Journal of Conservation Science
Vol.26, No.4, pp377-383(2010)
Printed in the Republic of Korea

방사선 조사가 한국전통한지의 미생물 생장과 기계적 물성에 미치는 영향

최종일* | 윤민철* | 정용재** | 강대일** | 김광훈*** | 이주운*,[1]
*한국원자력연구원, **한국전통문화학교 보존과학과, ***공주대학교 생명과학과

Effect of Gamma Radiation on the Microbial Growth and Mechanical Properties of Korean Traditional Paper

Jong-il Choi* | Minchul Yoon* | Yong Jae Chung** | Dai Ill Kang** |
Gwang Hoon Kim*** | Ju-Woon Lee*,[1]
*Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongup, 580-185, Korea
**Department of Conservation Science, Korean National University of Cultural Heritage, Buyeo, 323-812, Korea
***Department of Life Science, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

[1]Corresponding Author: sjwlee@kaeri.re.kr +82-63-570-3204

초 록 본 연구에서는 전통한지의 생물학적 피해를 야기하는 미생물의 살균 처리를 위한 방사선 기술의 활용 가능성을 확인하였다. 방사선 조사가 한국전통한지에 접종한 미생물의 생장에 미치는 영향을 조사하였으며 방사선 조사에 의한 한국전통한지의 기계적 물성변화에 대하여 측정하였다. *Bacillus cereus*와 *Aspergillus niger*를 각각 배양하여 얻어진 포자를 한지에 각각 약 250,000과 500,000 개의 포자를 접종한 후 방사선 선량에 따른 생장률을 확인한 결과, 초기 5 log 갯수의 *B. cereus* 포자는 6kGy, 5 log의 *A. niger* 포자는 8kGy에서 불활성화 되었다. 또한 방사선 조사에 따른 한지의 기계적 물성 변화를 확인한 결과, 미생물의 불활성화에 필요한 선량보다 높은 50 kGy의 방사선 조사에도 한지의 유의적인 인장강도, 파열강도 및 색도 변화는 없었다. 이러한 결과들은 곰팡이에 의해 손상 받는 전통 고서들의 보존을 위하여 방사선 조사가 매우 효과적으로 사용될 수 있다는 것을 제시하여 준다.

중심어: 방사선 조사, 한지, 미생물 사멸률, 기계적 물성

ABSTRACT The effect of gamma irradiation on the microbial growth inoculated in the Korean traditional paper, *Hanji*, was investigated. Also, the mechanical properties of Korean traditional paper were measured to verify the possible change by gamma radiation. *Bacillus cereus* and *Aspergillus niger* were cultivated and the spores were innoculated in papers at the 250,000 and 500,000 colonies, respectively. In these results, 5log spores of *B. cereus* could be all inactivated at the dose of 6 kGy, and 5log *A. niger* be inactivated at 8 kGy, respectively. There was also showed no significant change in tensile strength, bursting strength and color index of Korean traditional paper by the gamma irradiation upto the dose of 50 kGy. These results confirmed that radiation treatment of Korean traditional paper is extremely efficient and could be used to preserve ancient books and archives documents from being damaged by moulds and fungi.

Key Words: Gamma irradiation, Korean traditional paper, Microbial growth, Mechanical properties

접수 10. 08. 19 / 심사 10. 11. 11 / 승인 10. 11. 17

1. 서 론

주요 재질이 유기질인 지류문화재는 미생물에 의한 생물학적 손상이 심하게 발생하는 실정임으로 보존관리 차원에서 볼 때 원인의 파악보다 생물학적 손상 제어를 통한 보존대책이 중요하다. 특히 유기질 문화재에 생물피해가 시작되면 문화재 자체 재질이 잠식되어 손실되고 결국에는 소멸되므로 두 번 다시 복구하기 힘들기 때문에 생물피해의 방제는 매우 중요한 영역을 차지하고 있다.[1]

대표적 기록문화재인 한지는 역사적 기록물뿐만 아니라 재질의 자연미, 질긴 수명, 뛰어난 흡습성 때문에 예술적·문화적 작품에 널리 사용되어온 우리나라 전통 재질 중 하나 이다. 하지만 한지의 주성분이 유기질 섬유소이기 때문에 생물학적, 화학적 열화에 취약하다. 한지에 대한 생물학적 열화는 온도와 습도에 큰 영향을 받으며 특히 우리나라 여름의 높은 온도와 습도는 이러한 미생물의 피해에 취약하다.

미생물들은 그들이 가지고 있는 분해효소를 이용해서 셀룰로오스를 포함한 고분자물질들을 저분자화 시킨다.[2] 몇몇 셀룰로오스를 분해하는 곰팡이들의 경우, 최적 생육조건하에서 셀룰로오스를 짧은 시간 안에 분해시킨다. 현재까지 약 100여 종이 알려져 있으며 대표적인 곰팡이로는 *Aspergillus* sp., *Chaetomium* sp., *Trichoderma* sp., *Penicilliun* sp., *Alernaria* sp., *Stachybotrys* sp. 등이 있다.[3] 이것은 유기질 섬유소가 주요 재질인 한지의 경우, 미생물오염에 의해 심각한 피해가 발생하게 됨을 의미한다.

유기질 문화재의 생물학적 손상을 제어하기 위해 많은 기술들이 개발되어 왔으며 그 중 에틸렌 옥사이드(Ethylene Oxide), 브롬화 메틸(Methyl Bromide)을 포함한 독성이 강한 화학제를 이용한 훈증기술들이 개발되었으며 이용되어 왔다. 하지만 이러한 화학적 훈증처리는 강한 독성 때문에 많은 나라들에서 사용이 금지되고 있다.[4, 5]

그 대안으로 관심을 방사선 조사를 이용한 기술이 최근 관심을 끌고 있다. 방사선을 이용한 미생물이나 충류의 제어는 이미 식품이나 검역 분야에서 국제적으로 사용하고 있으며 보존과학 측면에서 친환경적이며, 효과적인 처리기술로 인정받고 있다. 멸균을 위한 방사선 조사 시 방사선은 세포를 투과하여 DNA를 직접 파괴하는 직접적인 영향과 세포질 내 물을 방사선 분해(radiolysis)하는 간접적인 영향을 주어 세포를 죽인다. 방사선 분해된 물 분자는 활성산소 종(active oxygen species), 자유 라디칼(free radical) 및 퍼록사이드(peroxides) 등이 생성되며 이는 단일, 이중가닥 DNA를 파괴한다.[6] 방사선은 이와 같이 멸균력이 매우 뛰어나며, 투과력이 매우 높으며, 어떠한 잔류물을 남기지 않는 장점을 가지고 있다.[7]

방사선 조사에 의한 종이의 기계 물리학적 손상에 대한 연구들에서 그 영향이 적은 것으로 나타났다.[4, 5, 7] 이들 연구는 종이 위에 인쇄된 잉크 역시 방사선 저항성이 높은 것으로 보고 하였다.[8] 종이, 나무 그리고 흙 등 서로 다른 재질로부터 유래한 곰팡이들은 6 ~ 15 kGy의 방사선 선량에서 효과적으로 사멸하는 것으로 보고하였다.[6, 9, 10] 또한 브라질에서 행하여진 연구에서 책으로부터 분리한 곰팡이의 경우 20 kGy의 선량에서 완벽하게 사멸되지 않는 것으로 보고된바 있다.[11]

하지만, 우리나라 한지의 경우 방사선 조사에 대한 영향 연구는 매우 미비한 실정이며 정 등(1995)에 의해 자외선 조사를 통해 인공열화를 촉진하여 한지의 광학적, 기계적 특성을 연구한 사례가 있다. 하지만 이 경우는 한지의 permanence 평가를 위한 연구이며 한지의 보존을 위한 과학적 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 실험에서는 한국전통한지의 보존을 위한 방사선 기술의 활용가능성을 평가하기 위하여, 한지에 접종된 미생물 포자의 방사선 감수성을 평가하였다. 또한 조사된 한국전통한지의 기계적, 물리적 물성 변화를 확인하여 방사선 조사에 의한 안전성 평가를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

2.1.1. 공시재료 및 공시 미생물

공시재료로서 사용한 한지는 S한지(전주 소재)에서 구입하였다. 한지의 기본특성인 평량은 51.35 g/m^2, 두께는 0.139 mm이다. 구입한 한지의 크기는 70×142 cm^{2}이며, 3매를 구입하여 각 실험에서는 하나의 한지에서 하나의 시료를 준비하였다. 방사선 조사에 의한 미생물의 감수성을 평가하기 위해 *Bacillus cereus*와 *Aspergillus niger*를 공시 미생물로 사용하였다. *B. cereus*는 Brain Heart Infusion Broth (BHIB: Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 이용하여 30^{o}C에서 24시간 동안 배양한 후 Nutrient agar (NA: Difco)에 0.2 ml 접종한 후 30^{o}C에서 5 일 동안 배양하여 포자를 생성하게 했으며 포자의 형성은 현미경을 통하여 관찰 하

(a) (b)

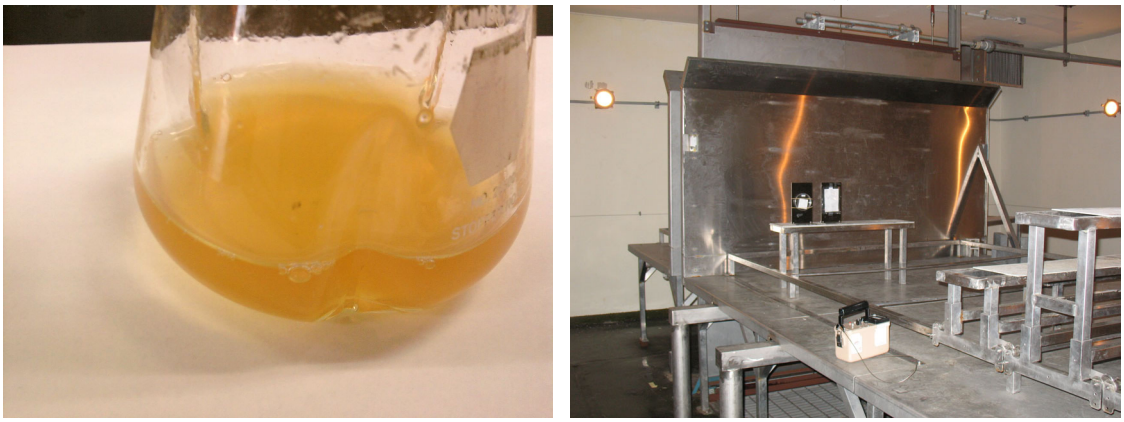

Figure 1. The picture of *B. cereus* culture (a) and gamma ray irradiation instrument (b).

였다. *A. niger*는 Potato dextrose agar (PDA: Difco) 에 25°C로 5 일 동안 배양하였다 (Figure 1). 배양된 공시 미생물은 희석하여 즉시 한지에 접종하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 방사선 조사

미생물이 접종된 한지의 방사선 조사는 한국원자력연구원 방사선과학연구소(Jeongup, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, South Korea) 내 선원 11.1 PBq, Co60 감마선 조사시설 (point source, ACEL, IR-79, Nordion International Co. Ltd, Ottawa, Ontario, Canada)을 이용하여 시간당 10 kGy의 선량률로 각 0, 2, 4, 6, 8, 그리고 10 kGy로 조사하였다 (Figure 1). 또한 방사선 조사에 의한 한지의 기계적 물성 변화를 알아보기 위해 20, 30, 40 그리고 50 kGy의 높은 선량으로 조사하였다. 흡수선량 alanine dosimeter (5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 Bruker EMS 104 EPR Analyzer로 측정 하였으며, 총 흡수선량의 오차는 2%이내 였다.

2.2.2. 물성 측정

한지의 방사선 조사 선량에 따른 물성변화를 알아보기 위해 A/TG grips과 HDP/FSR를 사용하여 Texture analyzer (TA-XT2i, SMS Co., UK)로 인장강도와 파열강도는 각각 분석하였다. 모든 실험은 3반복을 통하여 평균값과 오차값을 계산하였다. 방사선 조사된 한지의 색도 변화를 관찰하기 위해 Color Difference Meter (Spectrophotometer CM-3500d, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 명도 (Lightness, L*), 적색도 (Redness, a*) 그리고 황색도 (yellowness, b*)를 측정하였다. 이때 표준색은 L* 값이 90.5, a* 값이 0.4, b* 값이 11.0인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 미생물의 방사선 조사에 따른 감수성 평가

*B. cereus*와 *A. niger* 포자를 한지에 접종하여 방사선 감수성을 평가하였다 (Figure 2). 지류의 가장 큰 피해를 주는 곰팡이로는 *Aspergillus*로 알려져 있기에 대표적인 *A. niger*를 곰팡이를 공시균으로, 그리고 방사선에 대한 내성이 강한 것으로 알려져 있는 *B. cereus*를 박테리아의 공시균으로 사용하였다. *B. cereus*와 *A. niger*의 초기 포자 수는 각각 5.4과 5.7log CFU (Colony Forming Unite) (1 log는 10)로 약 250,000과 500,000 이다. 4 kGy 에서 *B. cereus*는 2.6log, *A. niger*는 3.2log로 각각 감소하였다. 6 kGy 이상의 선량에서 *B. cereus*는 더 이상 검출되지 않았다. 반면 *A. niger*의 경우 6 kGy 선량에서 2.6 log가 검출 되었으며 8 kGy 이상의 선량에서 검출되지 않았다. 이러한 결과로 부터, 한지에 접종된 *B. cereus*와 *A. niger* 포자를 90% 사멸시키는데 필요한 선량인 D_{10} value는 각각 1.43 kGy, 1.72 kGy로 나타났다. *B. cereus*는 오염된 음식 섭취 후 설사, 복통 및 구토 증세를 나타내는 식중독 병원성 인자(etiologic agent)로서 방사선 및 다른 열처리에 대한 저항성이 높기 때문에 사멸 연구가 많이 보고되어 있기때문에 본 연구에서 공시균으로

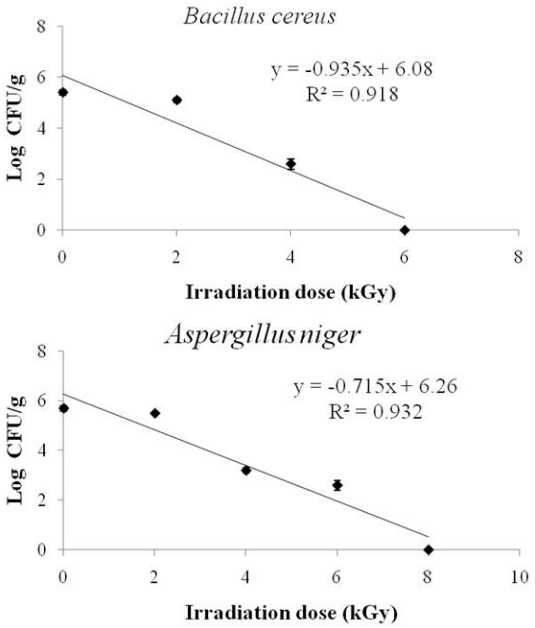

Figure 2. Inactivation of *B. cereus* and *A. niger* spores by gamma irradiation.

사용하였다.[12] *B. cereus*의 방사선 감수성 평가에 관한 선행 연구에서 멸균된 우육 제품에 접종한 연구에서 각각 D_{10} value가 0.63 kGy로 나타났으며 닭고기에서 분리한 *B. cereus*의 방사선 감수성 평가 결과 D_{10} value가 1.9 kGy로 보고 하였다.[13, 14] 따라서 본 연구에서 한지에 접종된 *B. cereus*의 방사선 감수성은 기존에 보고된 값과 유사한 값을 보이고 있다.

한편 수침 고목재는 골격물질을 이루는 섬유소의 파괴에 의해 물리적 강도가 약해진 상태이며 충, 균류와 같은 생물학적 요인에 의해 쉽게 파괴되고 소실될 가능성이 매우 높다. 이와 같이 약화된 수침 고목재를 미생물로부터 보존하기 위해 방사선 조사가 실시되어 왔으며 3.1 ~ 15 kGy의 선량으로 곰팡이류를 효과적으로 제거할 수 있음이 보고 되었다. 또한 수침 고목재로부터 분리된 *A. niger*의 경우 6 kGy의 방사선 조사에 의해 100% 사멸하는 것으로 알려졌다.[15] 마찬가지로 미생물에 의해 손상된 책과 문서들에서 *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium* 그리고 *Trichosporon*와 같은 곰팡이들이 분리 동정되었으며 방사선을 이용해서 이들을 제어하기 위해 16 kGy 선량의 방사선 조사가 필요함이 보고 되었다.[16] 또한 종이에 오염된 곰팡이 제어를 위한 방사선 조사의 적용에 관한 Tomazello와 Wiendl (1995)의 연구에서 *Aspergillus* spp.는 20 kGy, *Penicillium* spp.는 17.5 kGy 그리고 *Cladosporium cladosporioides*는 20 kGy의 방사선 저항성이 있다고 보고하였다.[17]

하지만 본 연구에서 8 kGy의 방사선 조사는 한지에 접종한 *A. niger*를 효과적으로 사멸시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 한지에 대한 생물학적 손상의 원인인 곰팡이인 *A. niger*를 완벽하게 불활성화시키기 위해서는 선행 연구들의 16 ~ 20 kGy와 같은 고 선량 방사선 조사가 필요 없는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 본 연구에서 사용된 한지는 이전의 외국의 선행연구에서 사용된 책이나 문서와 물성을 가지고 있으며, 또한 연구에 사용된 오염종의 차이에 의한 것으로 고려된다. 대상, 지역 및 환경에 따라 오염종이 다르기 때문에 보다 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.2. 한지의 방사선 조사에 따른 물성 평가

본 연구에서 공시 미생물의 불활성화를 위한 방사선 조사 선량이 10 kGy 미만이었기 때문에 이들 생물학적 열화인자(충류, 미생물)로부터 한지를 보존하기 위해서 10 kGy로 멸균이 가능하다. 하지만 방사선을 전통 고서 등의 보존을 위한 현장 적용 시, 그 전통 고서의 보존 상태, 환경 인자, 다양한 생물학적 열화인자 그리고 방사선 투과력 등이 방사선 살균 효율에 영향을 주기 때문에 10 kGy 이상의 고선량에 대한 재질 안정성 평가가 수행되어야 한다. 또한 국외 Tomazello와 Wiendl (1995)의 연구에서와 같이 고선량에서도 저항성이 있는 미생물들이 보고되어져서, 50 kGy의 고선량에 대한 한지의 물성영향을 평가하였다.

고선량 방사선 조사에 대한 한지의 물성 평가를 위해 인장강도, 파열강도 그리고 색도변화를 조사하였다. 인장강도 변화를 방사선 조사되지 않은 한지와 10, 20, 30, 40, 50 kGy로 조사된 한지와 비교해 보았을 때, 고선량인 50 kGy까지 한지의 유의한 인장강도의 변화는 나타나지 않았다 (Figure 3). 마찬가지로 한지의 파열강도 역시 50 kGy의 고선량으로 조사하였을 때, 강도의 차이는 나타나지 않는 것으로 나타났다 (Figure 4). 방사선 조사된 한지의 색도는 color/color different meter를 사용하여 Hunter's color value (L*, a*, b*)를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 색도 측정 결과 조사선량이 증가함에 따라 명도, 적색도 그리고 황색도 모두에서 유의적인 차이가 없었다 (Figure 5).

방사선 조사를 통한 수침 고목재의 보존 처리시 100 kGy의 방사선 조사는 수침 목재의 손상이나 물리적 특성

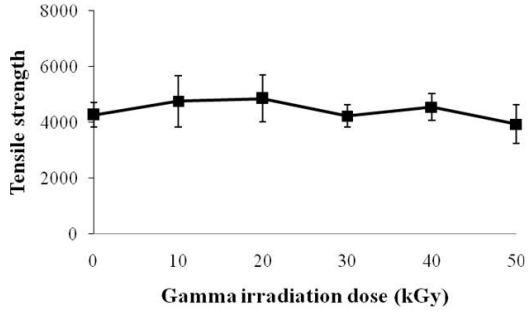

Figure 3. Tensile strength of Korean traditional paper irradiated at different doses.

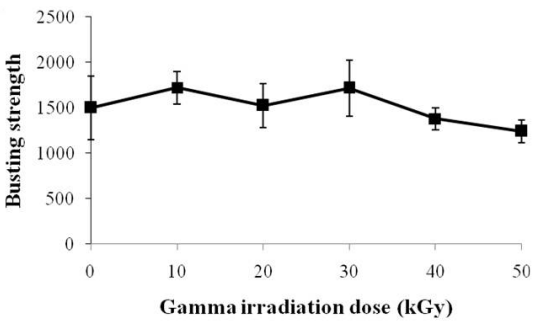

Figure 4. Bursting strength of Korean traditional paper irradiated at different doses.

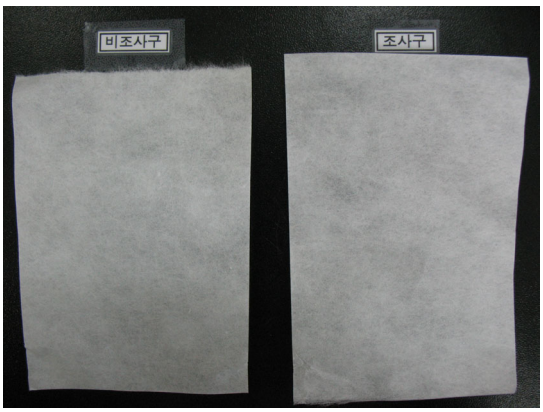

Figure 5. Comparison of the appearance of Korean traditional paper before and after irradiation.

에 영향을 주지 않는 것으로 보고 되었다.[15] Adamo et al. (1998)은 10 kGy의 방사선 조사는 종이의 기계-물리학적 특성에 영향을 주지 않는 것으로 보고하였으며 Gonzalez et al. (2002)의 연구에서 조사 후 12일 경과된 종이 역시 열화 진행이 관찰되지 않았다. 그의 연구는 14.4 kGy 선량을 이용한 실험이었으며 종이의 색도 역시 변화하지 않는 것으로 나타났다. 하지만 낮은 선량률(2.8 Gy/h)에 의한 장시간의 방사선 조사는 높은 산화적 피해 원인이 되며 셀룰로오스 중합도에 영향을 주는 것으로 보고되었다.[7] 본 연구에서 사용한 선량률은 시간당 10 kGy로 짧은 시간에 고 선량을 조사하기 때문에 이러한 산화적 피해를 최소화 할 수 있으며 셀룰로오스의 탈 중합을 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다. Choi et al. (2008)에 의하면 방사선 조사에 의한 셀룰로오스의 분해는 선량률이 증가할 경우 분해가 억제된다는 것을 보고하였다.[18] 이러한 결과들로부터 방사선 조사에 의한 한지내에서 셀룰로오스의 탈 중합역시 방사선 선량률에 의존한다고 유출할 수 있으며, 직접적인 셀룰로오즈의 중합도의 측정이 필요할 것으로 사료된다.

Table 1. Color index of gamma irradiated Korean traditional papers.

kGy	Color index		
	L*	a*	b*
0	77.37	0.52	1.42
10	77.83	0.59	1.80
20	79.72	0.60	2.05
30	77.17	0.50	1.48
40	77.97	0.60	1.99
50	77.26	0.54	1.86

따라서 방사선을 생물학적 열화로부터 한지를 보존하기 위한 멸균기술로 사용시, 고선량의 방사선은 재질의 안정성을 유지시키는 것으로 사료된다.

4. 결 론

방사선을 이용한 문화재의 멸균처리는 1970년대 후반 프랑스 Arc-nucleart연구소에서 람세스 2세의 미이라의 멸균처리에 이용한 것이 대표적인 예이다. 그들은 미이라 내부에 서식하는 곰팡이와 같은 미생물들이 명백한 부패 원인이라고 말하였으며 방사선을 조사를 통해 그 미생물들을 제어했다. 이후 방사선 조사를 통한 멸균처리는 흔한 일이 되었으며 목재조각, 가구, 또는 미술관의 소장고에 보관되어있는 민속자료에 대해서도 사용되어 오고 있다.[19]

하지만 국내의 경우 멸균을 위한 유기질 문화재에 대한 방사선 조사 사례는 없으며 훈증처리를통한 멸균 처리가 대부분이었다. 1982년 국내 최초로 파주 공순영릉을 대상으로 피복훈증처리가 실시된 이래로[20] 현재까지 훈증제로서 사용되어왔던 브롬화메틸은 온실가스로 지구 오존층 파

괴의 주 원인물질로 판명되어, 1987년 몬트리올 의정서에 의해 선진국에서는 2005년부터 사용이 금지되었다.[21] 마찬가지로 에틸렌 옥사이드 역시 강한 독성 때문에 사용이 금지될 예정이다.

본 연구를 통해 한국전통한지에 접종된 미생물을 불활성화 시키기 위해서 *B. cereus* 포자는 6 kGy, *A. niger* 포자는 8 kGy 방사선 선량이 필요한 것으로 나타났다. *A. niger*의 경우, 유기질 문화재에 피해를 줄 뿐만 아니라 형성된 포자를 인간이 흡입하였을 경우 아르페리길루스증(asperigillosis)과 같은 병을 유발하기도 한다. 이와 같이 문화재뿐만 아니라 인간에게도 유해한 곰팡이를 방사선을 통해 제어할 수 있음을 확인하였다.

정 등(1995)은 한국전통한지에 자외선 조사를 통한 인공열화 실험에서 인장강도는 4.9% 감소하였으며 파열강도 역시 32시간 열화 후 9 ~ 28% 감소하는 것으로 보고 하였다.[22] 하지만 Magaudda (2004)의 연구에서 10 kGy 방사선 선량은 종이의 기계, 물리적 물성을 유의적으로 변화시키지 않으며 종이의 색도 역시 변화시키지 않는 것으로 보고하였다.[23] 마찬가지로 50 kGy의 고선량으로 한국전통한지에 방사선을 조사하였을 때 기계-물리적 특성의 변화는 나타나지 않았다.

이상으로 본 연구를 통해 한국전통고서 및 한지문화재의 보존을 위한 방사선 조사는 매우 효과적인 것으로 확인하였으며 현재 미생물들에 의해 손상된 한국전통고서 및 한지문화재의 보존을 위한 멸균처리 기술로 활용할 수 있으며 더 나아가 목조, 섬유 문화재 등 유기질 문화재에 적용 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소 2009년도 동산문화재복원기술개발 연구 R&D「목조문화재의 생물학적피해 방제기술 개발」사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 도와주신 한국전통문화학교 보존과학과, 공주대학교 생물학과 그리고 국립문화재연구소 복원기술연구실에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한성희, "유기질 문화재의 보존과 관리". *국립문화재연구소*, (2005).
2. Bennett, J.W., Faison, B.D., "Use of Fungi in Biodegradation. In: Hurst, C.J., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stetzenbach, L.D.,Walter, M.V. (Eds.)", *Manual of Environmental Microbiology*. ASM Press, Washington, p758-765, (1997).
3. Adamo, M., Magaudda, G., Nisini, P.T., Tronelli, G., "Susceptibility of cellulose to attack by cellulolytic microfungi after gamma irradiation and ageing". *Restaurator*, **24**, p145-151, (2003).
4. Adamo, M., Brizzi, M., Magaudda, G., Martinelli, G., Plossi-Zappala` , M., Rocchetti, F., Savagnone, F., "Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions". *Restaurator*, **22**, p107-131, (2001).
5. Gonzalez, M.E., Calvo, A.M., Kairiyama, E., "Gamma radiation for preservation of biologically damaged paper". *Radiation Physics and Chemistry*, **63**, p263- 265, (2002).
6. McNamara, N.P., Black, H.I.J., Beresford, N.A., Parekh, N.R., "Effects of acute gamma irradiation on chemical, physical and biological properties of soils". *Applied Soil Ecology*, **24**, 117-132, (2003).
7. Adamo, M., Giovannotti, M., Magaudda, G., Plossi-Zappala`, M., Rocchetti, F., Rossi, G., "Effect of gamma rays on pure cellulose paper as a model for the study of a treatment of "biological recovery" of biodeteriorated books". *Restaurator*, **19**, 41-59, (1998).
8. Rocchetti, F., Adamo, M., Magaudda, G., "Fastness of printing inks subjected to gamma-ray irradiation and accelerated ageing". *Restaurator*, **23**, p15-26, (2002).
9. Hanus, J., "Gamma radiation for use in archives and libraries". *Abbey Newsletter*, **9**, p34-36, (1985).
10. Pointing, S.B., Jones, E.B.G., Jones, A.M., "Decay prevention in water logged archaeological wood using gamma irradiation". *International Biodeterioration & Biodegradation*, **42**, p17-24, (1998).
11. Tomazello, M.G.C., Wiendl, F.M., "The applicability of gamma radiation to the control of fungi in naturally contaminated paper". *Restaurator*, **16**, p83-99, (1995).
12. Aberle, E.D., J. Forrest, D.E Gerrad, E.W. Mills, "Principles of meat Science (4^{th}ed)". Hunt Publishing Co., Kendall, USA (2001).
13. Kim, S., "Elimination of spore bacteria in beef by gamma irradiation". *J. Fd. Hyg. Safet*. **13**(3), p294-298, (1998).
14. D. A Zahran, B.A. Hendy, El.H. Hala, "Incidence and radiation sensitivity of *Bacillus cereus*, Listeria momocytogenes and their toxins in some chicken products". *World Applied*

Sciences Journal, 5(2), p182-188, (2008).

15. S.B. Pointing, E.B.G. Jone, A.M. Jones, "Decay prevention in waterlogged archaeological wood using gamma irradiation". *International Biodeterioration & Biodegradation*, **42**, p17-24, (1998).
16. Manuela da Silva, A.M.L. Moraes, M.M. Nishikawa, M.J.A. Gatti, M.A. Vallim de Alencar, L.E. Brandao, A. Nobrega, "Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation". *International Biodeterioration & Biodegradation*, **57**, p163-167, (2006).
17. Tomazello, M.G.C., Wiendl, F.M., "The applicability of gamma radiation to the control of fungi in naturally contaminated paper". *Restaurator*, **16**, p83-99, (1995).
18. Choi, J., Lee, H.S., Kim, J.H., Lee, K.W., Lee, J.W., Seo, S., Kang, K.W., Byun, M.W., "Controlling the radiation degradation of carboxymethylcellulose solution". *Polymer Degradation and Stability*, **92**, p310-315, (2008).
19. 자크 뒤션, "Arc-nucleart연구소의 보존, 복원, 멸균작업". *한국문화재보존과학회*, (2002).
20. 文化財管理局 文化財研究所, "文化財研究所十年史". p84, (1985).
21. 강대일, "Methyl Bromide를 대체하는 훈증 가스의 문화재 재질 안정성 평가". *보존과학회지*, **25**(3), p283-291, (2009).
22. 정선화, 조남석, "자외선조사 인공촉진 열화처리가 종이의 광학적, 기계적 특성에 미치는 영향". *펄프·종이기술*, **27**(3), p42-50, (1995).
23. Magaudda, G., "The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved". *Journal of Cultural Heritage*, **5**, 113-118, (2004).