

일본, 말레이시아, 오만의 기록물에서 분리한 유해미생물에 대한 친환경 기록물 소독장비 효과검증

Effectiveness of an Environment-friendly Fumigator for Microorganisms that Can Cause Biological Damage to Records in Japan, Malaysia, and Oman

김민지 (Min Ji Kim)*, 이연숙 (Eon Sook Lee)**
최영남 (Young Nam Choi)***, 최영신 (Young Sin Choi)****

목 차

- | | |
|---------------------------|------------|
| 1. 서론 | 3. 소독효과 검증 |
| 2. 기록물에 존재하는 미생물의 분리 및 확인 | 4. 결론 |

<초록>

역사적 학술적으로 중요한 가치를 가지고 있는 고문서와 기록물들은 현재는 물론 후세에도 주요한 정보자원의 보고로서 대대로 후손에게 물려주어야 할 값진 문화유산이다. 그런 이유로 각종 고문서 등 기록물을 효율적으로 관리하기 위한 보존시설의 표준화와 서고 수장고의 보존환경에 대한 연구가 세계적으로 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 기록물의 종이, 접착제, 전분, 섬유 등의 화합물들은 곰팡이나 세균, 해충 등의 영양원으로 생물학적인 피해가 발생할 수밖에 없다. 이러한 생물학적 피해는 기록물 표면과 내부까지 번식하여 번·퇴색을 촉진하거나 값어치 먹어 복구마저 불가능한 경우도 발생하게 된다. 특히 중동의 오만과 말레이시아는 고온 다습한 기후로 인해 기록물이 생물학적 피해를 입기 쉬우며, 한번 피해를 입은 기록물들은 전이속도가 빠르고 광범위하여 소독작업은 일반화 된 실정이다. 하지만 그 동안 소독에 사용했던 MB(메틸브로마이드)와 ETO(에틸렌옥사이드)는 살충효과는 뛰어나나 살균효과는 미미하고, 오존층파괴문제와 1급 발암물질의 유독성문제 그리고 가죽이나 고무재질에 대한 재질약화 조래 등의 복합적인 문제로 친환경 소독방식의 필요성이 대두되었다. 주) 바이오미스트 테크놀로지는 1990년대 말부터 몬트리올협정에 따른 기존소독제의 사용금지 및 약제의 유독성으로 인한 작업자의 피해를 예방하기 위하여 질소와 식물추출성분 등을 이용하는 친환경 기록물 소독장비 개발에 성공한 이후 지속적인 성능개선을 통하여 장비의 질적 수준을 제고하였다. 본 실험에 사용한 장비는 대기압 이하로 소독 공간(챔버)을 유지하면서 자체 발생된 질소를 이용하여 챔버를 저 산소 환경으로 만든 후 천연 소독 약제를 챔버 내부에서 급속 기화시켜 소독하는 친환경 훈증소독 방식으로 기록물의 생물학적 피해를 근본적으로 예방하여 보존성 향상에 기여하고, 친환경 및 인체에 안전한 소독장비로서 향후 기록물의 생물학적 피해를 예방하는데 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

주제어: 친환경, 소독, 기록물, 미생물, 보존

<ABSTRACT>

Archives have historical and academic values. That is why the study of preservation conditions and the environment for the effective management of various records progress. However, materials such as paper and adhesives will inevitably cause biological damages. These damages spread into the inner side of archives, which would make it impossible to recover. For example, archival records from Malaysia and Oman are easily exposed to biological damage because of these countries' hot and humid climate. As such, once records are damaged, disinfection operations are customary in these areas. Methyl bromide (MeBr) and ethylene oxide (EtO) were used in the disinfection process as they showed good insecticidal effect. However their antibacterial effect are negligible. As such, the need for an environmental-friendly fumigator was evident. An environmental-friendly fumigator is designed to improve storage stability. Such equipment is expected to contribute to prevention of damages to cultural heritages through its use of vaporization technology, maintenance of a disinfection space (chamber), and self-generation of nitrogen.

Keywords: environmental-friendly, fumigation, records, microorganism

- * (주)바이오미스트테크놀로지(bmtkmj@biomist.co.kr) (제1저자)
- ** (주)바이오미스트테크놀로지(bmtles@biomist.co.kr) (공동저자)
- *** (주)바이오미스트테크놀로지(biomist@biomist.co.kr) (공동저자)
- **** (주)바이오미스트테크놀로지(bmtceo@biomist.co.kr) (공동저자)

- 접수일: 2015년 4월 30일 ■ 최초심사일: 2015년 5월 21일 ■ 게재확정일: 2015년 5월 27일
- 한국기록관리학회지 15(2), 165-179, 2015. <<http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2015.15.2.165>>

1. 서론

1.1 연구의 필요성과 목적

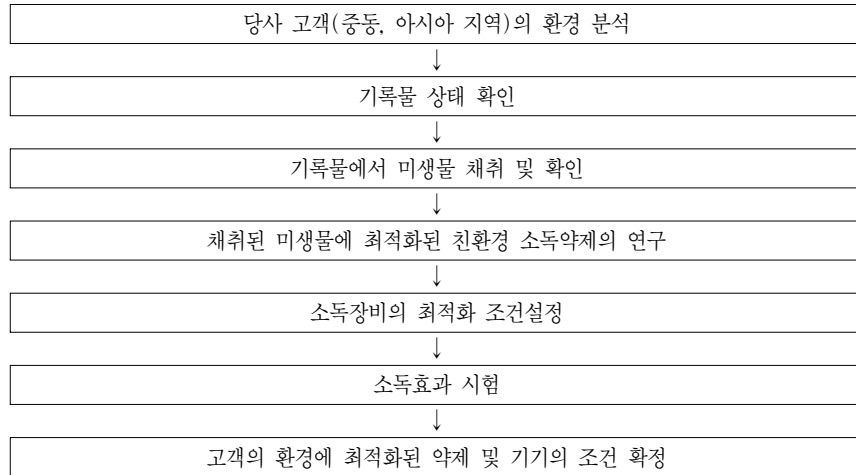
수천 년을 이어온 역사의 기록, 그 기록의 중요성과 소중함은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 기록물 훼손에 대한 분류를 보면 물리적, 화학적, 생물학적 훼손으로 나뉘는데, 그 중에서 생물학적 훼손은 한번 발생하면 그 피해가 기하급수적으로 확산되고, 차후 막대한 수선 및 복원비용을 초래할 뿐더러 복원자체가 불가능할 수도 있다. 종이 기록물의 생물학적 피해를 일으키는 미생물 중에는 곰팡이류와 해충이 상당 부분을 차지한다. 이들은 기록물에 있는 cellulose, starch 등을 서식지나 영양분으로 취하는 과정에서 재질의 변화와 전이로 인한 확산을 가져온다. 또한 포자를 형성하여 공기나 물체에 의해 이동하여 우리 환경 어느 곳에서든지 곰팡이의 포자가 존재할 수 있다. 이렇게 이동한 포자들은 온, 습도가 생장에 적절하면 포자에서 곰팡이로 생육을 하게 된다. 따라서 곰팡이 등과 같은 미생물에 의한 기록물의 피해를 제어하기 위하여 종전에는 인체에 치명적이며 환경 파괴물질인 메틸브로마이드(Methyl bromide, MB)와 함께 가연성, 폭발성 이 강하며 1급 발암물질인 에틸렌옥사이드(Ethylene oxide, ETO)를 혼합하여 사용해왔다. 이는 오존층파괴와 직접적인 관련이 있는 물질로 밝혀지면서 97 몬트리올협정에 의거 검역 및 선적전처리용도 외에는 2015년까지 생산과 소비를 전폐기로 합의함으로써 사용량이 줄어들고 있다. 동 협정에 따라 전 세계적으로 식물추출물이나 질소 등을 이용한 소독방법 등 친환경 소독에 관한 연구가

활발히 진행되고 있다.

지금까지 국내에서는 생물학적 피해를 입은 해외 기록물에서 미생물을 직접 분리하여 미생물의 종류나 소독효과를 확인한 사례가 없었고, 2000년대 초부터 국내에서 개발이 시작된 친환경 소독장비 역시 국내 기록물 보존기관에서 분리한 미생물을 대상으로 효과검증을 해왔다. 특히 중동지역과 말레이시아는 국내와 온, 습도의 차이가 크고 고온다습한 기후조건으로 미생물에 의한 피해사례가 많으나, 한국과 달리 기록물 최적보존 기준이 제정되지 않은 상태로 보존방법이나 시설규정 등에 대한 명확한 기준이 없는 실정이다. 따라서 소독이 불가피할 경우 MB+EO 약제를 이용하여 작업을 해왔으며 약제의 유독성 때문에 작업을 꺼리는 경우가 많은 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 중동 및 일부 아시아 지역에서 기록물의 생물학적 피해를 일으키는 미생물을 직접 채취한 후 기존의 스프레이방식에서 진일보한 기화방식(fumigation)을 도입한 친환경 기록물 소독장비를 사용하여 기록물 장기보존을 위한 살균, 살충 소독효과 고찰을 연구 목적으로 한다.

1.2 연구의 개요

〈그림 1〉에서와 같이 당사는 일본과 중동의 대학도서관 및 국가기록원 등을 방문하여 보존서고의 환경을 확인하고 곰팡이와 해충으로 인한 생물학적 피해 정도가 가장 심한 기록물에서 직접 가해미생물을 분리하였다. 분리한 미생물은 배양 후 형태학적, 생물학적 분석을 통해 미생물의 종을 최종 확인한 다음, 최종 업그레이드된 급속기화방식의 친환경 소독장비를 이용



〈그림 1〉 연구의 전반적인 진행과정

하여 기존 연구결과를 바탕으로 장비의 조건들을 설정한 다음 시료를 챔버에 넣고 소독한 후 그 결과를 바탕으로 최적화된 약제 및 장비의 각종 설정 조건들을 확정하고자 한다. 따라서 본 연구는 〈그림 1〉의 전반적인 진행과정을 따라 일본, 말레이시아, 오만에서 채취한 미생물에 대하여 본사에서 제작된 기화방식을 채택한 소독장비의 효과시험을 확인하였다.

1.3 연구의 배경

기록물의 물리적 상태평가 및 지속적인 점검을 통해 기록물의 보존성을 연장하기 위한 방법을 결정하여 기록물을 보다 안전하고 본연의 상태로의 보존을 위해 기록물의 상태평가는 보존기관의 중요한 업무 중의 하나이다. 기록물은 훼손에 따라 3개의 등급으로 나뉘지는데, 종이의 외양상 변화가 거의 없고 내용을 판독하는데 지장이 없는 온전한 상태가 1등급이고, 종이의 파손과 변색이 있거나 잉크의 탈색, 변색이 부

분적으로 있으나 기록내용의 판독에는 지장이 없는 상태가 2등급이다. 마지막 3등급은 기록내용이 포함된 부분의 훼손, 변색과 건조 또는 침수, 곰팡이의 확산, 잉크의 탈색 및 변색 등으로 내용의 판독에 상당한 지장을 초래하는 상태를 말한다. 이러한 기록물 훼손의 원인 중 하나가 미생물이나 해충으로 인한 생물학적 훼손이며 친환경소독 약제와 장비를 통해 이러한 기록물의 피해 및 훼손을 예방하여 기록물의 보존성을 높이기 위함이다. 기록물에서 주로 검출된 미생물은 종이의 주 성분인 cellulose, hemicellulose, lignin 등의 물질을 분해하고 종이 표면에 색소 침착 및 악취의 발생으로 기록물의 보존에 커다란 문제점을 유발시킨다(황석연, 2001). 뿐만 아니라 산성지를 사용하는 여러 기록물들이나 자기기록매체의 경우 디스크 드라이브의 헤드를 오염시켜 전기 전도도를 변화시킴으로써 기록매체로서의 기능을 상실시킨다. 또한, 인체의 호흡기 질환과 색소를 발생시켜 피부질환을 유발할 수 있다.

따라서 친환경 소독장비는 인체와 환경에 무해해야 하며 약제의 잔류성이 없어야 하고 소독 후 종이 기록물에 대한 내열강도, 인열강도, 백색도, pH 등의 물성변화를 유발하지 않아야 한다. 또한 약제가 챔버 내부의 피소독물과 직접 접촉하여 젖거나 잉크 번짐 등의 현상이 발생하지 않는 기체상태로 투입되어야 하며 피소독물의 상태에 따라 온도나 압력 산소농도 소독시간 배기시간 등을 사용자가 직접 설정하여 운용할 수 있어야 한다.

2. 기록물에 존재하는 미생물의 분리 및 확인

2.1 환경 분석 및 시험방법

본 연구에서는 중동, 아시아 지역 중 고온 다습한 지역으로 소독의 필요성이 높은 동시에 당사의 주거래 국가로서 원활한 업무협조가 가능할 뿐만 아니라 해당기관의 미생물 전문가들과의 긴밀한 업무 협조가 가능한 지역으로 압축하였다. 이러한 기준에 따라 일본의 케이오 대학과 타이쇼 대학, 쓰루미 대학 도서관, 말레이시아 국가기록원과 독립기념관, 오만의 국가기록원을 선정하였고 현지를 방문하여 현지 기록물의 상태를 확인하고, 각각의 서고에 보관되어 있는 기록물중 가장 피해가 심각하다고 판단된 도서와 기록물에서 가해미생물을 채취하여 연구에 사용하였다. <그림 2>는 일본과 오만의 국가기록원에 있는 생물학적 피해를 입은 기록물들의 모습이다. 기록물들은 미생물로 인한 재질의 변화와 변색, 해충으로 인한 손상 등으로 그

형태를 알아 볼 수 없는 것들도 확인할 수 있다.

미생물들은 온, 습도의 변화에 민감하게 반응하는데, 세 나라는 국내의 기후와는 다른 양상을 보인다. 먼저 일본 동경은 우리나라 서울과 비슷한 날씨를 보이지만 온난 습윤의 기후로 여름은 덥고 습하여 평균 온도는 28℃, 습도가 60~78%로 매우 습하며 우기는 6~9월이다. 겨울은 영하를 조금 웃도는 정도로 서울보다 5℃ 이상 포근하며 비교적 온화하다. 말레이시아는 열대지역에 속하며 연중 고온 다습한 편이다. 연평균 기온이 섭씨 21~32℃, 습도는 63~80%이고, 우기는 대체로 11~3월 사이에 나타나며 거의 매일 스콜성 강우가 내린다. 1년 중 최저 기온은 25℃, 최고 기온은 34℃ 정도 수준이며 최저 기온과 최고 기온 차이가 9~12℃ 전후여서 낮에는 30℃를 웃돌다가도 저녁과 밤에는 선선한 기운을 느낄 수 있다. 오만은 지역에 따라 다양한 기후 특성을 보이는데, 해안지역은 습기가 많고 매우 더운 날씨로 우기가 별로 없고 연중 강우일은 극히 적어 비는 단시간 동안 폭우를 동반하는 경향이 있다. 여름은 3월에 시작하여 9월까지 지속되고, 낮 동안의 기온은 섭씨 46℃까지 올라가며 습도는 60~80%로 강한 습기를 느끼며 강풍을 동반한 모래폭풍이 자주 분다. 10월부터 2월까지의 겨울은 여름보다는 훨씬 선선함을 느낄 수 있다. 그러나 내륙지역은 전형적인 사막성 기후로 연중 고온건조하다. 수도 무스카트는 해안지역으로 세계에서 가장 더운 지역 중 하나로 여름기온은 5~10월 까지 37℃ 이상 되며, 겨울기온은 평균 17℃ 정도로 1월에는 11℃까지 떨어진다.

3개 국가의 서고에서 채취한 미생물을 Potato Dextrose Agar(PDA) 배지에 접종하여 28℃



〈그림 2〉 일본(위)과 오만(아래)의 생물학적 피해를 입은 기록물들

incubator에서 3~5일 배양 후 각 샘플을 순수 배양 하여 형태학적, 생물학적 특성에 따라 분리 및 동정하였다. 확인된 각 미생물들은 살균력과 소독효과를 확인하기 위하여 본 연구의 샘플 시료로 사용하였다.

기록물 소독장비는 스프레이방식이 아닌 최근 업그레이드 된 급속기화방식을 채택하였고 약제의 침투력을 높이기 위한 챔버 감압장치와 저 산소환경을 조성하기 위해 질소발생장치를 내장하였으며 챔버 내부에 사각지대 해소를 위해 약제 순환구조를 갖춘 후 식물성분의 1회용 소독 약제를 챔버 내부에 장착하여 각 국가 서고에서 분리한 곰팡이 시료를 이용하여 소독효

과를 검증하였다.

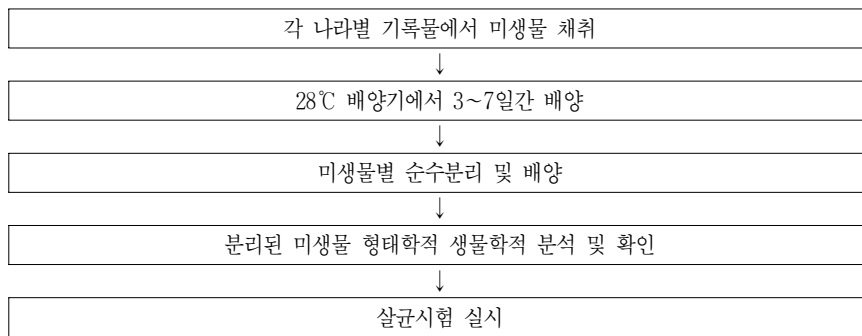
기존 스프레이 방식 소독 장비의 경우 노즐의 특성상 입자크기를 조절하는데 한계가 있을 수밖에 없어 침투력이 약할 뿐만 아니라 오작동 및 노즐 막힘 현상 등으로 약제가 기록물에 직접 접촉되어 잉크 번짐 등의 피해 우려가 상존하므로 이를 해소하기 위해 그동안 지속적인 연구개발을 통하여 가장 업그레이드된 급속기화방식의 장비로 효과를 검증하였고, 다만 해충은 각 국가 별로 서고에서 확보할 수 없어 일반적으로 해충 실험에 사용되는 *Sitophilus oryza L.*(쌀 바구미)를 사용하였다.

2.2 미생물의 채취 및 분리 배양

생물학적 피해를 입은 기록물에서 가해 미생물을 채취하기 위하여 PDA 배지에 <그림 4>에 서와 같이 피해 기록물의 표면에서 멸균된 면봉을 이용하여 미생물을 채취하고, 28℃의 온도조

건에서 3~7일간 배양하면서 순수분리 하였다 (<그림 5> 참조). 말레이시아와 일본의 각 3개 대학과 오만 국가기록원의 기록물에서 분리된 미생물을 배양학적, 형태학적 그리고 생물학적 특성에 따라 분석 및 확인하였다.

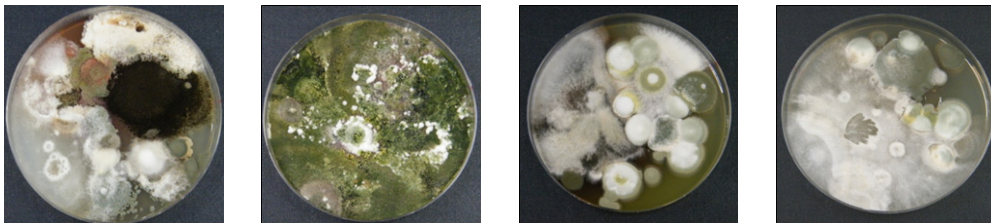
<표 1>은 일본과 말레이시아, 오만의 기록물



<그림 3> 기록물에 존재하는 미생물의 분리 및 확인과정



<그림 4> 기록물에서 미생물 채취



<그림 5> 기록물에서 채취하여 배양된 미생물

〈표 1〉 일본, 말레이시아, 오만의 기록물에서 분리된 미생물 결과

| | |
|------------------|------------------------------|
| 일본 기록물 분리 미생물 | <i>Aspergillus niger</i> |
| | <i>Aspergillus sp</i> |
| | <i>Aspergillus clavatus</i> |
| | <i>Penicillium sp</i> |
| | <i>Cladosporium sp</i> |
| | <i>Phoma sp</i> |
| | <i>Mucor sp</i> |
| 말레이시아 기록물 분리 미생물 | <i>Aspergillus niger</i> |
| | <i>Penicillium sp</i> |
| | <i>Cladosporium sp</i> |
| | <i>Humicola sp</i> |
| | <i>Non-sporulation fungi</i> |
| 오만 기록물에서 분리 미생물 | <i>Aspergillus niger</i> |
| | <i>Aspergillus sp</i> |
| | <i>Aspergillus flavus</i> |
| | <i>Trichonomas harzianum</i> |
| | <i>Penicillium sp</i> |
| | <i>Byssochlamys sp</i> |

에서 분리된 미생물의 결과로 *Aspergillus*종, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium*종, *Cladosporium*종, *Phoma*종, *Mucor*종, *Humicola*종, 그리고 국내에서 발견되지 않은 *Byssochlamys*종과 *Non-sporulation fungi*가 발견되었다. 이것들은 세계 각지의 토양에 분포되어 있으며, 이들은 거의 공통적으로 각종 알레르기성 질환을 유발하고 심할 경우 호흡기 천식을 일으키며, 기록물 표면에 색소를 형성하여 변색과 재질의 경화를 일으킨다.

일본, 말레이시아, 오만에서 분리된 미생물 중 국내에서도 주로 발견되는 *Aspergillus*종이 공통적으로 발견되었다. 이 종은 서고 및 수장고의 기록물에서 발견되는 대표적인 곰팡이 중 하나로, 실내 공기 중에 부유하고 있으며 곰팡

이 독을 생성하여 인체에 큰 해를 입힐 수 있다. 이 중 *Aspergillus niger*는 검은 곰팡이로 검은 반점으로 나타나며 폐암을 일으키고, *Aspergillus flavus*는 간암을 유발한다. *Penicillium*종은 대표적인 부유곰팡이로 알레르기의 원인이 되고, *Cladosporium*종과 *Phouma*종 또한 호흡기 계통에 알레르기 반응을 일으킨다. *Mucor*종은 털곰팡이로 토양 중에 널리 분포하고, 유기물에 의해 번식하고, *Trichoderma harzianum*는 종이나 섬유뿐 아니라 고습식품과 같은 공업제품에 발생하는 곰팡이로 면역 저하자에게 기회감염을 일으킨다고 알려져 있으며, *Byssochlamys*종은 열에 손상되지 않는 내열성 포자를 가지고 있다.

3. 소독효과 검증

기록물 보존에 있어서 영향을 주는 요인은 온도와 습도, 미생물, 유해기체 등이 있으며 온, 습도가 높으면 곰팡이와 해충이 생겨나기 쉽기 때문에 대부분의 서고에서는 온, 습도의 유지관리가 매우 중요하다. 또한 외부 환경에 장기간 노출된 기록물들이 다시 서고로 입고될 때에는 여러 유해 요소들이 함께 입고되어 서고 및 다른 기록물들에 피해를 입히게 되므로 서고에 입고하기 전 반드시 소독이 필요하다. 아울러 소독에 필요한 소독장비와 약제는 소독효과는 물론 가속열화시험을 통한 기록물 재질에 대한 안전성, 인체 및 환경에 대한 무독성 등이 검증된 것이어야 한다.

3.1 소독 약제

식물 추출물인 정유(essential oil)는 휘발성 기름으로 방향유라고도 불리며, 각각 독특한 향기를 가지고 있다. 최근에는 이러한 정유의 강한 살균력 및 방부력으로 살균제로서의 이용에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 살충과 곰팡이류의 성장을 억제하는 등의 효과는 외국은 물론 국내에서도 이미 여러 차례 발표된 바 있다(조미희, 2005; Shin et al., 2012). 정유로 만들어진 살균제들은 미생물의 오염과 성장을 억제하는 살진균 물질로 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 살균작용에 대한 기작은 모두 밝혀지지 않았지만 Cristiane de Bona da Silva(2008), Hammer(1999), 조미희(2005)와 Somolinos(2009)는 일부 식물정유로 만들어진 살균제는 미생물의 세포벽 및 세포막의 기능을

약화시키고, 일부는 세포의 대사 작용에 관여하여 성장 기작을 억제하며, 세포 소기관의 변화를 일으킨다고 확인했다. 또한 화학약제와는 대조적으로 독성이 없는 천연 유기 혼합물로서 환경 친화적인 안전한 화합물로 보고되고 있다.

본 연구에 사용된 소독약제인 식물정유 조성물은 단일 정유 성분에 비해 넓은 스펙트럼을 가지며 동시에 탁월한 살균 및 살충활성을 나타낸다. 특히 기록물 및 문화재를 훼손시키는 미생물 및 해충에 대해 탁월한 효과를 나타내고, 인체에 무해할 뿐만 아니라 잔류 독성이 없어 기록물 및 문화재 보존용 친환경 소독제의 유효성분으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 국내의 기록물에 피해를 입히는 미생물에 대한 소독효과가 이미 검증된 약제를 이용하여 소독효과를 검증하였다.

3.2 소독 조건

소독장비의 용량은 기본적으로 기록물을 보존, 관리하는 기관이 보관중인 기록물의 종류나 수량에 따라 소독주기를 계산하여 선택한다. <그림 6>의 왼쪽에 있는 장비는 본 연구에 사용된 소독장비(BM-60AC)로 챔버 부피는 570(W) × 570(D) × 870(H)(mm)로 약 0.3m³이며 A4 사이즈 200매 기준의 기록물을 최대 60권 소독할 수 있는 장비이고, <그림 6>의 오른쪽에 있는 소독장비는 BM-150AC 모델로 A4 사이즈 200매 기준의 기록물을 최대 150권 소독할 수 있는 장비로 챔버 부피는 0.8m³이며 현재 오만의 국가기록원에서 사용 중이다. 또한 이전(조이형, 2001)에 개발된 액상약제의 스프



〈그림 6〉 친환경 기록물 소독장비(BM-60AC와 BM-150AC)

레이 방식이 아닌 급속기화방식을 선택한 최초의 시도였다. 이전의 스프레이 방식은 입자크기 문제로 소독약제가 기록물 내부로의 침투가 미흡한 단점과 장비 오작동시 피해(피소독물의 젖음 현상 등)가 우려되는 문제점이 있었지만, 새로이 개발된 기화(Fumigation) 방식은 기록물 재질에 대하여 영향을 주지 않는 것은 물론 기록물 속으로의 약제침투가 용이하고 보다 균일한 소독효과를 얻을 수 있다. 아울러 감압과 질소로 인한 저 산소 환경을 통해 호기성 미생물 및 해충에 대한 시너지효과를 얻을 수 있는 환경조절방식의 소독장비 역할을 하게 된다. 김기현(2007)과 조이형(2001)에서 본 장비와 천연 소독약제에 대한 재질의 안전성, 열화도, 무독성 및 무 잔류성에 대한 검증에서 문제가 없음을 알 수 있었으며 일본 시험기관의 시험에서도 화지 및 금속시험에서도 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

챔버 온도는 35℃로 이미 재질에 대한 안전

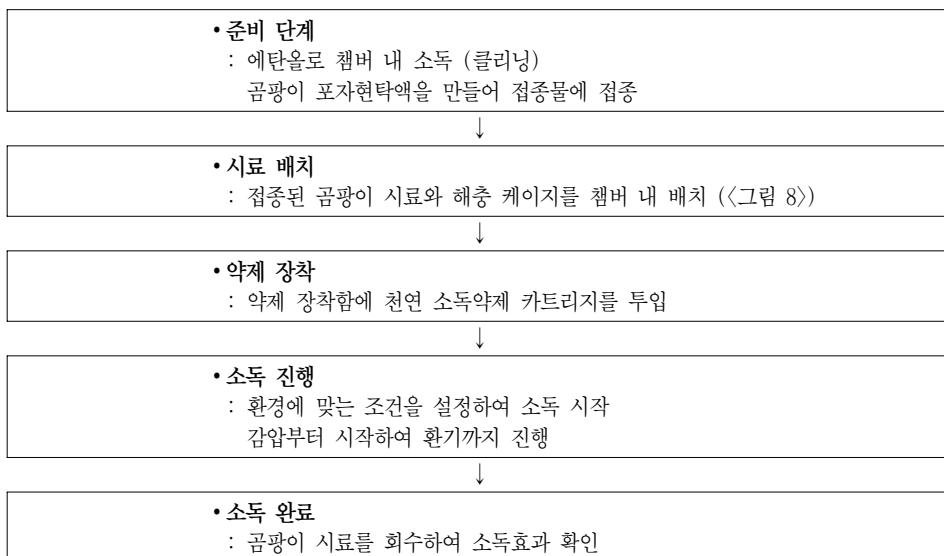
성이 검증된 조건으로 설정하며 소독시간이나 챔버 온도 등 모든 장비의 조건은 기록물의 종류나 피해정도 및 사용기관의 요구환경에 따라 최적 설정이 가능하다. 본 연구에서는 기록물과 시료를 함께 적재하고 시험할 경우 기록물의 재질이나 오염도, 적재수량 등에 따라 발생할 수 있는 시험의 오차 변수를 차단하여 재현성과 신뢰성을 확보하기 위하여 소독대상물인 기록물 적재 없이 시료만으로 시험하였다. 시료만으로 시험하는 방법은 약효시험을 확인하는 일반적인 시험방법으로 관련 학계나 시험기관 등에서는 보편화된 시험방법이며, 식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준 (2013. 4. 5. 식품의약품안전처 고시 제2013- 13호) 별표3에서도 '기구 등의 살균·소독제 추출 자료의 범위 및 작성요령'의 경우 비록 해당 살균·소독제의 용도 내지 목적이 기구 등의 살균 소독에 있다고 하더라도 시료와 소독의 대상물을 함께 넣고 약제의 소독효과를 시험하도록 하지 않는 것과 같다.

〈그림 7〉은 소독 작업에 대한 순서로 먼저 에탄올로 챔버 내부를 깨끗하게 소독 한 후 만들어 놓은 샘플 곰팡이 시료와 해충 케이지를 〈그림 8〉과 같이 챔버 내 상·하에 넣고 약제 장착함에 천연 소독약제 카트리지를 투입한다. 35℃의 온도조건에서 평균 22시간 소독 후 결과를 확인하였으며, 소독 시간이 길수록 챔버 내 소독 약제와 유해미생물의 접촉시간이 길어져 소독효과가 증가함을 본 연구와 외국시험기관의 시험결과에서 확인하였다.

3.3 살균효과 확인

먼저 멸균된 접종물(Carrier)에 $1 \times 10^{4-5}$ CFU/mL로 준비된 포자 현탁액 20μl를 무균적으로 접종하고 친환경소독장비 BM-60AC 챔버 내부의 위치에 접종물을 올려놓은 후, 약제 장착함에 약제 카트리지를 장착하고 22시간

동안 작동한다. 작동 후, 시료로 처리된 접종물을 20mL의 생리식염수가 들어있는 튜브에 무균 적으로 옮겨 넣은 다음, 접종된 공시균을 추출하기 위하여 Vortex mixer로 vortexing을 통해 균을 추출한다. 이때, 동일한 과정을 통하여 접종된 대조군 접종물을 준비하고 시료에 대한 조작 없이 상온에서 22시간 동안 방치한 후 위와 동일한 방법으로 추출하여 초기 접종 농도를 측정한다. 추출 용액을 시험용액으로 사용하여 10배 희석법으로 희석하고, 각 단계 희석액 1ml을 Petri Dish에 옮겨놓은 후, 미리 멸균시킨 PDA 배지를 분주하여 검액과 배지가 잘 혼합 되도록 흔들어 준다. 배지가 응고되면 $28 \pm 2^\circ\text{C}$ 배양기에서 3~5일 동안 배양한다. 배지에서 균이 증식한 경우, 배지상의 균수에 희석배수를 곱하여 산출하였으며, 배지에서 균이 증식하지 않을 경우는 추출단계에서 이루어진 희석배수를 곱하여 [$< 10^1$ CFU/Carrier]로 표시한다.



〈그림 7〉 기록물 소독장비의 작업공정에 따른 조건 설정 순서



〈그림 8〉 소독시험 시 챔버 내 곰팡이시료(좌)와 해충케이지(우)의 배치

22시간 소독을 실시한 결과, 각 나라별 곰팡이 샘플은 모두 99% 이상의 살균효과를 나타내었다. 소독시간을 늘려 40시간 이상 소독을 실시

하면 99.99%의 살균효과를 확인할 수 있었다 (〈표 2〉, 〈표 3〉, 〈표 4〉 참조). 이것으로 국내에서 개발된 친환경 기록물 소독장비 및 약제가

〈표 2〉 소독 시간에 따른 일본 시험 곰팡이의 살균력

| | 일본 시험 곰팡이 살균력 (%) | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| | <i>A.niger</i> | <i>A.sp</i> | <i>A.clavatus</i> | <i>Penicillium.sp</i> | <i>Cladosporium.sp</i> | <i>Phoma.sp</i> |
| 대조구 (CFU/carrier) | 2×10^5 | 1.9×10^4 | 2×10^5 | 5×10^4 | 1.2×10^5 | 1.5×10^5 |
| 22h 소독 후 | 99.45 | 99.8 | 99.54 | 99.98 | 99.72 | 99.63 |
| 44h 소독 후 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 |

〈표 3〉 소독 시간에 따른 말레이시아 시험 곰팡이의 살균력

| | 말레이시아 시험 곰팡이 살균력 (%) | | | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|
| | <i>A.niger</i> | <i>Penicillium.sp</i> | <i>Cladosporium.sp</i> | <i>Humicola.sp</i> | <i>Non-sporulation fungi</i> |
| 대조구 (CFU/carrier) | 2×10^5 | 5×10^4 | 1.2×10^5 | 2.1×10^5 | 7×10^4 |
| 22h 소독 후 | 99.45 | 99.98 | 99.72 | 99.49 | 99.7 |
| 44h 소독 후 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 |

〈표 4〉 소독 시간에 따른 오만 시험 곰팡이의 살균력

| | 오만 시험 곰팡이 살균력 (%) | | | | | |
|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| | <i>A.niger</i> | <i>A.sp</i> | <i>A.flavus</i> | <i>T.harzianum</i> | <i>Penicillium.sp</i> | <i>Byssochlamys.sp</i> |
| 대조군 (CFU/carrier) | 2×10 ⁵ | 1.9×10 ⁴ | 1.7×10 ⁵ | 1.1×10 ⁵ | 5×10 ⁴ | 1×10 ⁴ |
| 22h 소독 후 | 99.45 | 99.8 | 99.66 | 99.97 | 99.98 | 99.5 |
| 44h 소독 후 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 | 99.99 |

위 3개 국가에서 분리한 곰팡이에 대해서도 우수한 소독효과를 확인하였고, 챔버 내에서 천연 소독제와 곰팡이가 접촉하는 소독시간이 늘어날수록 그 효과는 증가하는 것을 알 수 있었다.

3.4 살충효과 확인

살충효과 시험 확인에 사용된 해충은 현지에서 수집할 수 없어 공시충으로 알려져 사용되고 있는 *Sitophilus oryza L.* 1종류를 사용하였다. *Sitophilus oryza L.*는 기록물의 구조를 변경하고 변형시키는 등의 훼손을 일으켜 이를 억제하기 위해 많은 살충제가 개발되고 있다. 시험에 사용하기 위하여 먼저 현미를 먹이로 28 ± 2°C, 70 ± 5%의 환경에서 사육 후, 케이지 속에 먹이와 공시충 20마리씩 옮겨 넣는다. 시험조건에 따라 친환경소독장비 BM-60AC 챔버 내부의 위치에 케이지를 올려놓은 후, 약제 장착함에 약제 카트리지를 장착하고 22시간 동안 작동한다. 소독이 끝난 후 케이지를 꺼내 소독완료 후 2시간이 경과한 후에 움직임을 관찰한다. 시험군에서 사멸한 개체의 수를 확인하여 살충율을 계산한다.

그 결과, *Sitophilus oryza L.* 대조군 생존 개체 수 평균값이 '20'마리에서 22시간 작동 후 생존 개체 수 평균값이 '0'마리로 나타났고, 40시

간 이상 작동 후에도 생존 개체 수는 '0'마리로 확인되었다. 따라서 공시충 *Sitophilus oryza L.*에 대한 천연약제와 기록물 소독장비의 22시간 이상 작동 시 100%의 살충력을 나타내었다 (〈표 5〉 참조).

〈표 5〉 소독 시간에 따른 해충의 생존 개체 수

| | 대조군 | 22시간 작동 후 | 44시간 작동 후 |
|-----------------|-----|--------------|--------------|
| 상층 생존 개체 수 (마리) | 20 | 0 | 0 |
| 하층 생존 개체 수 (마리) | 20 | 0 | 0 |
| 살충 감소율 (%) | - | 100 | 100 |

4. 결 론

본 연구에서 사용한 일본과 말레이시아, 오만의 기록물에서 채취한 미생물들은 곰팡이류로 산성조건과 탄수화물을 특히 선호하여 종이 자료에 많이 발생되어 종이 재료인 중요 기록물들의 생물학적 손상을 입혀 그 피해가 확산되고 한번 피해를 입을 경우 복원이 거의 불가능하기 때문에 이에 대한 예방대책이 절실히 요구되는 실정이다. 따라서 이러한 기록물들의 피해 및 훼손을 예방하기 위하여 먼저 일본과 말레이시아의 대학 기록물과 오만 국가기록원의 기록물에서 채취한 미생물의 형태학적, 배양학적 및

생리학적 특성을 조사한 결과, 기후조건이 국내와는 다른 다습한 지역이기 때문에 이전의 기록물에서 발견되지 않았던 미생물도 확인하였다. 그 후 국내에서 소독효과가 이미 확인된 천연 소독약제와 기화방식을 채택한 소독장비 BM-60AC를 이용하여 샘플 미생물의 살균력을 평가하였고, 이들은 모두 소독시간 22시간 후 99% 이상의 살균력을 나타냈으며, 44시간 후에는 99.99%의 살균력을 확인하였다. 이것으로 천연 소독약제와 소독장비는 국내 기록물에 피해를 입히는 미생물은 물론 기후조건이 다른 나라에서 발견된 미생물에도 소독효과가 뛰어난 것을 확인하였고, 소독 시간이 길어질수록 소독약제와 미생물의 접촉 시간도 길어지므로 소독 효과가 증가함을 알 수 있었다.

친환경 소독장비 개발이전에 사용되어 왔던 MB와 ETO 혼합가스의 소독장비는 약제의 인체위험성 때문에 그 농도를 최대 $100\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘지 않는 것이 바람직하다고 알려져 있으며 실제 작업은 $35\sim 60\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 많이 수행되었다(민경희, 1996). 하지만 민경희(1996)와 조이형(2001) 등은 $50\text{g}/\text{m}^3$ 농도에서 살충 효과는 있었지만 살균효과는 없다는 것을 확인하였고, $100\text{g}/\text{m}^3$ 72시간 이상, $120\text{g}/\text{m}^3$ 24시간 이상 훈증해야만 기록물에 존재하는 모든 미생물들

에 대하여 살균효과가 있다고 보고되었다. 이렇듯 장시간 고농도의 MB와 ETO 혼합가스로 훈증을 한다면 기록물의 자체훼손 가능성이 크고, 오존층 파괴물질이기 때문에 환경오염 문제와 인체 유독성으로 작업을 꺼리는 경향이 많았다.

본 장비에 적용된 소독방식은 챔버 온도 설정을 비롯하여 감압도, 산소농도, 소독시간, 환기시간 등을 기록물의 상태나 운용기관의 요구환경에 따라 설정할 수 있도록 설계된 환경조절방식의 소독장비로서 국내는 물론 외국의 전문시험기관으로부터도 소독효과검증과 종이재질에 대한 안전성 및 금속재질에 대한 안전성이 검증되었다. 아울러 일반적이지 않은 특별한 생물학적 피해(특정 해충이나 곰팡이 피해)의 목적에 부합하는 맞춤형 약제의 개발도 가능하다. 현재 국내 주요기관은 물론 일본의 국립도서관과 동경 서고를 비롯하여 말레이시아 국가기록원, 오만의 국가기록원, 유럽의 대학도서관 등에 공급되어 해외의 중요기록물들에 대한 생물학적 피해예방에도 기여하고 있다. 따라서 천연 소독약제와 친환경 소독장비가 보다 널리 상용화되어 세계적으로 다양한 기관에서 중요 기록물들을 안전하게 보존하는데 본 연구가 일조하기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 김기현 (2007). 기록물의 생물학적 열화방지를 위한 친환경 소형소독장비(BM-30AC BM-60AC)의 개발 및 연구. 한국기록관리협회, 11, 27-35.
- 김기현, 김경태, 최영남, 박희창, 이성휘 (2008). 기록물 및 서고환경에 생물학적 예방을 위한 천연소독

- 약제 개발. 한국펄프종이공학회 학술발표논문집, 271-275.
- 김민지 (2010). 감압소독에 따른 천연약제의 항균 효과와 지류의 열화 평가. 석사학위논문. 공주대학교 대학원, 문화재보존과학.
- 민경희 (1996). 박물관내 전시 및 수장유물의 보존환경 (대기요인을 고려한 생물학적 환경) 기준연구. 서울: 문화체육부.
- 이헌준 (2014). 곰팡이 도감. 서울: 학술정보센터.
- 조미희, 배은경, 허상도, 박지용 (2005). 천연항균제의 식품산업에의 응용. 식품과학과 산업, 38(2), 36-45.
- 조이형, 신종순, 윤대현 (2001). 기록물에서 분리된 미생물에 대한 훈증소독의 효능검증과 독성조사. 한국기록관리학회지, 1(1), 231-243.
- 조이형, 이귀복 (2001). 기록물의 생물학적 열화방지 방법 개선연구. 기록보존, 14, 139-159.
- 황석연, 김기현, 성장근, 김영권 (2001). 서고에서 분리한 곰팡이의 특성. 임상병리검사과학회지, 33(2), 44-50.
- Cristiane de Bona da Silva, Sílvia S. Guterres, Vanessa Weisheimer, & Elfrides E.S.Schapoval (2008). Antifungal Activity of the Lemongrass Oil and Citral Against *Candida* spp. The Brazilian Journal of Infectious Disease, 12(1), 63-66.
- Hammer, K.A., Carson, C.F., & Riley, T.V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. Journal of Applied Microbiology, 86(6), 985-990.
- Shin, Yu-Hyeon, Kim, Hyun-Jung, Lee, Jin-Young, Cho, Young-Je, & An, Bong-Jeun (2012). Major Compound Analysis and Assessment of Natural Essential Oil on Anti-Oxidative and Anti-Microbial Effects. 생명과학회지, 22(10), 1344-1351.
- Somolinos, M., Garca, D., Condon, S., Mackey, B., & Pagan, R. (2010). Inactivation of *Escherichia coli* by citral. Journal of Applied Microbiology, 108(6), 1928-1939.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04597.x>

• 국문 참고자료의 영어 표기

(English translation / romanization of references originally written in Korean)

- Hwang, Seock-Yeon, Kim, Kee-Hyun, Sung, Chang-Keun, Kim, & Young-Kwan (2001). Characteristics of Fungi Isolated from Various Archives Stack Rooms. Korean Journal of Clinical Pathology, 33(2), 44-50.
- Jo, Mi-Hui, Bae, Eun-Kyung, Ha, Sang-Do, & Park, Ji-Yong (2005). Application of Natural Antimicrobials to Food Industry. Food Science and Industry, 38(2), 36-45.

- Jo, Yih-Yung & Lee, Gwi-Bok (2001). Improvement for biological degradation prevention methods of records. National Archives of Korea, 14, 139-159.
- Jo, Yih-Yung, Shin, Jong-Sun, & Yoon, Dai-Hyun (2001). Confirmation of fumigation effect on and toxicity analysis on microorganisms isolated from records. Journal of Korean Society of Archives and Records Management, 1(1), 231-243.
- Kim, Kee-Hyun (2007). Research and development of environmental-friendly compact fumigation equipment (BM-30AC BM-60AC) for biological damage prevention of records. Korean Association of Archives Management, 11, 27-35.
- Kim, Kee-Hyun, Kim, Kyung-Tae, Choe, Young-Nam, Park, Hui-Chang, & Lee, Seong-Hwi (2008). Develop a natural fumigant for the biological damage prevention of records and library. Proceedings of the Conference of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 271-275.
- Kim, Min-Ji (2010) Evaluation for the Antimicrobial Effects of the Natural Components and the Accelerated Aging of the paper Materials by Using the Pressure Reducing Sterilizer. Un published master's thesis. Kongju University, Seoul, Korea.
- Min, Kyung-Hee (1996). Research on preserving environmental standards within the museum's exhibits and relics. Seoul: The Ministry of culture and sports.