

생물테러시 실내제독을 위한 효율적인 오존가스의 적용 방법

Application of Gaseous Ozone for Cleaning Biological Weapon Agent Contaminated Building

정우동* 문성민** 조민*** 윤제용**
Jeong, Woo-Dong Mun, Sung-Min Cho, Min Yoon, Je-Yong

ABSTRACT

This study attempted to develop the technology by gaseous ozone for decontaminating building affected by a model of biological weapon agent(*Bacillus subtilis* spores) instead of *Bacillus anthracis* spore. The use of ozone is attractive method from a practical point of view of decontamination procedure since it has strong oxidation power but no residue after application. We examined the disinfection efficiency of gaseous ozone to *Bacillus subtilis* spores which suspension was sprayed on different material surfaces and dried.

Three different types of gaseous ozone was applied : dry ozone, dry ozone with humidified air, and water bubbled wet ozone. Dry ozone(1500ppm) failed to achieve any significant inactivation for 2hrs. However, six log reduction of *B. subtilis* spore was achieved within 30min by 1500ppm of water bubbled wet ozone.

This result shows the noticeable inactivation efficiency by gaseous ozone compared with previous studies.

Good performance by wet ozone was also found for military material surface.(i.e. : gas mask hood, protective garments, army painted metal surface).

주요기술용어(주제어) : Ozone(오존), Bioterrorism(생물테러), *Bacillus* Spore(바실러스포자), Decontamination(제독)

1. 서론

2001년 미국에서 발생한 탄저테러로 인해 전세계

각국은 생물테러의 대응방안 준비에 각별한 노력과 관심을 경주하고 있다^[1-3,20]. 이러한 대응방안 중 대부분의 비용이 테러의 조기탐지를 위한 경보체계의 발전과 백신의 생산 및 비축에 편중되고 있다^[19]. 하지만, 미국의 탄저테러 후속조치 과정에서 발생한 건물의 제독과 재사용을 위해 소요된 막대한 비용과 문제점은 사후조치로써 환경소독의 중요성을 알려주는 계기가 되었다^[4-6].

현재 국내를 포함한 많은 국가에서 생물테러에 대한 실내 제독방법으로써 전통적으로 이용되는 염소계 열의 강력한 산화제를 물에 희석한 소독용액 혹은 슬

† 2007년 12월 31일 접수~2008년 2월 15일 게재승인

* 수도방위사령부 제22화학대대(Capital Defense Command, 22th Chemical Batalion)

** 서울대학교 화학생물 공학부(Seoul National University)

*** 미 조지아공대(Georgia Institute of Technology, USA)

주저자 이메일 : jeyong@snu.ac.kr

러리 형태의 제독방법을 이용하고 있다^[7]. 그러나 이러한 단순한 제독 방법만으로는 생물테러에 노출된 다중이용시설의 내부를 효과적으로 제독하는데 어려움이 있다^[4]. 예를 들어, 탄저균 분말이나 SARS, 조류 인플루엔자와 같이 공기중으로 전파되는 병원균은 수용액으로 처리하기 곤란한 천장, 틈새 등으로 확산되기 쉽고, 실내 공기의 흐름을 타고 환풍기를 통한 오염범위의 확산 등 예상치 못한 위험이 증폭되기 때문이다. 또한 강력한 제독용액이 닿아서는 안 될 민감한 전자장비나 표면 등의 제독시에도 신중을 기해야 한다.

탄저병(anthrax)은 *B. anthracis*라는 박테리아에 의해서 발병되는 생물테러의 대표적인 질병이다. 탄저와 같이 내생포자(endospore)를 형성하는 박테리아는 공기나 토양에서 수십 년간 생존할 수가 있으며 태양광, 자외선, 화학적 소독제 등에 대하여 강한 저항성을 지닌다^[8]. 이렇듯 내성이 강한 탄저 포자 분말은 실내 공기의 흐름에 따라 부유되어 호흡기 감염을 유발시킬 수 있으므로 수용액을 이용한 방법만으로는 완벽한 실내 제독을 하기 어렵다.

따라서, 선진국에서는 수용액 형태의 제독방법에서 탈피하여, 거품 혹은 젤 타입의 제독제를 개발하고 있고, 동시에 가스상의 제독제를 이용하여 완벽한 실내 제독을 위한 방법을 모색하고 있다^[4].

수용액에서의 제독방법들은 식품공정이나 정수처리 공정 등에서 비약적인 연구 성과와 발전이 있었지만 표면 및 공기의 제독을 위한 가스형태의 제독방법에 대해서는 보다 많은 연구와 모의훈련이 필요하다.

현재까지 알려진 가스를 이용한 대표적인 제독방법들은 산화에틸렌, 이산화염소, 과산화수소 증기, 폼프 알데히드, 오존, 그리고 브롬화메틸 등이다. 이중에서 미국의 탄저테러 이후에 건물의 소독을 위해서 산화에틸렌, 이산화염소, 과산화수소 증기법이 사용된 사례가 있다^[4,5].

오존이 생물테러의 사후조치 방법으로써 사용된 적은 없지만, 오존은 염소보다 강력한 산화력을 바탕으로 포자를 포함한 박테리아 및 바이러스를 사멸시키는 효과가 매우 크며, 수용액 및 가스상으로 동시에 적용이 가능하다. 또한, 사용된 후 자가분해되어 인체 및 환경에 무해한 물질로 바뀌게 되고, 생산비용이 저

렴하며 밀폐된 대규모의 시설에 적용이 가능한 점 등의 장점으로 인해 앞으로 이용 가능성이 매우 높은 제독방법이다^[10,11].

고농도 가스형태의 오존을 이용한 바실러스 포자의 불활성화에 대한 연구는 Ishizaki 등(1986)에 의해서 연구된 바 있다. 그들은 250~1500ppm의 비교적 고농도 오존을 이용하여 여러 종류의 바실러스 포자에 대한 불활성화를 연구하였고, 오존을 이용한 소독에서 상대습도가 중요한 요인임을 밝혀냈다^[12].

Currier 등(2001)은 균집의 형태를 보이는 바실러스 포자를 9000ppm의 고농도 오존가스로 불활성화 시키는 연구를 하였다. 이 연구에서 건조된 포자의 표면에 존재하는 수분이 포자막(coat)에 대한 오존 침투성을 높여 사멸률을 증가시킨다고 하였고, 80% 상대습도 조건에서 15시간 동안 보관된 시편을 9000ppm의 오존으로 처리하였을 경우 30분에 7log(99.99999%) 불활성화를 나타내는 것으로 보고하였다^[6].

하지만, 두 연구에서 사용된 오존가스의 형태는 건조한 형태의 오존가스인지 워터캡슐을 통과한 습한 오존가스인지에 대한 명확한 설명이 부족하다.

Aydogan 등(2006)은 건조된 포자의 수분함량 전처리과정 정도에 따라서 오존처리시 발생하는 초기 지연기(initial lag phase)를 단축할 수 있으며, 오존 농도가 높아짐에 따라서 불활성화의 정도는 커진다고 하였다. 또한 표면의 특성(카펫, 목재, 종이, 유리표면 등)에 따라서 불활성화의 정도가 다름을 증명하여, 실제 테러상황에서 적용함에 있어 발생할 수 있는 다양한 실내 표면에 대한 오존소독의 가이드라인을 제시한 바 있다^[11].

그럼에도 불구하고 앞선 연구들은 오존가스의 수분 함량에 대한 명확한 설명이 부족하였고, 높은 습도 조건하에서의 장시간 전처리 과정이 소요되는 등의 문제점이 있어, 신속한 생물제독 방법으로는 적용이 제한된다고 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 보다 빠른 시간 내에 탄저테러에 노출된 실내제독을 위한 오존가스의 최적 적용 조건을 찾아보았다.

즉, 단시간 내에 제독을 완료하기 위해서 오존가스의 수분 함량을 조절하였고, 여기에 사용된 방법으로는 건조한 오존가스, 상대습도를 높인 조건하에서 오존가스, 습한 오존가스를 이용하였다.

또한, 한국군에서 사용하는 군용 화생방 물품 표면에서의 적용을 통해 보다 실질적인 측면에서의 효과에 대한 연구를 하였다.

2. 연구 방법

가. 미생물 균주 선택 및 시편 준비

본 연구에서 사용된 *B. subtilis*(ATCC 6633)은 비병원성이며, 생리학적 특성이 탄저병을 유발하는 탄저균(*B. anthracis*, Anthrax)과 유사하여 지표미생물(surrogate microorganism)로서 사용하였다^[2,5]. 포자 배양은 냉동보관 균주에서 백금이를 이용하여 영양배지(Difco) 50ml/200ml 플라스크에 접종 후 진탕배양기에서 하룻밤 배양하였다(37°C, 120rpm). 다음날 1/10 영양배지에 배양된 액을 접종하고 4~5일간 37°C 인큐베이터에서 배양한 다음, 형성된 집락을 회수하여 인산완충용액에 현탁시켰다. 현탁액을 10분간 4500rpm으로 3회 원심 분리한 뒤, 80°C에서 15분간 열처리하여 영양상태의 바실러스는 제거하였다. 형성된 바실러스 포자의 농도는 도말 평판법(spread plate method)에 의해 측정 후 4°C 냉장고에 보관하였다. 실험에 사용할 표면위에 50 μ l의 포자 현탁액을 떨어뜨린 후(10⁶ spores), 멸균된 클린벤치내에서 6시간 건조시켰다. 사용된 표면재질은 유리를 포함한 군용 물품의 표면(방독면 보호두건, 침투성 보호의 외피, 군용 페인트 표면 등)이었다.

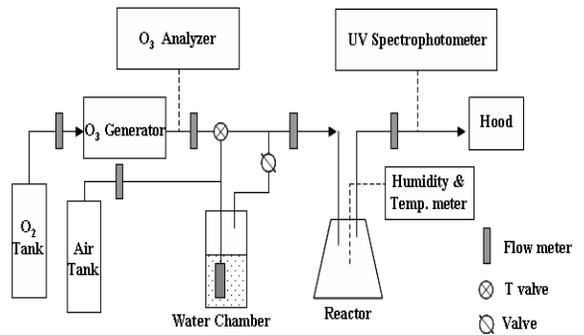
건조과정에서 클린벤치내의 상대습도는 20~30%, 온도는 22~25°C를 유지하였다. 건조가 됨에 따라 발생하는 사멸 현상은 없음을 확인하였다. 생리적 활성의 평가 시에는 건조된 시편을 인산완충용액(phosphate buffer solution ; tween 20 : 0.2%, Na₂S₂O₃ : 0.1M)에서 30분간의 초음파 분리 수조로 탈착시키고, 도말법에 의해 살아있는 집락수를 측정하여 판단하였다. 초음파에 의한 포자의 불활성화는 없었으며, 각 실험은 3회 이상 반복된 결과를 바탕으로 95% 이상의 높은 회수율을 얻을 수 있었다.

현 육군의 화생방 제독교리상 화학 및 생물학 작용제에 노출된 장비를 제독하는 장비제독소에서 제독반응시간을 30분으로 설정하고 있으므로 오존 노출시간

은 이에 맞추어 설정하였다^[7]. 또한 생물학적 오염의 제거에 대한 완벽한 제독 수준은 정의된 바가 없지만 일부 외국의 문헌^[5]에서 오염된 지역의 제독수준을 6 log(99.9999%)로 보고 있기 때문에, 최대 6로그까지 포자의 불활성화를 관찰하였다.

나. 실험장치 및 반응기

오존실험에 사용된 장치의 개요는 그림 1에서 보는 바와 같다. 사용된 오존은 초고순도 산소를 이용하여 으며, 오존발생기(Pacific Ozone Technology, Model 01, USA)에서 생성된 오존을 반응기내부로 주입하였다. 반응기의 전후에는 Ozone analyzer(INUSA, Model H1, USA)와 UV spectrophotometer(Agilent Model 8453, USA)를 설치하여 실시간 오존의 농도를 모니터링 하였다. 반응기는 완벽한 밀폐를 위해 실리콘 마개를 이용하였다. 각각의 장치가 연결되는 부분에는 유량계를 장착하여 최종 유출되는 오존가스의 유량변화를 확인하였으며, 유량 손실은 없었다. 반응기내부에는 상대습도와 온도를 측정하기 위해 온도습도계(Ceter Technology Corp., Model 310, Taiwan) 센서를 삽입하였다.



[그림 1] 오존가스 실험 장치 구성도

다. 실험방법

오존을 이용한 불활성화 실험에 사용된 오존가스의 형태는 세 가지이다. 첫 번째는 건조한 형태의 오존가스(dry gaseous ozone)로써, 이는 초고순도 산소를 오존발생기에 연결하여 생성된 상대습도 10±5% 미만의 건조한 오존이다.

두 번째는 높은 상대습도 하에서 건조한 오존가스

를 혼합한 방법으로, 공기 탱크로부터 워터챔버를 통과한 95±5%의 높은 습도를 함유한 공기를 반응기에 지속적으로 공급하면서 동시에 건조한 오존을 반응기에 공급하였다. 반응기에 유입되는 오존농도는 습한 공기의 유입에 따른 오존 농도 감소를 고려하여 최종 주입 오존 농도가 500, 1000, 1500, 5000ppm이 되도록 조절하여 실험하였다.

세 번째는 습한 오존가스(wet gaseous ozone)이다. 이는 건조한 오존가스를 워터챔버를 통과시켜 배 오존 되는 오존가스를 반응기내로 주입하여서 시편을 처리하였다.

이때, 측정된 습한오존의 상대습도는 95±5%이었으며, 각각의 실험조건에서 동일한 실내온도 22~25℃와 유량 0.4 l/min을 적용하였다. 오존이 포자 표면에 미치는 영향을 확인하기 위해 전계 방출 주사 전자현미경(FE-SEM : Field Emission Scanning Electron Microscope, JSM-6700F)을 이용하여 관찰하였다.

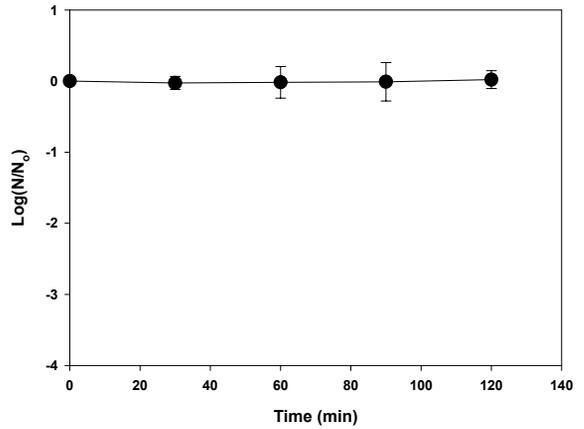
3. 결과 및 고찰

가. 건조한 오존가스

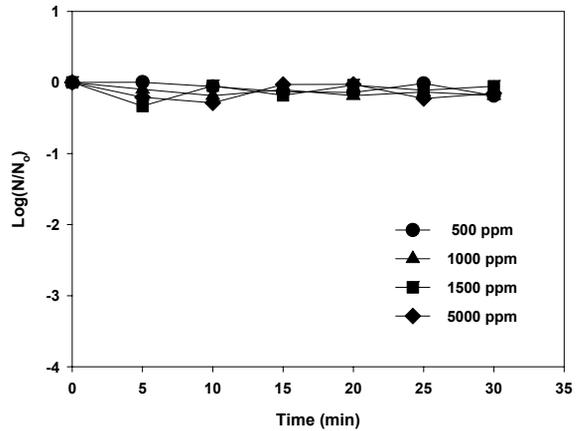
그림 2는 건조한 오존가스(상대습도 10% 미만)와 높은 습도조건(상대습도 95% 이상)하 건조한 오존가스를 이용하여 포자를 처리한 결과이다.

그림 2의 (a)는 건조한 오존가스로 포자를 처리한 결과인데 2시간동안 1500ppm의 오존가스에 노출되었음에도 불구하고 포자를 사멸하는데는 큰 효과가 없었다. 이 결과는 Ishizaki 등(1986)의 연구결과와도 일치한다^[12].

그림 2의 (b)는 건조한 오존가스와 습도가 높은 공기를 혼합하여 처리한 결과이다. 습도가 높은 조건이라 하더라도 30분 동안의 처리에서는 포자 사멸에 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 오존의 농도를 500ppm에서 5000ppm으로 높인다하더라도 같은 결과를 나타내었다. 그림 2의 결과에서 알 수 있듯이 건조한 오존가스만을 이용할 경우에는 짧은 시간 내 포자를 사멸하는데 효과가 없으므로, 생물테러에 노출된 실내 공간을 제독하는 방법으로 적당하지 않다.



(a)



(b)

[그림 2] (a) 건조한 오존가스(상대습도 10% 미만)
(b) 높은 습도조건에서의 건조한 오존가스 (상대습도 95% 이상)

나. 습한 오존가스

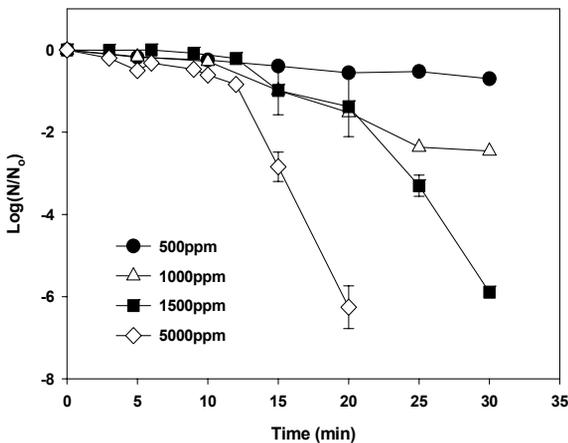
그림 3은 워터챔버를 통과한 습한 오존가스를 이용한 중요한 결과로써 두 가지 현상을 관찰 할 수 있었다.

첫째는 오존 농도가 높아짐에 따라서 불활성화의 효과는 더욱 증가하였는데 6log 불활성화를 기준으로 볼 때, 1500ppm의 습한 오존으로 처리 시 30분 정도의 시간이 소요된다.

두 번째는 오존 농도를 5000ppm까지 높인다고 하더라도 초기 10~15분 동안에는 사멸률이 매우 낮은 지연기(lag phase)가 존재하였다. 이는 건조된 바실

러스 포자의 불활성화를 달성하기 위해서 최소한 10분 이상의 노출시간이 필요함을 의미한다.

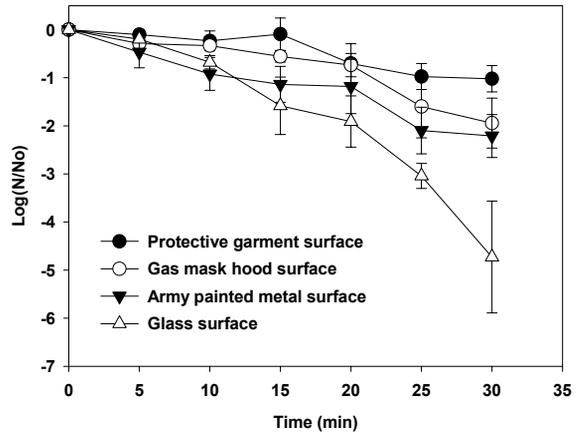
일부 연구자들은 초기에 발생하는 지연기를 최소화하기 위해서는 높은 상대습도를 유지한 반응기내에 장시간 시편을 보관하기도 하였다^[11,12]. 그러나 이러한 방법은 생물테러 후속조치라는 긴급한 상황에서 장시간의 전처리과정이 요구되므로 실질적인 제독방법으로는 적용하기 어렵다. 하지만 습한 오존으로 처리시에는 긴 전처리 과정을 생략할 수 있고, 단시간 내에 포자 사멸이 가능하므로 보다 실질적인 적용면에서 효과적이다.



[그림 3] 습한 오존가스 농도별 바실러스 포자의 불활성화(유리표면, 온도 : 22~25℃, 유량 : 0.4 ℓ/min)

다. 군용물품 표면에서 습한 오존효과

그림 4는 상대습도 95% 이상의 습한 오존 1500ppm에 의한 군용 물품 표면에서 포자 불활성화 결과이다. 사용된 표면 재질은 그림 5에서 보는 바와 같이 화생방 보호의 외피와 방독면 보호두건 그리고 군용 페인트 표면인데 표면 특성에 따라 불활성화의 효과가 서로 다를 수 있다. 3가지 군용물품의 표면에서 불활성화 효과는 조금씩 차이가 있었으며, 유리표면에 비해 상대적으로 낮은 불활성화의 효과가 관찰되었다. 이러한 결과의 가장 큰 원인으로서는 표면 거칠기와 표면의 화학적 특성과 관련된 것으로 생각된다.



[그림 4] 군용물품 표면에서 습한 오존가스에 의한 바실러스 포자의 불활성화(1500ppm 오존)



[그림 5] 군용물품(방독면, 보호의, 페인트 표면)

Aydogan 등(2006)은 두 종류의 카페트의 표면과 유리, 단단한 나무표면위에서 유사한 실험을 하였는데 표면의 특성에 따른 불활성화의 차이가 명백하게 나타난다고 하였다. 예를 들면, 나무표면에서의 바실러스 포자의 불활성화 속도가 가장 느렸고, 카페트의 종류 중 루프파일 카페트의 표면에서의 불활성화가 가장 빠르게 나타났다고 한다. 이러한 표면재질에 따라서 불활성화의 효과가 다른 이유에 대해서는 표면의 재질 특성 중 유기휘발물질의 영향과 표면의 굴곡에 의한 오존의 물질전달의 제한이라고 하였다. 즉, 느린 불활성화가 발생된 나무 표면에서는 오존과 반

응하는 휘발성 유기물질의 방출에 의해 오존이 표면에 도달하기 전 오존의 소모반응이 발생하여 효과가 저감된다는 것이며, 컷파일 카페트의 면에서는 표면의 불규칙한 굴곡 때문에 오존의 확산 효율이 저하되었기 때문이라고 하였다. 하지만 같은 카페트라 하더라도 루프파일 형태의 경우에는 오히려 유리표면에서 보다 더욱 빠른 불활성화가 관찰되었는데, 그 이유로서 카페트에서 발산되는 특정 화학물질과 오존과의 반응 즉, 오존과 불포화탄화수소가 반응하여 포름알데히드나 반응성이 높은 라디칼의 발생되거나 과산화수소와 같은 생성물에 의해서 시너지 효과가 발생되었기 때문이라고 분석하고 있다^[11]. 이러한 관점에서 볼 때, 군용 물품의 표면에서 발생하는 불활성화의 저감요인은 보호이나 방독면 보호두건의 방수 발포제 성분과 불규칙한 표면굴곡의 영향, 그리고 소수성 표면 특성의 원인으로 오존 확산이 제한되기 때문이라고 생각될 수 있겠다.

따라서, 오존을 이용하여 군사적인 목적의 제독을 위해서는 제독이 필요한 표면 특성에 따른 불활성화의 증감 원인에 대한 연구와 오존 농도, 대기 중의 상대 습도, 온도 등 오존의 효율을 조절하는 여러 가지 요소들에 대하여 종합적인 고려가 있어야 한다.

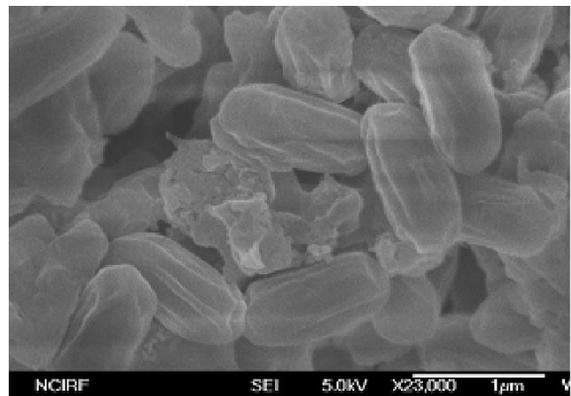
라. 불활성화 메커니즘

오존이 포자를 불활성화 시키는 메커니즘은 대부분 오존수를 이용하여 처리한 결과를 토대로 하고 있지만 불활성화에 대한 명확한 메커니즘은 아직 더 연구되어야 한다^[13]. 현재까지 알려진 바로는 오존의 강한 산화력으로 인해서 미생물의 단백질이나 아미노산이 산화되어 불활성화가 발생한다고 한다.

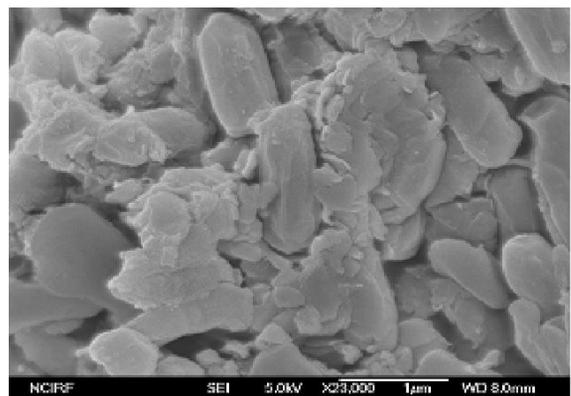
Bayliss 등(1976)은 오존이 포자를 둘러싸고 있는 여러 겹의 단단한 단백질 층을 파괴하여 포자 내부까지 용이하게 도달되기 때문에 불활성화가 발생한다고 하였다^[13]. 또한 건조된 포자를 오존가스로 처리시 있어서 높은 상대습도의 영향은 포자가 외부 생존에 불합리한 환경조건이 종료되었음을 감지하여 외부 자극을 좀 더 적극적으로 수용하려는 상태가 되며, 동시에 높은 상대습도 조건하에서 발생한 오존의 응축현상이 동시에 진행되어 빠른 불활성화가 일어난다고 하였다^[11].



(a)



(b)



(c)

[그림 6] 오존 처리 조건에 따른 바실러스 포자 형태 관찰 : (a) 오존 처리 전, (b) 1500ppm 건조 오존 30분 처리, (c) 1500ppm 습한 오존 30분 처리

그림 6은 상대습도 10% 이하의 건조한 오존과 상대습도 95% 이상 습한 오존으로 30분간 처리한 포자의 표면을 전자현미경으로 촬영한 사진이다. 사진 (a)는 오존 처리 전 건조된 시편위의 포자 사진이며, 표면이 매끄러운 형태를 유지하고 있다. 반면, (b)는 1500ppm의 건조한 오존가스로 30분간 처리하였을 경우에 나타나는 포자 표면인데, 일부 표면이 약간의 손상을 입은 것으로 보이나 대부분의 포자 표면은 초기의 형태를 유지하고 있다.

하지만 1500ppm의 습한 오존가스로 30분간 처리한 시편(c)는 형태를 알아보기 어려울 정도로 대부분 표면이 산화되고, 파괴된 현상을 확인 할 수 있다.

즉, 동일한 농도의 오존을 이용하더라도 가스상의 수분함량이 많았던 습한 오존가스의 영향이 포자를 파괴하는데 있어 더욱 강력한 효과를 나타냄을 알 수 있다. 이는 오존을 이용한 가스상의 소독시에 대기중의 상대습도를 높이는 것 보다 미세한 물분자와 혼합된 형태로 분사된 습한오존의 처리방식이 건조된 바실러스 포자의 표면에 쉽게 침투할 수 있고, 표면 및 내부를 산화시키기 용이하기 때문이다.

4. 결론

본 연구는 여러 표면에 건조된 바실러스 포자에 대하여 가스 상의 오존이 불활성화에 미치는 영향을 오존가스의 수분함량 특성에 따라서 살펴보았다. 오존 주입방식으로는 건조한 오존가스를 이용하는 방법과 건조한 오존가스에 상대습도가 높은 공기를 혼합 주입한 방법, 그리고 습한 오존가스를 이용한 방법을 사용하였다.

건조한 오존가스는 2시간동안의 노출에도 불활성화의 효과를 발견할 수 없었지만, 습한 오존가스를 주입할 경우에는 30분 이내에 6log 이상의 매우 큰 불활성화 효과를 관찰 할 수 있었다. 이것은 별도의 전처리과정 없이 곧바로 생물테러에 노출된 실내제독을 위한 방법으로 적용이 가능하며, 단시간 내에 탄저균과 같은 저항성이 강한 포자를 사멸시키는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 습한 오존가스를 이용하여 균용 물품의 표면을 제독시에는 표면의 물리적, 화학

적 특성에 따라 상대적으로 느린 불활성화 결과가 발견되었다. 각각의 오존 처리방식에서 포자 표면에 미치는 영향에 대한 결과는 전자현미경사진을 확인함으로써 알 수 있었으며, 습한 오존가스에 의한 포자 표면 파괴 효과가 매우 크게 나타났다.

가스를 이용하여 생물테러에 노출된 실내를 제독하는 방법에 관련된 국내의 군사적 교리나 구체적인 실험결과가 없기 때문에 습한오존과 다른 가스 제독법의 효과를 비교하기는 쉽지 않지만, 현재까지 사용되고 있는 수용액상의 제독방법을 보완해줄 수 있는 많은 장점을 지닌 제독방법이라 여겨진다.

오존을 이용하여 효율을 높일 수 있는 적절한 조건을 갖춘다면 공기 혹은 표면에 존재하는 고위험성 병원균, 저항성이 강한 병원성 미생물, 생물학적 테러에 의해 오염된 실내 환경을 단시간 내에 제독할 수 있는 효과적인 방법으로 이용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정우동, 문성민, 윤제용, “생물테러와 환경소독”, 대한환경공학회지, 제29권, 9호, pp. 1051~1059, 2007.
- [2] 이남택, “국제적 생물무기 위협실태 : 생물무기의 위협과 대응방향”, 한국 화생방 방어학회지, pp. 4~7, 2004.
- [3] 이재호, “북한의 대량살상무기 위협분석 및 대응방안 연구”, 석사학위 논문, pp. 40~43, 2003.
- [4] USEPA, “Building Decontamination Alternatives”, pp. 1~21, 2006.
- [5] R. J. Hawley, J. P. Kozlovac, “Decontamination : Biological Weapons Defense”, Humana Press Totowa, New Jersey, pp. 333~344, 2005.
- [6] R. P. Currier, D. J. Torracco, J. B. Cross, G. L. Wagner, P. D. Gladden and L. A. Vanderberg, “Deactivation of Clumped and Dirty Spores of *Bacillus globigii*”, Ozone Science & Engineering, Vol. 23, pp. 285~293, 2001.
- [7] 육군본부, “야전교범 37-5”, 화학부대, 2005.
- [8] A. D. Russell, “Bacterial Spores and Chemical

- Sporicidal Agents”, *Clinical Microbiology Reviews*, pp. 99~119, 1990.
- [9] Institute for Defense Analyses, “Decontaminating Civilian Facilities : Biological Agents and Toxins”, pp. 22~27, 1998.
- [10] R. G. Rice, “Ozone and Anthrax - Knowns and Unknowns”, *Ozone Science & Engineering*, Vol. 24, pp. 151~158, 2002.
- [11] Ahmet Aydogan, Mirat D. Gurol, “Application of Gaseous Ozone for Inactivation of *Bacillus subtilis* Spores”, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 56, pp. 179~185, 2006.
- [12] Kozo Ishizaki, Nariko Shinriki, Hidetoshi Matsuyama, “Inactivation of *Bacillus* spores by gaseous ozone”, *Journal of Applied Bacteriology*, Vol. 60, pp. 67~72, 1986.
- [13] M. A. Khadre, A. E. Yousef, “Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide : a comparative study”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 71, pp. 131~138, 2001.
- [14] 이승달, 양일우, 이남택, 정우영, 계영식, 김성일, 최돈성, 김동욱, “화학/생물학 작용제 특성 및 대응요령”, 육군사관학교, pp. 75~84, 2001.
- [15] 육군사관학교 화랑대 연구소, “화생무기테러 대응체계 개발”, pp. 8~9, 2003.
- [16] 육군교육사령부, “대화생방테러작전”, pp. 부록 6-2, 2003.
- [17] 질병관리본부, “생물테러대비 초동대응요원 교육”, pp. 12~17, 2005.
- [18] 질병관리본부, “생물테러대비 및 대응지침”, p. 71, 2004.
- [19] 최철순, “생물무기로 사용된 병원균과 질병에 대한 고찰”, *대한수의사회지*, 제38권, 9호, pp. 781~800, 2002.
- [20] E. A. Spotts Whitney, M. E. Beatty, T. H. Taylor, Jr., Robbin Weyant, Jeremy Sobel, Matthew J. Arduino, David A. Ashford, “Inactivation of *Bacillus anthracis* Spores”, *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 9, No. 6, pp. 623~627, 2003.