

# 기록물에서 분리된 미생물에 대한 훈증소독의 효능검증과 독성조사

Confirmation of fumigation effect on and toxicity analysis on microorganisms isolated from records

조 이형(Yih-Yung Jo)\*

신 종순(Jong-Sun Shin)\*\*

윤 대현(Dai-Hyun Yoon)\*

## ◁ 목 차 ▷

1 서론	23 훈증의 효과 분석 방법
2 실험방법 및 재료	23.1 훈증 조건
2.1 조사대상 미생물 및 해충	23.2 세균에 대한 훈증
2.2 미생물의 독성 조사	23.3 곰팡이에 대한 훈증
2.2.1 효모를 이용한 독성 조사	23.4 해충에 대한 훈증
2.2.2 식물을 이용한 독성 조사	3 결과 및 고찰
2.2.3 암 세포 주를 이용한 독성 조사	참고문헌

### <국문초록>

Methyl bromide (MB)와 Ethylene oxide (ETO) 혼합기체를 사용하는 훈증소독방법이 일반적으로 사용되어져 오고 있다. 본 연구에서는 기록물에서 분리해 낸 미생물을 이용하여 MB와 ETO 혼합기체의 훈증소독효과를 검증하였고, 또한 미생물들에 대한 독성도 조사하였다.

미생물과 곤충에 대한 훈증소독의 살균 및 살충 효과를 검증하기 위해 기록물에서 분리한 미생물 및 해충에 대해 MB와 ETO 혼합기체 [86 : 14 (Vol. %)]를 농도별, 처리시간별로 조건을 설정하여 훈증을 실시하였다. 해충은 모든 조건의 실험에서 전부 살충되었다. 그러나, 미생물의 경우는 MB와 ETO 혼합가스농도 120g/m<sup>3</sup>에서 24시간 이상을 처리했을 때만 살균효과가 있었다.

기록물에서 분리해 낸 미생물들에 대해 독성을 조사하기 위해 효모, 부세, 암 세포 주를 대상으로 독성 시험을 수행하였다. 그 결과, *Aspergillus oryzae* 한 종류만 독성 효과를 보였다.

본 연구 결과를 통해 MB와 ETO 혼합가스에 의한 훈증소독은 해충의 경우는 낮은 농도에서도 효과가 있으나, 미생물은 높은 농도로 훈증을 해야만 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 기록물에서 분리해 낸 대부분의 미생물들은 인체에 유해한 가능성이 낮을 것이라고 예상할 수 있었다.

요어: Methyl bromide, Ethylene oxide, 훈증소독

\* 정부기록보존소 보존과.

\*\* 중부대학교 인쇄공학과 교수.

<ABSTRACT>

The sterilization method of records by fumigation using mixed gas of methyl bromide(MB) and ethylene oxide(ETO) has been generally used as a way to protect biological deterioration by microorganisms and insects. In this study, we confirmed sterilization effect of MB and ETO [86 : 14 (Vol. %)] on and analyzed toxicity on microorganisms isolated from records.

To analyze sterilization effect of fumigation on microorganisms and insect, we have fumigated microorganisms and insect with a various amounts mixed gas of MB and ETO, and various exposure time. Insect was sterilized at all experimental conditions. In microorganisms, sterilization effect was detected only when the mixed gas was treated at 120 g/m<sup>3</sup> concentration for at least 24 hrs.

To test the possibility of isolated microorganisms as a threat to human health, it was investigated that toxicity test using yeast, radish and cancer cells on microorganisms. Only *Aspergillus oryzae* had an inhibition effect on growth of yeast, radish and cancer cells, respectively.

These results demonstrate that sterilization effect can occur at low concentrations of the mixed gas on insect but requires higher concentrations of the mixed gas on microorganisms. In addition to, it is suspected that the possibility of the microorganism as a threat to human health is little.

**Keyword : Methyl bromide, Ethylene oxide, Fumigation**

## 1 서론

기록물의 생물학적 열화를 일으키는 미생물 중에 곰팡이류가 상당 부분을 차지한다. 곰팡이는 10만 여종이 알려져 있으며, 종이·면지·접착제·가죽·선유·전분 등의 유기물을 영양분으로 생육한다. 또한 포자를 통해 개체를 퍼뜨리는데, 형성된 포자는 공기 또는 곤충·동물들에 붙어서 이동하게 된다. 그러므로 공기중이나 물체의 어느 곳 즉, 우리 환경 어디에서나 곰팡이의 포자가 존재할 수 있다. 이렇게 이동한 포자들은 온도와 습도가 적당하면 포자에서 발아하여 곰팡이로 생육을 시작하게 된다(Florian, M.-L. 1994; New York City Department of Health, Bureau of Environmental Investigations 2000; Office of Secretary of State, Georgia Department of Archives and History 1997; Library Preservation at Harvard 2000; Patkus, B. L. 2000).

이와 같은 이유로 곰팡이가 여러 곳에서 번식이 가능한 것이다. 곰팡이는 80%정도의 상대 습도와 25-30℃ 정도의 따뜻한 온도를 가장 좋아하지만 45%정도의 낮은 상대 습도와 10℃ 정도의 낮은 온도에서도 일반적인 곰팡이들이 생육할 수 있다(Nyberg, S. 1987).

기록물의 생물학적 열화에 관련된 곰팡이류들은 지류 등에 있는 cellulose, starch 등을

영양분으로 생육하는데 곰팡이들은 이들을 분해하기 위해 분해효소들을 낸다. 지류에 있는 cellulose는 분해하기가 어려워 곰팡이는 천 종류의 책 겉 표지 또는 접착제에 있는 starch를 더 좋아해서 이 부분에서부터 먼저 생육을 시작하여 책 전체로 번져 나간다(Nyberg, S. 1987). 이와 같은 방식으로 기록물의 생물학적인 열화의 한 부분을 곰팡이가 차지하고 있다.

세균 중에도 곰팡이 보다 적은 숫자이지만 cellulose를 영양분으로 성장하는 Cytophaga, Sporocytophaga 등이 잘 알려져 있다(Stanier, R. Y., Ingraham, J. L., Painter, P. R. and Wheelis, M. L. 1986). 따라서, 곰팡이 등 미생물의 주기적인 점검 및 대책 수립은 기록물 보존 및 보존환경관리분야에서 상당히 중요하므로 지속적인 연구가 필요하다.

지금까지는 기록물을 주로 화학적인 방법으로 많이 소독하였다. 주로 사용된 약제로는 Methyl bromide(MB)와 Ethylene oxide(ETO) 등이 알려져 있다.

MB는 살충효과는 있으나 살균효과는 거의 없는 것으로 알려져 있으며, 훈증 후 역겨운 냄새가 날 수 있을 뿐만 아니라 문서의 접착제를 약화시킬 수 있다(Nyberg, S. 1987). 또한, 이 약제의 인체에 대한 강한 독성 때문에 현재는 거의 사용하지 않거나 매우 제한적으로 일부 사용되고 있는 상황이다(McComb, Robert E. A. 1980, 1-2).

ETO는 도서관이나 박물관의 자료 소독 훈증제로 1930년대부터 세계적으로 널리 사용해 왔으며, 해충과 미생물 특히 곰팡이에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Patkus, B. L. 2000).

그러나, 이 약제 역시 강한 독성 및 발암물질이라는 사실이 알려져 있으며, 가죽 또는 합성 폴리머류 같은 물질을 훈증처리 했을 때 상당량이 물질 자체에 흡수되어 수개월 동안 공기중으로 발산될 수 있다는 위험성 때문에 현재는 꼭 필요한 경우에만 제한적으로 사용되어지고 있다(Nyberg, S. 1987; McComb, Robert E. A. 1980, 1-2). 또한, 미국의 직업 안전 보건국(OSHA)은 ETO의 허용기준농도를 1984년에 8시간 평균 50ppm에서 1ppm 이하로 규정을 강화하고 있기 때문에, 작업환경을 권고기준에 맞추기 또한 어려운 실정이다(Hengenmihle, F., Weberg, N., and Shahani, C. 1995). 국내에서도 산업안전보건법에 따라 MB는 5ppm, ETO는 1ppm으로 각각 규제하고 있는 상황이다.

MB와 ETO 등 독성이 강한 화학물질을 이용한 훈증처리방식이 훈증작업자의 위험성, 살균에 대한 효능문제, 향후 환경규제물질이라는 종합적인 문제가 대두되면서 세계적으로

화학물질을 사용하지 않고 있다. 그 대신 위험성이 낮은 비화학적인 방법에 대한 연구가 활발히 진행중이거나 적용 중에 있다. 미국과 독일은 저(底)산소환경에 대한 연구, 체코는 Microwave를 이용한 연구, 일본은 ETO를 Propylene oxide로 대체하는 연구가 진행되고 있다(민경희 1996, 12 20).

현재, 국내에서도 천연항균제와 질소를 이용한 안전한 소독시스템 개발에 상당한 진척을 보이고 있다. 앞으로도 비화학적인 기록물소독방법의 연구가 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다.

현재까지도 국내에서는 MB와 ETO 혼합가스를 이용한 훈증식 소독방법을 문화재 및 기록물 등의 생물학적 피해를 막기 위한 방법으로 주로 사용하고 있다. 그러나 여러 종류의 소독 대상물에 대해 MB와 ETO를 이용한 훈증소독의 효능 및 최적 조건에 대한 정확한 연구가 많지 않은 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 MB와 ETO를 이용한 훈증소독의 효과를 재점검하고, 새로운 기록물 소독방법 연구의 필요성을 증대시키며, 아울러 기록물소독 및 보존환경의 지속적인 관리의 중요성을 재인식시키기 위해 본 연구를 수행하였다.

## 2 실험방법 및 재료

### 2.1 조사대상 미생물 및 해충

고문서에서 분리해낸 미생물 12종류 [*Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Mucor mucedo*, *Mucor rouxii*, *Neurospora sitophila*, *Penicillium notatum*, *Rhizopus delimer*, *Thamnidium elegans*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus auricularis*]에 대해서 연구를 수행하였다(김기현·신종순·윤대현 1998, 85-91).

해충은 *Tribolium castaneum* Herbst(밤빛쌀도둑) 1종류를 사용하였다.

Table 1. Compositions of medium used for culturing microorganism.

Medium	Composition (g/L)
Potato dextrose agar (PDA)	Potatoes, Infusion from : 200g, Dextrose : 20g, agar : 15g (pH 4.5)
Luria-Bertani agar (LBA)	Tryptone : 10g, Yeast Extract : 5g, Sodium chloride : 10g, agar : 20g

## 2.2 미생물의 독성 조사

### 2.2.1 효모를 이용한 독성 조사

*Saccharomyces cerevisiae*를 초기 대수기(OD 660nm = 0.2)가 되도록 Potato dextrose 액체 배지에 배양하여, 배양액을 microplate에 각각 100 $\mu$ l를 분주한 후, 여기에 상기 곰팡이 및 세균 배양액 100 $\mu$ l를 각각 처리하였다. 곰팡이 및 세균 배양액을 함유한 microplate는 효모 생육의 최적조건인 30 $^{\circ}$ C에서 2일간 정체배양 후 OD 660nm에서 *Saccharomyces cerevisiae*의 성장을 대조 군과 비교하여 생육저해도(%)를 효모 생육의 독성 값으로 정하였다.

### 2.2.2 식물을 이용한 독성 조사

Petri dish에 filter paper가 충분히 잠길 수 있도록 배양액 5ml(최적 조건에서 배양한 미생물 배양액 3ml + 증류수 2ml)을 넣고, 그 위에 무씨 20개를 filter paper에 올려놓은 다음, 5시간 간격으로 무씨의 생육을 관찰하여 미생물에 의한 무씨의 생육 저해수준을 확인하였다. 이때 대조 군은 세균이 접종이 되지 않은 멸균된 액체 배지 및 비 병원성 미생물(대장균) 배양액을 사용하여 비교 분석하였다.

### 2.2.3 암 세포 주를 이용한 독성 조사

대장암 세포 주(HCT-15, Human colon)와 피부암 세포 주(SK-MEL-2, Human melanoma)를 대상으로 2.2.1에서와 같은 방법으로 시료를 처리한 후, 생존세포 수를 현미경으로 계수하여 세포독성 정도를 측정하였다.

## 2.3 혼증의 효과 분석 방법

### 2.3.1 혼증 조건

혼증제로 MB와 ETO가 86 : 14 (Vol. %)의 비율로 혼합된 가스를 사용하였다. 준비된 시험균 또는 해충을 1m<sup>3</sup>의 공간을 가진 밀폐형 장비 속에 넣고, -500mmHg까지 감압한 후 상온에서 혼합가스 투입량과 처리시간을 조건에 따라 처리하였다. 처리시간이 경과 후 공기순환을 통해 안전하게 배기한 다음 시험균 또는 해충을 꺼내어 배양하였다.

### 2.3.2 세균에 대한 혼증

세균을 LB broth에서 1일간 배양한 후 각각의 배양액 100 $\mu$ l를 멸균된 4개의 filter paper disk( $\Phi$ 6mm, Advantec Co.)에 접종하였다. 이 disk들을 멸균된 tube에 넣고 동결건조기로 저온건조시킨 후 문서소독기에 넣고 혼증처리하였다. 혼증처리된 filter paper disk들은 37 $^{\circ}$ C의 온도에서 3일 동안 배양하여 관찰하였다.

### 2.3.3 곰팡이에 대한 혼증

곰팡이를 PDA 고형배지에 각각의 곰팡이를 접종하여 30 $^{\circ}$ C 배양기에서 3일간 배양한 후, 0.01% Tween-80을 함유한 멸균증류수 5ml를 붓고 곰팡이 현탁액을 취출 통과시켜 준비하였다. 각각의 배양액 40 $\mu$ l를 멸균된 4개의 filter paper disk( $\Phi$ 6mm, Advantec Co.)에 접종하였다. 이 disk들을 멸균된 tube에 넣고 동결건조기로 저온건조시킨 후, 문서소독기에 넣고 혼증처리하였다. 혼증처리된 filter paper disk들은 30 $^{\circ}$ C의 온도에서 5일 동안 배양하여 관찰하였다.

### 2.3.4 해충에 대한 혼증

가스가 들어가도록 마개 부분을 면으로 막을 수 있는 소형의 유리병에 *Tribolium castaneum* Herbst와 사육할 때 사용된 쌀겨 속에 유충, 번데기, 알 등이 포함되어 있는 것을 확인한 후 문서소독기에 넣었다. 혼증종료 후 잔류가스를 충분히 배기시키고 나서 27 $^{\circ}$ C의 온도에서 7일 동안 관찰하였다.

### 3 결과 및 고찰

기록물에서 분리해낸 미생물들이 기록물을 취급하고 관리하는 사람에게 질병을 일으킬 가능성이 있는지를 확인하기 위해 효모, 무씨, 암세포를 이용하여 독성 정도를 조사하였다.

효모(*Saccharomyces cerevisiae*)를 이용한 미생물의 독성조사에서는 대부분의 미생물들은 독성이 낮은 것으로 나타났으나 *Aspergillus oryzae*와 *Staphylococcus aureus*가 상당히 높은 효모 생육저해를 일으켰다(Table 2).

Table 2. Inhibition of microorganisms on the growth of yeast and radish

Species	Inhibition rate of the growth of yeast <sup>a</sup> (%)	Germination rate of radish <sup>b</sup> (%)
<i>Aspergillus niger</i>	92	15
<i>Aspergillus oryzae</i>	43	8
<i>Mucor mucedo</i>	104	10
<i>Mucor rouxii</i>	89	23
<i>Neurospora sitophila</i>	112	78
<i>Penicillium notatum</i>	75	20
<i>Rhizopus delimer</i>	90	90
<i>Thamnidium elegans</i>	84	80
<i>Bacillus cereus</i>	112	26
<i>Bacillus megaterium</i>	104	60
<i>Staphylococcus aureus</i>	64	13
<i>Staphylococcus auricularis</i>	76	23

Inhibition rate of the growth of yeasts was measured at 660 nm after 48hrs liquid culture compared to control growth.

Germination rate of radish<sup>b</sup> was counted to percent scale from the 20 seed treated

무씨를 사용한 미생물의 독성 조사에서는 *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Mucor mucedo*, *Staphylococcus aureus* 등의 균들이 무의 발아에 저해 영향을 보였다 (Table 2). HCT-15와 SK-MEL-2 두 종류의 암세포를 대상으로 독성을 조사한 결과 대부분의 균들이 세포에 대한 자극은 매우 낮은 것으로 나타났으나, *Aspergillus oryzae*는 2 종

류의 암 세포 모두에 높은 독성을 보였다(Table 3).

Table 3. Inhibition of microorganisms on the growth of cancer cells

Species	ED 50 ( $\mu\text{g/ml}$ ) <sup>a</sup>	
	HCT-15	SK-MEL-2
<i>Aspergillus niger</i>	186	166
<i>Aspergillus oryzae</i>	26	43
<i>Mucor mucedo</i>	201	193
<i>Mucor rouxii</i>	186	150
<i>Neurospora sitophila</i>	195	150
<i>Penicillium notatum</i>	178	130
<i>Rhizopus delimer</i>	200	203
<i>Thamnidium elegans</i>	188	179
<i>Bacillus cereus</i>	150	201
<i>Bacillus megaterium</i>	177	150
<i>Staphylococcus aureus</i>	153	139
<i>Staphylococcus auricularis</i>	140	160

ED 50 ( $\mu\text{g/ml}$ )<sup>a</sup> was estimated by SRB method.

이와 같이 세 종류의 실험에서 모두 높은 저해 효과를 나타낸 *Aspergillus oryzae*가 사람에게 영향을 줄 수 있는 가능성을 가지나, 실제적으로는 희박할 것으로 판단된다. 왜냐하면, 술을 제조할 때 발효단계에서 쌀의 starch를 가수분해하기 위해 *Aspergillus oryzae*의 amylase를 이용해 오고 있기 때문이다(Stanier, R. Y., Ingraham, J. L., Painter, P. R. and Wheelis, M. L. 1986). 그러나, *Aspergillus oryzae*가 amylase를 분비하는 것이 잘 알려져 있고, 또한 지류의 강도를 약화시키고, 지류를 변색시켜 전체적으로 지류의 생물학적 열화를 유발할 수 있는 것으로 연구 결과가 나타났으므로 문서 등의 기록물로부터는 반드시 제거되어야 할 것이다(김기현·신종순·윤대현 1998, 85-91).

따라서, 세 가지 종류의 독성검사 결과를 통해 볼 때, 본 연구에서 분리된 대부분의 미생물들이 사람에게 질병을 일으킬 수 있는 가능성은 낮을 것이라고 추측되어진다.

본 연구에서는 비록 인체 유해성이 높은 미생물은 발견되지 않았지만, 보존환경관리는 기록물 자체의 보존 뿐만 아니라 기록물관리담당자들의 인체 안전성 문제 때문에 간과해서는 안 될 부분이다. 왜냐하면, 여러 종류(*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Memmoniella*)의 곰팡이들이 인체를 위협하는 독소를 생성할 수 있는 것으로 알려져 있고(New York City Department of Health, Bureau of Environmental &



Occupational Disease Epidemiology 2000), 실제로 장과 술을 만들 때 존재하는 *Aspergillus*도 면역이 떨어진 사람에게는 상당히 위험할 수 있기 때문이다(이인원·신영오·윤권상 1998, 과학동아 3월호). 또한, 기록물보존환경이 적절히 조절되지 않아 곰팡이의 포자 등이 인체에 흡입되거나 피부접촉이 자주 이루어지면, 건강한 사람에게는 알레르기성 질병이 발생될 수 있다는 사실도 널리 알려져 있다(Nyberg, S. 1987; New York City Department of Health, Bureau of Environmental & Occupational Disease Epidemiology 2000).

따라서, 정기적인 미생물의 분포 조사 및 대책 수립 등의 지속적인 기록물 보존 환경 관리가 기록물 자체 소독 못지 않게 중요하다는 사실을 알 수 있을 것이다.

MB와 ETO에 의한 미생물과 해충의 소독효과를 조사하기 위하여 먼저 MB와 ETO 혼합가스 농도를 30g/m<sup>3</sup>, 60g/m<sup>3</sup>으로 변화시키고 4시간 동안 노출시켜 보았다. 그 결과, 해충의 한 종류인 밤빛쌀도독은 두 조건에서 전부 살충되었으나, 미생물의 경우는 전부 생존하여 효과가 없는 것으로 나타났다(Table 4).

Table 4. The fumigation effect of 30g/m<sup>3</sup> or 60g/m<sup>3</sup> mixed gas of MB and ETO for 4 hrs on microorganisms and insect

Species	4 hrs	
	30 g/m <sup>3</sup>	60 g/m <sup>3</sup>
<i>Aspergillus niger</i>	+	±
<i>Aspergillus oryzae</i>	+	--
<i>Mucor mucedo</i>	+	±
<i>Mucor rouxi</i>	+	+
<i>Neurospora sitophila</i>	+	+
<i>Penicillium notatum</i>	+	+
<i>Rhizopus delimer</i>	+	+
<i>Thamnidium elegans</i>	+	+
<i>Bacillus cereus</i>	±	+
<i>Bacillus megaterium</i>	--	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	+
<i>Staphylococcus auricularis</i>	±	+
<i>Tribolium castaneum</i> Herbst	-	-

- : Sterilization (100 %)

+ : Growth

훈증시간을 길게 했을 때의 효과를 조사하기 위해서는, MB와 ETO 혼합가스 농도를 50g/m<sup>3</sup>으로 고정하고, 노출시간을 8, 24시간으로 변화를 주어 조사하였다. 그 결과, 해충은 8시간, 24시간 처리 모두에서 전부 살충되었고, 미생물 경우는 MB와 ETO 혼합가스 농도를 50g/m<sup>3</sup>에서 8시간 훈증처리 했을 때 거의 효과가 없었지만, 24시간 훈증처리 했을 때는 대부분의 미생물이 살균되었다. 그러나 *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Bacillus cereus* 3종에 대해서는 효과가 없는 것으로 나타났다(Table 5).

Table 5. The fumigation effect of 50 g/m<sup>3</sup> mixed gas of MB and ETO for 8 hrs or 24 hrs on microorganisms and insect

Species	50 g/m <sup>3</sup>	
	8 hrs	24 hrs
<i>Aspergillus niger</i>	+	+
<i>Aspergillus oryzae</i>	+	+
<i>Mucor mucedo</i>	+	-
<i>Mucor rouxii</i>	+	-
<i>Neurospora sitophila</i>	+	..
<i>Penicillium notatum</i>	+	-
<i>Rhizopus delimer</i>	+	-
<i>Thamnidium elegans</i>	+	..
<i>Bacillus cereus</i>	+	+
<i>Bacillus megaterium</i>	+	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	..
<i>Staphylococcus auricularis</i>	+	-
<i>Tribolium castaneum</i> Herbst		-

- : Sterilization (100 %)  
 + : Growth

100% 소독효과를 보이는 조건을 찾기 위해 *Aspergillus niger*와 *Penicillium notatum* 두 종류의 곰팡이에 대해 MB와 ETO 혼합가스 농도를 120g/m<sup>3</sup>으로 두고 24시간, 72시간 동안 노출시켜 보았다. 그 결과, 두 조건에서 전부 살균되어 100% 살균 효과가 있는 것으로 나타났다(Table 6).

이 결과를 통해 효과적인 소독 처리를 위해서는 120g/m<sup>3</sup>으로 24시간 정도의 처리가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 기록물 자체에 손상 여부와 취급자의 위험성 문제 때문에 100g/m<sup>3</sup>이상으로 수행하기는 어려운 실정이다.

Table 6. The fumigation effect of 120 g/m<sup>3</sup> mixed gas of MB and ETO for 24 hrs or 72 hrs on microorganisms

Species	120 g/m <sup>3</sup>	
	24 hrs	72 hrs
<i>Aspergillus niger</i>	-	-
<i>Penicillium notatum</i>	-	-

- : Sterilization (100 %)

+ : Growth

50g/m<sup>3</sup>의 MB만으로는 100시간을 처리해도 미생물들은 모두 성장하고, 150g/m<sup>3</sup>으로 72시간 노출시켰을 때만 살균되며 MB와 ETO 혼합가스로 훈증할 때에도 100g/m<sup>3</sup>의 농도에서 72시간 이상을 또, 150g/m<sup>3</sup>의 농도에서 24시간 이상을 훈증해야만 살균효과가 있는 것으로 보고된 연구결과가 있다(민경희 1996, 101-107). 또 다른 연구에 의하면, ETO로 훈증을 진행할 때 곤충의 경우에는 16-20시간을 훈증해야 하고, 곰팡이의 경우는 95%이상을 살균하기 위해 5-7일 정도의 긴 시간 동안 훈증해야 된다는 보고도 있다(McComb, Robert E. A. 1980, 1-2). 따라서, 위와 같은 연구결과들이 본 연구에서 나타난 훈증효과와 일맥상통 하다는 사실을 알 수 있었다.

MB, ETO와 같은 화학물질을 이용한 기록물소독방식은 해결하기 어려운 여러 가지 문제점들이 존재한다.

첫째, 훈증 대상물의 자체훼손 가능성이 높다는 문제가 있다. 훈증가스와 대상물 사이의 화학적인 반응이 일어나 대상물 자체가 변질될 수 있고, 대상물에 직접 스며들어 몇 달 동안 서서히 공기중으로 방출될 수 있는 가능성이 있다는 점이다(Nyberg, S. 1987; Patkus, B. L. 2000).

둘째, 작업 환경의 위험성이 크다는 것이다. 훈증가스 자체가 독성이 강하고 발암물질이라서 전문가의 의한 수행이 필요하고, 주기적 점검 등의 작업조건이 너무 까다롭고 비능률적이며, 작업환경 자체의 위험성 때문에 작업수행하기를 꺼리는 경향이 많다. 작업환경 기준은 작업자의 안전함을 유지하기 위해서 8시간 평균 1ppm을 넘지 않는 환경을 유지해야

한다는 기준이 있다. 게다가, 가스훈증처리 후 장시간 배기과정을 진행해야 안전기준내의 농도로 떨어지므로 소독후 긴 시간이 소요된다는 단점도 존재한다(Hengenmible, F., Weberg, N., and Shahani, C. 1995).

셋째, 훈증가스 중 MB는 오존층 파괴물질이라서 향후 사용금지 대상이 되기 때문에 대체약제 개발이 필요한 상황이 되었다.

마지막으로, 실제 사용조건에서는 가스훈증망식이 미생물의 경우는 효과가 낮게 나타날 경우가 많다. 또한, 화학약제를 이용한 소독방식은 해충과 미생물에 내성을 유발한다는 사실도 알려져 있다(Nyberg, S. 1987). MB와 ETO 혼합가스 농도를 120-150g/m<sup>3</sup>으로 하고 24시간 이상 훈증처리해야만 미생물에도 높은 살균효과가 기대 할 수 있는데, 실제 작업중에는 35-60g/m<sup>3</sup>의 농도로 많이 수행하고 있다. 왜냐하면, 훈증 대상물이 가스에 의해 직접적인 피해가 일어날 수 있는 가능성이 존재하므로 최고 100g/m<sup>3</sup>을 넘지 않는 것이 바람직하다고 알려져 있기 때문이다(민경희 1996, 108-137).

이상과 같은 여러 가지 문제점으로 안전하고 효과있는 소독방법 개발의 필요성이 대두되면서 세계 각 국은 여러 가지 소독 방법을 개발중인 것으로 알려져 있다(민경희 1996, 5-20; Daniel, V., Hanlon G., and Maekawa, S. 1993, 15-19). 본 연구실에서도 훈증가스 망식이 기록물 소독에는 더 이상 적합하지 않은 것으로 판단하고, 보다 안전하고 경제적인 소독 기술개발의 목적으로 천연항균제와 질소가스를 이용한 비화학적 소독방법을 개발하고 있으며, 현재 상당한 성과를 나타내고 있는 상황이다. 앞으로 기술개발이 완료되면 국내 기록물 소독 분야에 상당한 파급효과를 나타낼 것으로 기대하고 있다.

### <참고문헌>

1. Florian, M.-L. 1994. "Mold and its Life Cycles". Insect & Fungus Management Conference Notes.
2. New York City Department of Health, Bureau of Environmental Investigations. 2000. Facts About Mold.
3. Office of Secretary of State, Georgia Department of Archives and History. 1997. The Storage Environment.

4. Library Preservation at Harvard. 2000. Guidelines for Managing Mold Contamination.
5. Patkus, B. L. 2000. "Emergency Salvage of Moldy Books and Paper". Technical Leaflet section 3. Leaflet 9.
6. Nyberg, S. 1987. "Invasion of the Giant Mold Spore". Preservation Microfilm Services. SOLINET.
7. Stanier, R. Y., Ingraham, J. L., Painter, P. R. and Wheelis, M. L. 1986. The Microbial World. New Jersey: PRENTICE-HALL.
8. McComb, Robert E. A. 1980. "A Comparison of Three Gaseous Fumigants: Vikane, Ethylene Oxide and Methyl Bromide" Newsletter. Vol 2, 1-2.
9. Patkus, B. L. 2000. "Integrated Pest Management". Technical Leaflet section 3. Leaflet 11.
10. Hengenmihle, F., Weberg, N., and Shahani, C. 1995. Desorption of Residual Ethylene Oxide from Fumigated Library Materials. The Library of Congress. Washington, D. C.
11. 민경희. 1996. 박물관내 전시 및 소장유물의 보존환경 (대기오인을 생물학적 환경) 기준연구. 문화체육부. 연구보고서.
12. 김기현, 신종순, 윤대현. 1998. "고(문)서에 서식하는 미생물의 특성에 대한 연구". 인쇄공학회지. Vol. 30, 85-91.
13. New York City Department of Health, Bureau of Environmental & Occupational Disease Epidemiology. 2000. Guidelines on Assessment and Remediation of Fungi in indoor Environments.
14. 이인원 · 신영오 · 윤권상. 1998. 병주고 약주는 미생물-곰팡이. 과학동아 3월호.
15. Daniel, V., Hanlon G., and Maekawa, S. 1993. "Eradication of Insect Pests in Museums Using Nitrogen". Vol. 12. 15-19.

(원고접수일: 2001. 2. 10)