자기장(oscillating magnetic fields, OMF), 조사법(radiation), 광 펄스(high-intensity pulsed light), 초음파(ultrasonics) 등이 있으며, 화학적 방법으로는 이산화탄소, 박테리오신, 양이온 다중 고분자(polycationic polymer)와 같은 화학 물질, 세포벽 분해 효소(lytic enzyme) 등을 이용하거나, 이러한 물리·화학적 처리를 조합하여 다단계로 처리하는 hurdle technology 등

이 있다⁽¹⁻³⁾. 그러나 대부분 사용이 특정 식품에 제한적이고 초기 설치비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있어서 산업화 단계에 어려움을 겪고 있다.

오존(ozone)을 이용한 살균법은 수십년 전부터 유럽 등지에서 상하수도 관리와 음용수의 살균에 이용되어 왔으며 국내에서는 주로 폐수 처리에 이용되어 왔다. 최근에 수족관, 콩나물 공장, 제빙 공장, 식품 저장고 등에 오존을 이용하는 사례가 늘고 있으며 공기청정제로도 이용되고 있다. 현재 식품의 살균 공정에 직접 이용되고 있는 사례는 적지만 오존을 이용한 식품 살균에 대한 연구 사례들이 보고되어 이용 가능성을 높이고 있다. 오존을 이용한 살균법이 산업화하기에 적합하다고 판단되는 이유로는 다른 가공법에 비해 초기 설비가 저렴하다는 점과 잔류 물질이 거의 없다는 점을 들 수 있다. 하지만 현재 오존 살균법은 고농도의 오존을 발생시키는 장비가 없다는 기술적인 문제와 안전하고 적절한 관리가 이루어지지 않고 있다는 관리상의 문제로 인해 산업화에 어려움을 겪고 있다. 따라서 오존 살균의 사용이 아직까지는 활발하지 않으나, 앞으로 염소 화합물질의 사용을 대체할 수 있는 살균법으로서 그 이용 가능성은 매우 높다고 할 수 있다. 본 글에서는 오존의 발생 기작과 오존의 특성 및 효과를 기술하고, 식품산업에서 오존 살균법을 이용할 수 있는 분야와 그 유용성에 대해 언급하고자 한다.

II. 본 론

1. 기존 염소 화합물의 문제점

염소 화합물은 병원성 미생물의 효과적인 살균제로

서 여러 염소 화합물이 salad나 과일, 생 야채류와 같은 MPF(minimally processed fresh) 식품의 오염 방지에 이용되고 있다. 하지만 저 농도의 염소는 효과가 적고(4,8), 이미·이취를 야기하는 문제점이 있다. 또한 THM과 같은 발암성 물질을 형성하여 환경과 건강에 미치는 악영향에 관한 우려가 높아지고 있다.(5,6,9,10). 이러한 염소 화합물은 과일이나 야채류의 표면에 잔존하는 화학 농약제와 반응하여 인체에 유해한 부산물을 생성할 수도 있기 때문에 사용이 규제되거나 금지될 가능성이 높아지고 있다. 따라서 염소 화합물보다 살균력이 강하고 부산물에 의한 환경 오염 문제를 해결할 수 있는 대체 살균법이 필요하다고 하겠다. 오존의 살균력은 예전부터 알려졌지만 안전성 문제가 확증되지 않아 그 사용이 제한적이었으나, 1997년 미국 FDA에 의해 generally recognized as safe(GRAS) 물질로 인정받으면서(6) 염소 화합물이 가지는 문제점을 해결시켜줄 만한 살균법으로 관심을 끌고 있다. Table 1에 오존, 염소 및 자외선의 특성을 비교하였다.

2. 오존(ozone)이란?

오존(O₃)의 어원은 그리스어인 ozein(냄새나다)에서 유래되었으며 1840년 손 베인이 오존이라 명명했다. 산소의 동위체이며 분자량 48, 융점 -212°C, 비점 911°C, 비중 1.7로서, 공기중의 산소가 번개나 태양 광선, 자외선과 반응하여 생성되기도 하고 고전압 하

에서 전기적인 힘에 의해 생성되기도 하여 우리 주위에 항상 존재하는 물질이다.



높은 농도에서는 푸른 기체를 나타내나 2% 이하의 농도에서는 무색이어서 육안 식별이 불가능하다. 그러나 독특한 자극취를 가지므로 후각에 의해 감지가 가능한 기체이다. 오존은 불소 다음으로 강력한 산화력을 가지며 이러한 산화력으로 인해 살균, 탈취, 탈색, 유·무기물과의 반응 등의 성질을 갖는다.

오존의 살균력은 오존 농도 0.4 ppm에서 4분 동안 대부분의 세균, 바이러스, 곰팡이를 사멸시킬 정도로 강하다. 그 살균력을 비교해 보면 hypochlorous acid (HOCl)의 25배, hypochlorite(OCl)의 2,500배, chlorine의 5,000배 강하다. 고농도일수록 오존의 살균력은 크게 증가하며 수초 내에 세포벽을 파열하여 cytoplasm을 분해하고 재생을 불가능하게 한다. 이와는 달리 chlorine은 확산에 의해 세포벽을 파열한 후, hypochlorous ion이 세포 내로 들어가 작용하며, 이 과정이 진행되는 데 보통 30~60분이 소요된다. 또한 접촉 시간이 불충분하면 세포가 재생될 수도 있다.

오존은 세균의 경우 세포벽을 구성하는 지방단백질의 파괴를 유도하며, 그램 음성세균인 대부분의 병원균이나 대장균은 0.01 mL/L의 저 농도 오존수에서 1분간의 접촉에 의해서도 급속히 사멸한다. 그러나 그램 양성세균, 특히 내열성 포자 형성균은 오존에 대한 저항력이 높다. 효모의 경우 효모가 생산하는 주요 효소들이 불활성화되며, 바이러스의 경우 DNA가 파괴되어 1 mg/L 정도의 오존에서 1분간의 접촉에 의해 99% 불활성화된다.

오존은 매우 불안한 상태의 고 에너지 분자이므로 상온의 수중에서 반감기가 20분밖에 되지 않아 자연적으로 산소로 분해된다. 따라서 처리 후 잔존에 대한 우려가 없고 전기적으로 생성이 가능하므로 처리수에 다른 화합물을 첨가할 필요가 없다. 또한 오존은 제초제 등의 농약류와 염소 화합물의 부산물과 같은 화학 잔류물들도 분해할 수 있다(12).

오존의 산업적 이용은 가스형태로의 이용과 물에 용해시킨 오존수의 형태로서의 이용으로 나누어 생각할 수 있는데 적용 대상에 따라 이용되는 오존의 형

Table 1. 오존 및 기타 살균장치의 특성(11)

효과	살균장치	오존	염소	자외선
어류 생식	가능	가능	불가능	가능
악취 제거	가능	가능	약함	불가능
용존 산소량	증가	증가	변화 없음	변화 없음
유해 물질 생산	없음	없음	발암성 물질 생산	없음
세균 살균	완전 살균 가능	완전 살균 가능	완전 살균 가능	완전 살균 가능
바이러스 살균	완전 살균 가능	다량 투여시 효과 있음	완전 살균 가능	완전 살균 가능
2차 오염 문제	없음	없음	유해	없음
유기물	제거 가능	제거 가능	유해물 생성	불가능
조류 및 담치 제거	제거 가능	제거 가능	제거 가능	불가능
관리비	동력비	동력비	동력비 +약품비	동력비
설치비	고가	저가	저가	고가

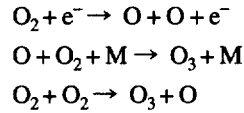
태가 다르다. 오존 가스는 공기청정과 훈증 소독제로서 사용되어 저장고의 탈취, 소독이나 식품의 운송중 미생물이나 해충으로부터의 보호 등에 이용될 수 있다. 또한 세균에 의해 생성된 이취를 제거할 수 있고 과일의 수확 후 숙성을 유도하는 ethylene gas를 화학적으로 제거하여 과일의 저장기간을 연장시킬 수도 있으며⁽⁷⁾ 작업장 환경의 위생관리를 위해 사용할 수도 있다. 그러나 오존은 공기 중에서 지속성이 짧아 대부분 오존 가스를 물에 녹인 오존수 형태로 사용한다. 오존수 형태에서의 오존은 적절한 조건에서 30분 정도 존재할 수 있어서 식품의 표면은 물론 조직 깊이까지 지속적인 효과를 미칠 수 있다. 예를 들어 수확된 과일이나 생 야채류를 오존수로 세척하여 미생물을 살균하고, 세척액은 다시 회수하여 여과 처리한 후 오존 농도를 높여서 다시 무균 상태의 오존수로 재 사용된다. Fig. 1에 일반적인 오존 처리 설비의 계략도를 나타내었다.

3. 오존 발생법

오존의 발생은 주로 산소에 물리, 화학적인 자극으로 에너지를 가해 오존으로 변화시키는 것인데 무성방전법(Fig. 2a), 연면 방전법(Fig. 2b), 전해법, 광화학법, 고주파 전계법, 방사선 조사법 등이 있으나 산업 쪽에서는 무성방전방식이 에너지 효율면, 성능의 안정성, 조작 및 제어의 편리성으로 가장 널리 이용

되고 있다. 세라믹 층에 방전전극과 유도전극을 장치하고 고주파 전압과 공기를 공급하여 오존을 생성하는 연면 방전방식은 초소형에 적용이 용이하다. 오존 발생 방식은 여러 가지이지만 상업적인 이용 목적이려면 주로 전극 구조가 동축원통형인 구조가 많고 평판형은 극히 소수이다.

무성 방전법은 전극 사이에 유리나 세라믹 같은 유전체를 끼우고 공기나 산소를 불어넣고 전극에 고전압(6~15 kv)을 가하여 방전 공간에서 다음 반응에 의해 오존을 발생시킨다.



무성 방전법의 경우 오존생성 효율은 오존 농도에 따라 틀리지만 공기를 원료로 한 경우 10~35 g/m³, 산소를 원료로 할 경우에는 50~150 g/m³의 오존을 얻을 수 있고, 소비전력은 수냉식 냉각수 온도 25°C의 경우 산소가 원료일 때 10~13 kwh/O₃ kg이며 공기가 원료일 때는 15~20 kwh/O₃ kg이다.

전해법은 전기분해에 의해 오존을 생성시키는 방법으로서, O₃ 1 kg을 얻는데 필요한 소비전력은 56~71 kwh로 비효율적이나 질소 산화물의 생성이 없고 고농도 오존을 얻을 수 있으며 설치장비가 소형으로 가

Fig. 1. Schematic diagram of ozone processing system.

이 외에도 오존처리 시 ·OH 라디칼을 함께 생성 시켜서 그 효과를 상승시키기 위해 pH 조정, UV 조사, H₂O₂ 첨가 등을 이용하는 고급 산화법(advanced oxidation process, AOP)과 고 농도의 오존 생산과 더불어 강한 UV와 강한 음파, 초음파, cavitation, ·OH 라디칼 등을 생성시킬 수 있는 고전압 slipping surface discharge(SSD) plasma 등이 있다.

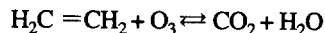
4. 산업에서의 이용

오존은 산화력이 강하여 지질이 많이 함유된 식품에 사용할 경우 과산화물을 생성하며, 이러한 식품 속의 지질 산화물은 암을 유발하는 독성 물질로 알려져 있으므로 오존 처리는 대부분 지질 함량이 낮은 식품을 대상으로 행한다.

1) 과일 및 생 야채류의 세척 살균과 저장

열처리가 곤란한 과일 및 생 야채류의 안전성을 확보하기 위해 분무나 침지법을 이용한 오존수 처리로 염소 살균법의 단점을 극복하면서도 더 높은 살균 효과를 볼 수 있다⁽¹³⁾. Kim 등⁽¹⁴⁾은 오존수를 이용하여 shredded lettuce에 존재하는 미생물을 2 log cycle 감소시켰다고 보고하였으며, Kondo 등⁽¹⁵⁾도 이러한 방법으로 배추에 존재하는 세균을 90% 이상 감소시켰다고 보고하였다.

또한 오존 가스는 비교적 낮은 농도에서도 저온 저장 중의 식품 표면에 존재하는 곰팡이나 세균에 의한 이취 제거 및 살균이 가능하다⁽⁷⁾. 오존 가스의 살균력은 이미 오래 전부터 알려져서, 1993년 이후부터 사과, 감자, 토마토, 딸기, 브로콜리, 배, 오렌지, 포도, 옥수수, 콩 등 다양한 식품에 대해 연구되었다⁽¹⁶⁾. 특히 바나나, 사과 등은 수확 후 저온 저장 중 ethylene gas를 발생시켜 과숙 현상을 초래한다. 오존은 다음과 같은 반응식에 의해 ethylene gas를 효과적으로 제거하여 과일과 야채류의 과숙을 지연시킬 수 있다⁽⁷⁾.

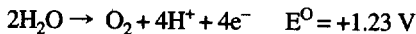
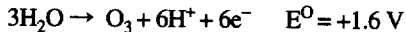


2) 물의 살균 및 청정화

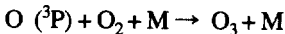
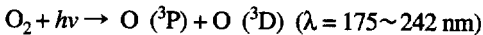
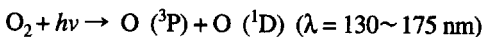
식품산업에서 사용되는 물은 복잡한 공정 중에 유해미생물에 노출되기 쉬우며 살균된 물이라 해도 2차 오염되기 쉽다. 또한 미생물로부터는 보호가 되더라

Fig. 2. Schematic diagram of ozone generator.

능하다는 장점이 있다.



광화학 반응법은 성층권에서 오존을 생성하는 방식과 같은 것으로, 산소에 파장 130~175 nm의 자외선을 조사하면 기저상태의 산소 원자와 여기상태의 산소원자로 해리 되고 175~242 nm의 자외선을 조사하면 아래의 반응식과 같이 오존이 발생하는 원리를 이용한 것이다.

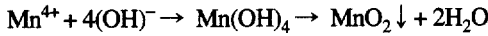
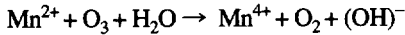
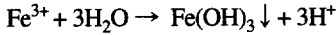
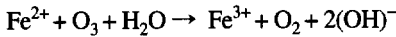


저 농도 오존(10 g/Nm³ 이하)만 생산할 수 있으며 소비전력이 매우 커서 550 kwh/O₃ kg이며, 습도에 민감해서 상대 습도가 50%이면 오존 생성량이 40% 감소한다.

방사선 조사법의 원리는 광화학 반응과 동일하며 185 nm의 방사선을 방출하는 방사선원만 있으면 전력이 필요 없고 오존 제조비용이 싸다. 그러나 방사선 발생원의 관리가 어렵고 고농도 오존 제조가 불가능하며 반응기 재질의 난점 등으로 실용화 되어있지 않다.

도 여러 가지 유해한 유기물이나 살충제 등에 오염되는 문제가 있다. 현재 대부분 염소 살균으로 산업용수를 살균하고 있으나 염소살균으로는 유기물의 제거가 어렵고 부산물 생성의 문제가 있다. 오존의 사용은 이러한 단점을 보완하면서도 살균력을 유지한다는 것이 증명되었다^(12,17,18). 특히 염소 살균제에 내성이 있으며 최근 식음료를 통한 섭취로 인해 사망 환자를 발생시킨 *Cryptosporidium*와 *Giardia* 등에 효과적인 것으로 밝혀졌다^(19,20). 일반적인 용수나 음료수의 살균은 오존 농도 1~3 mg/L 수준에서 이루어진다.

2~4 mg/L 수준의 오존은 또한 철, 망간, 황 등을 침전 시켜서 제거할 수 있는 능력이 있다.



일반적으로 식수의 색은 humic acid나 fulvic acid와 같이 단일 결합 또는 이중 결합으로 이루어진 불포화 구조를 가지는 천연유기물질과 관련되어 있다. 이러한 천연유기물질들은 반응성이 커서 오존에 의해 포화되어 ketone이나 aldehyde와 같은 저분자 물질로

변환된다.

식수의 맛과 향 또한 5~4 mg/L의 오존 처리에 의해 조절 될 수 있다. 식수의 맛과 향 성분은 대부분 혐기성 세균에 의해 형성된 것으로 geosmin이나 2-methylisoborneol(2-MIB) 등이 그 대표적인 예이다. 이 물질들은 불포화도가 높은 탄화수소들이어서 오존에 의해 제거 될 수 있다.

식수에는 천연유기물질을 비롯하여 detergent, phenol, pesticides, herbicides 등의 약 700 여종의 유기 화합물이 존재한다고 알려져 있다. 이러한 물질들은 오존의 존재 하에 부분적으로 이산화탄소와 물로 분해된다. 오존의 유기물질 제거 기작은 여러 가지가 제시되고 있으나 Fig. 3의 두 가지 대표적인 기작으로 설명되고 있으며 보통 40~60 mg/L의 오존을 필요로 한다. THM는 25 mg/L의 고농도의 오존수로 4~5분 처리하여도 제거되지 않는 않지만, THM의 전구체 역할을 하는 천연유기물질을 오존 처리로 미리 제거할 경우 이후의 염소 처리로도 THM가 생성되지 않는다.

이와 같이 오존은 물에 존재하는 금속원소를 제거할 수 있고 냄새나 맛을 조절할 수 있을 뿐 아니라 유기물질 분해능력이 있어서 산업 폐기 용수의 처리 뿐 아니라 음료 산업에도 그 응용성이 높다고 하겠다.

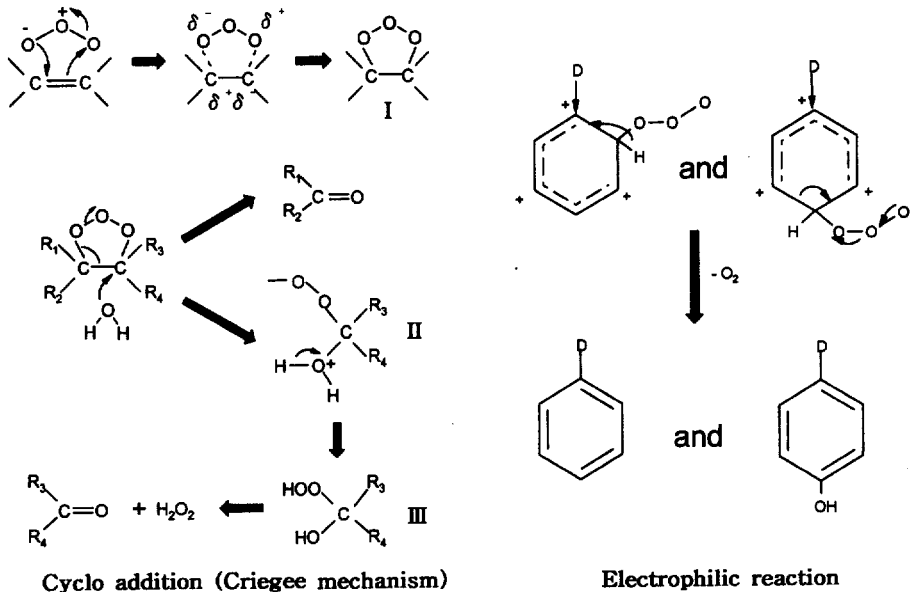


Fig. 3. Two types of mechanism of ozone oxidation.

3) 산업 용수의 재활용

매년 막대한 양의 산업용수가 사용되고 있으며 환경보호를 위한 폐수처리 비용도 기하학적으로 증가하는 추세를 보임에 따라, 오존 처리를 이용하여 산업 폐수를 저렴한 비용으로 처리하여 재활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다⁽¹⁷⁾. Williams 등⁽²¹⁾은 당근 세척 폐수를 오존 처리하여 폐수에 잔존하는 미생물을 3 log cycle 감소시켰다고 보고하였으며, Piper⁽²²⁾는 오존수로 토마토를 세척한 경우 세척 폐수가 재활용 가능한 수준을 유지하였다고 보고하였다. 축산업이나 양계업에서도 폐수처리에 오존의 이용이 가능하며 Praxair and Zentox Water-Treatment Alliance와 같은 상업적 기술 협력체도 존재하고 있다. 또한 이러한 오존 처리 설비는 generator, contact tank, degas system, ozone destruct unit, filter, ozone monitor, exhaust system으로 구성된 비교적 간단한 설비로 공간 비용이나 설비비가 저렴하고 다른 장소로의 이전이 용이하다는 장점이 있다. 현재 국내에서 이용

되고 있는 오존 처리 시설의 현황을 Table 2에 나타내었다.

5. 오존의 안전성

오존은 1997년 미국 FDA에 의해 GRAS물질로 인정받았으며 스스로 산소원자로 분해되므로 다른 산화제에 비해 잔류독성이 거의 없는 살균제이다. 그러나 오존이 과잉 존재할 경우 인체에 여러 가지 독성을 미치는데 주로 호흡기에 영향을 미친다(Table 3). 미국의 Occupational Safety and Health Administration의 조사에 따르면 인체 노출 한계는 장시간 노출 허용 한계는 8 hr/day 혹은 40 hr/week 동안 0.1 ppm이며, 단시간 노출 허용 한계는 15분 동안 0.3 ppm이다. 현행 국내 환경 정책기본법에 따르면 장시간 노출 허용 한계가 8 hr/day 동안 0.06 ppm으로 미국에 비해 엄격한 편이고, 상용되고 있는 CO₂, N₂, O₂ 등의 가스의 허용 한계에 비해 높은 수치이다. 또한 인체에 유해한 농도 이하에서 독특한 자극성 냄새

Table 2. 오존의 이용 현황⁽¹¹⁾

적용 분야	오존의 효과	국내 적용 사업장	비고
상수도 처리	소독·맛·냄새 제거, 응집, 침전 효율향상, 발암물질 생성억제 미량 유기물 제거	정수 처리장 - 부산 화명, 덕산, 진해 석동, 마산 칠서, 김해, 양산 등 10여 곳	초대형·대형 오존발생 장치 시설이 대부분이며 현재까지 수입품이 주류임. 2008년까지 전국에 약 80% 설치 예정
오수 처리	BOD·COD 제거 및 탈색 냄새 제거	기업체 연수원 20여 곳 국내 골프장 50여 곳과 APT 30여 곳에 적용	처리결과가 양호하며 색도의 처리로 주민의 민원 유발이 거의 없음
폐수 처리	BOD·COD 제거와 탈색, CN 등 독성 물질의 초기 산화 고도 처리	도금 공업, 제지 공업 석유 화학 제동 등 국내 50 여 곳에 적용	중·대형 장치가 많으며 오존 처리시 경제성이 타 처리 공업에 비해 뛰어나지 않음
분뇨 처리	탈취작용, BOD·COD 제거용 탈색	국내 약 15여 곳 이내이며 악취 제거용으로 이용되었으며 기타 장치와 결합하여 이용	탈취용 사용이 250 g/hr 이하의 소형이며 수처리 용도 탈색에 이용 시 효과가 높음
산업에의 이용	PE 접착성 강화용	1회용 주사기 제조업체 국내 10여 곳 적용	주사바늘의 접착성 강화로 바늘의 탈착 방지
	펄프·제지의 표백	국내에는 전무하나 동구권 노르웨이, 핀란드 사용	초대형 오존발생장치가 이용되며 1500 kg/hr 용량도 있음
	의약품 제조·화학 공업	국내 약 5여 곳 적용	산화용도이며 부대방지 용도
공장 용수	냉각탑 살균, 지하수 이용시 Fe, Mn 제거, 소독, 탈취	국내 30여 곳 적용 원수의 수질 악화로 늘어가고 있는 추세	재활용수의 처리에 적합하며, 대형 건물의 중수도처리 등에 적합
기타 용도	가정용: 오존수 제조로 살균용	국내 2~3개 제조업체가 있으나 안전장치 미약과 오존 양 부족으로 효과 미지수	오존의 용도는 다양하나 장치 산업의 미완성 단계
	공기정화기, 에어컨 등 흡입 공기 살균 용도	국내 제품에 이용되고 있으나 규모나 매출 면에서 시장성이 적음	살균 용도이나 부속장 치로 이용되기 때문에 한정된 용량

Table 3. 농도별 오존의 영향⁽²³⁾

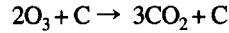
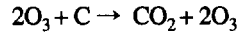
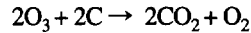
오존 농도 (ppm)	영 향
0.01~0.015	냄새로 감지가 가능한 최저 농도
0.04~0.06	인체에 무해한 최대 노출 농도
0.1	코와 인후를 자극
0.1~0.3	천식 환자의 병 발작 회수 증가
0.23	장시간 노출될 경우 만성 기관지염 발생 가능
0.6~0.8	가슴의 통증, 기침, 호흡곤란, 폐기능 저하
0.5~1.0	호흡장애, 산소 소비량 감소, guinea pigs의 경우 수명 단축
0.3~1.5	저온에서 곰팡이의 생육 저해
1.0~2.0	피로감, 두통
5.0~10.0	호흡 곤란, 맥박 증가, 통증, 마비, 혼수 상태
15.0~20.0	폐수중에 의한 사망 위험, 소동물은 2시간 이내에 사망
50.0	1시간 내에 생명 위험
1,000 이상	몇 분내에 사망

로 감지가 가능하여 그 위험을 피할 수 있어서 오존 자체에 의한 사망 사고는 보고된 바 없다.

비록 오존이 자기 분해된다고 해도 접촉조에서 완전용해 되기 어려우므로 미량의 미 반응 오존이 배출될 수밖에 없다. 그러나 오존은 매우 불안정하여 온도와 습도가 높거나 금속, 산화물, 유기물질, 빛 등과 반응하여 쉽게 분해되므로 사용 후 분해하여 오존에 대한 안정성을 확보할 수 있다. 산업안전보건법과 환경기준에 의하면 미 반응 오존은 국내의 경우 0.1 mg/L 이하로 처리하여 배출해야 한다. 미 반응 오존 파괴장치는 주로 활성탄 흡착법, 열분해법, 촉매법, 약액 세정법 등이 있으나 국내에서는 주로 열분해법, 활성탄 흡착법, 촉매법이 많이 이용되고 있다.

열분해법은 오존에 고온을 가하게 되면 불안정화되어 급속히 산소로 분해되는 성질을 이용하는 방법이다. 300°C 이상에서 1~3초 접촉 시 미 반응 오존이 100% 파괴된다. 오존 농도가 고농도일 때 활성탄 처리법 보다 비용이 저렴하며, 공존 가스에 영향이 없고 동력 이외에 유지관리비가 없으며, 대용량 처리가 가능하다는 장점이 있다.

활성탄 흡착법은 활성탄과 오존의 직접반응에 의해 활성탄 표면에서 촉매적 분해가 평형하게 일어나는 것을 이용한 방법이며 아래와 같은 반응식에 의해 제거 반응이 일어난다.



활성탄 0.27 g당 오존 1g이 분해되나, 오존 1 mole 이 대기 중에서 분해 할 때 34 kcal의 열을 발생하므로 고농도 오존처리 및 대용량에 적용이 어렵고 소용량에 적합하다. 설비가 간단하고 수처리용에 적합한 장점이 있지만, 화재의 위험이 있고 감시가 어려우며 설치 면적이 큰 단점이 있다.

촉매법은 TiO_2 나 MnO_2 등의 촉매를 이용하는 방법으로 촉매와 함께 50~150°C로 가온하여 산소로 환원시키는 방법이다. 촉매 교체 비용이 과다하고, 수분에 약하며, 오존의 파괴효율이 오존농도에 따라서 변할 수 있다는 단점이 있으나 설치비용이 적다. 또한 배기 가스의 수분제거 장치와 공존 가스에 심각하게 영향을 받는다.

III. 결 론

이상에서 열거한 바와 같이 오존 처리법은 염소 살균제를 대체할 수 있는 기술로 인정받고 있다. 그러나 식품산업에서 오존수 단독 처리만으로 완전 살균 효과를 얻기 위해서는 5 ppm 이상의 고농도 오존수를 생성·유지 할 수 있는 설비가 필요한데, 기술적 문제로 인하여 고농도의 오존수를 생성할 수 있는 설비를 갖추고 있지 못하며, 관리상의 문제로 인하여 기대하는 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 또한 오존의 적정농도를 조절할 수 있는 기술과 장치의 개발이 미흡하다는 문제도 있다. 그러나 현재 다양한 오존 설비가 개발되고 있으며, 오존의 효과를 상승시키기 위해 오존의 발생과 함께 자외선, 활성 라디칼 등을 복합적으로 생산할 수 있는 설비도 개발되어 기술적인 문제는 해결되리라 본다.

오존 처리 기술이 산업화 단계로 발전하기 위해서는 기술적인 개발과 더불어 오존의 특성과 처리 공정을 정확히 이해하여 오존 처리 효과를 극대화 할 수 있어야 한다. 오존 처리에 적절한 대상 식품을 선정하여야 하고, 처리 규모와 대상에 따라 처리 조건이 모두 다르므로 온도, pH, 오존가스를 용해시킬 물의 품질, 처리 시간, 오존 농도, 오존수 순환 속도 등 다

양한 변수를 고려하여 최적 조건을 설정해야 한다. 또한 고농도의 오존은 인체에 유해하므로 미량의 잔류 오존을 제거할 수 있는 설비와 작업환경을 고려한 철저한 안전 설비를 갖추는 것도 중요하다.

현재 오존 처리는 주로 상하수도 및 폐수 처리에서 탈색, 탈취, 살균의 목적으로 사용되고 있으나, 식품 산업에서 오존 처리를 이용할 수 있는 분야는 매우 넓어서 앞으로 기술적인 개발과 더불어 오존 처리에 대한 학문적·경험적 지식이 축적된다면 식품산업에 있어서 오존 처리 기술의 산업화가 이루어질 가능성은 매우 높다고 하겠다.

참고문헌

- Mertens, B. and Knorr, D. Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.* 46: 124-127 (1992)
- Ahvenainen, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Sci. Technol.* 7: 179-187 (1996)
- Castro, A.J., Barosa-C novas, G.V. and Swanson, B.G. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. *J. Food process. Preserv.* 17: 47-73 (1993)
- Bott, T.R. Ozone as a disinfecting in a progress plant. *Food control* 2: 44-49 (1991)
- Cena, A. Ozone: Keep it fresh for food processing. *Water Conditioning Purification*, Sept. pp. 112-115 (1998)
- Graham, D.M. Use of ozone for food processing. *Food Technol.* 51: 72-75 (1997)
- Rice, R.G. Farquhar, W., and Bollyky, L.J. Review of application of ozone for increasing storage time for perishable food. *Ozone Sci. Eng.* 4: 147-163 (1982)
- Sapers, G.M. New technologies for safer produce-Chemical based treatments and decontamination by washing. In *Proc. of Fresh Fruits and Vegetables: Food Safety Challenges*, sponsored by Natl. Ctr. for Food Safety and Technology. Chicago, May 12-14 (1998)
- Anonymous. *Agricultural Outlook*, May. *Econ. Res. Service*, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. (1998)
- EPRI. A fresh look at ozone. *EPRI J.*, July/Aug., p. 6 (1997)
- <http://www.kozone.com>
- Langlais, B., Reckhow, D.A., and Brink, D.R. Practical application of ozone: Principle and case study. In "Ozone in Water Treatment", Lewis Publishers. Chelsea, Mich. (1991)
- Hampson, B.C. and Fiori, S.R. Application of ozone in food processing operation. *Proc. of 1997 IOA PAG Conf.*, Lake Tahoe, Nev., pp. 261-267 (1997)
- Kim, J.G., Yousef, A.E., and Chism, G.W. Use of oxone to inactivate microorganism on lettuce. *J. Food Safety* 19: 17-33 (1999)
- Kondo, F., Utoh, K., and Rostamibashman, M. Sterilizing effect of ozone water and ozone ice on various microorganism. *Bull. Faculty of Agri., Miyazaki Univ.* 36: 92-98 (1989)
- Perkins, M. Ozone in food processing applications-Past experience, future potential and regulatory issues. Presented at *ConnecTECH'97*, Atlanta, Ga. (1997)
- Geering, F. Ozone application-The state of the art in Switzerland. *Ozone Sci. Eng.* 21: 99-118 (1999)
- Rice, R.G. Ozone in the United States of America-The of the art. *Ozone Sci. Eng.* 21: 99-118 (1999)
- Liangji, X. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.* 58: 63 (1999)
- Hoff, J.C. Strengths and weaknesses of using Ct to evaluate disinfection practice. *Proc. AWWA Seminar, Assurance of Adequate Disinfection*, Denver, pp. 49-65 (1997)
- Williams, D.W., Montecalvo, J., Mueller, E., Earls, D., Swanson, K., and Petersen, L. Ozonization as an alternative disinfectant for carrot wash water. In *Book of abstracts. Ann. Mtg., Inst. of Food Technologists*, p. 8 (1995)
- Piper, J. Tomato washing using ozonated water. Presentation at 1998 EPRI Ozone Workshop, Memphis, May. (1998)
- 김순동. 오존의 이용과 안전관리. 소비자들을 위한 식품 의약품 정보. 3 봄호 26-30 (2000)