

감마선 조사처리가 지류의 물성에 미치는 영향

정혜영¹ · 최경화^{1*} · 박지희¹ · 정필문² · 최종일²

(2010년 8월 10일 접수: 2010년 9월 18일 채택)

The Effect of Gamma ray irradiation on Paper Properties

Hye Young Jeong¹, Kyoung-Hwa Choi^{1*}, Ji Hee Park¹, Pil-Mun Jung² and Jong-il Choi²

(Received August 10, 2010: Accepted September 18, 2010)

ABSTRACT

Recently, the use of fumigants for pest control of paper cultural heritages are limited because of the high toxicity of fumigants and the production of environment-harmfully compounds. Therefore, many non-chemical methods have been discussed and experimented. And it is recently focused on gamma radiation, which is one of non-chemical methods, for pest control of paper cultural heritage in Korea. In this paper, we carried out a gamma ray irradiation of papers including Hanji, copy paper, filter paper and then analyzed a physical properties and optical properties of paper sample to estimate the effect of gamma ray irradiation on paper properties. In result, gamma radiation have adverse effect on a physical properties and optical properties of paper, especially Hanji. Therefore, we have to carefully consider about using of gamma ray for pest control of paper cultural heritages.

keywords : *gamma ray irradiation, paper properties, paper cultural heritage, biodegradation, sterilization*

1. 서 론

도서관 및 박물관 내 지류 문화재들은 부적절한 보존 환경에서 균류, 충류, 설치류 등에 의하여 심각한 생물학적 열화를 일으킨다.²⁾ 따라서 생물열화를 방지하기 위하여 여러 가지 방안들이 연구되고 있는데, 이러한 생물열화 방지처리는 크게 화학적 처리와 비화학적 처리로 구분되어질 수 있다. 화학적 처리에는 메틸브로마

이드(methylbromide), 티몰(thymol), 오르토펜일페놀(ortho-phenyl phenol), 에틸렌옥사이드(ethylene oxide), 카본다이옥사이드(carbon dioxide), 파라디클로로벤젠(para-dichlorobenzene) 등의 처리제들이 사용되고 있으며, 비화학적 처리에는 가열 및 동결, 크리닝, 자외선 조사, 감마선 조사, 저 산소처리 등의 방법이 사용되고 있다.^{1,3)}

현재까지 생물학적 방제처리로 훈증방법이 널리 사

1 국립문화재연구소 복원기술연구소(Research Division of Restoration Technology, National Research Institute of Cultural Heritage)

2 한국원자력연구원 방사선 식품생명공학연구소(Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute)

* 주저자(Corresponding Author): E-mail: bleaching@kangwon.ac.kr

용되어져 왔다. 이 방법은 가스상 처리이기 때문에 효율성이 높고 처리 시 유물의 안쪽까지 처리된다는 장점이 있으나 인체에 유해하며, 유물에 잔류되어 안정성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 주로 사용되고 있는 메틸브로마이드 등의 훈증처리제들은 환경에 유해한 물질들로 그 사용이 제한 또는 금지되고 있는 실정이다. 따라서 최근 들어 친환경적인 비화학적 처리 방법들에 대한 관심이 급증하고 있다.⁴⁾

특히 감마선은 높은 침투력을 가진 전자파로, 잔여물 없이 물질을 통과하고, 조사 후에 책과 문서의 처리가 안전하기 때문에 다른 살균처리법보다 이점이 있어 근래 감마선 조사에 대한 연구가 이루어지고 있다.⁵⁻⁸⁾ 최근 들어 국내에서도 감마선 조사를 이용한 유기질 문화재의 방제처리에 대한 관심이 급증하고 있으며, 이에 대한 연구가 이루어지고 있다. 우리나라 지류 문화재는 거의 대부분 닥나무로 제조된 한지가 주이다. 그러나 감마선 처리에 따른 한지의 특성 변화에 대한 연구가 거의 전무한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 감마선 조사 처리가 한지의 물성 변화에 미치는 효과를 분석하기 위하여 한지, 중성복사용지 및 여과지 등의 종이 시료에 조사량을 달리하여 감마선 조사 처리를 실시한 후, 점도, 물리적·광학적 특성 등을 분석하여 주었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 종이시료는 한지, 중성복사용지, 여과지이며, 각각의 기본 특성은 다음 Table 1과 같다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 감마선 조사 처리

감마선 조사량이 지류에 미치는 영향을 평가하기 위



Fig. 1. Gamma ray irradiation instrument.

하여 각각 4, 8, 12, 16, 20 kGy로 감마선 조사를 실시하였다. 감마선 조사는 한국원자력연구원 정읍 방사선화학연구소에서 실시하였으며, Co-60의 핵종을 사용하였다. 또한 감마선 조사량을 고르게 하기 위하여 조사하는 동안 시료를 회전시켰다(Fig. 1).

2.2.2. 점도 분석

Tappi method 230 om-99에 의거하여 각 시료의 점도를 측정하였다. 여과지 및 중성복사용지의 점도 측정 시에는 Capillary viscometer No 100을 사용하였으며, 한지의 경우에는 Capillary viscometer No 150을 사용하였다.

2.2.3. 물리적 특성 분석

각 시료를 ISO 187에 의거하여 항온항습 조건에서 조습처리한 후, 물리적 특성으로 인장강도는 ISO 1942-2, 내절강도는 KS M ISO 5626, 인열강도 Tappi method 414 om-98, 파열강도 ISO 2758-1983에 의거하여 측정하였다. 측정장비는 Tinius olsen 社의 MIT #1 folding endurance, L&W 社의 L&W 062, FRANK 社의 FRANK 53984, L&W 社의 L&W SE002 모델의 측정 장치들을 사용하였다.

2.2.4. 광학적 특성 분석

Table 1. Generals of paper samples.

	Basis weight(g/m ²)	Thickness(mm)	Direction	Others
Hanji	63.69	0.152	MD/CD*	
copy paper	75	0.100	MD/CD**	alkaline paper
filter paper	101.91	0.230		

* MD: bal direction, CD: bal cross direction

** MD: machine direction, CD: cross direction

각 시료의 광학적 특성 분석을 위하여 항온항습 조건에서 조습처리한 후, ISO 2470, 5631에 의거하여 백색도와 색도를 측정하였으며, 측정 장치는 L&W 社의 ELREPHO를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

감마선 조사 처리가 종이의 물성 변화에 미치는 효과를 분석하기 위하여 한지, 중성복사용지 및 여과지 등의 종이 시료에 조사량을 달리하여 감마선 조사 처리를 실시 한 후, 점도 및 물리적·광학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

3.1. 점도

감마선 조사량에 따른 각 지종의 점도 결과는 조사 처리 전 시료의 점도값(100%)에 대한 비율로 나타내었다(Fig. 2). 그림에서 보는 바와 같이 감마선 조사 처리 시 점도가 대폭 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 한지의 경우 중성복사용지 및 여과지 시료에 비해 점도 감소율이 크게 나타났다.

3.2. 물리적 특성

3.2.1. 내절강도(MIT folding endurance)

감마선 조사량에 따른 각 지종의 내절강도 변화율은 Fig. 3, 4, 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 감마선 조사량이 증가할수록 내절강도가 감소하였으며, 지종 및 방향성에 따라 다른 경향을 보였다. 여과지의

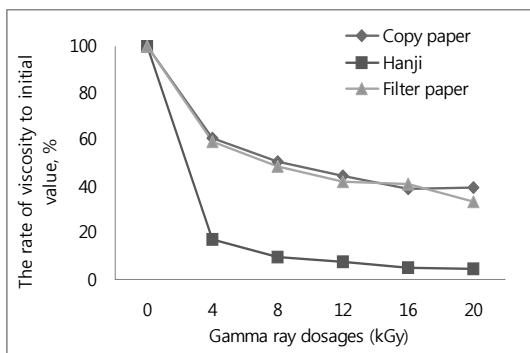


Fig. 2. The change of viscosity of filter paper according to gamma ray radiation.

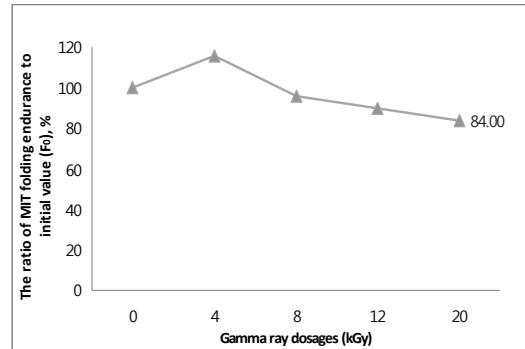


Fig. 3. The change of MIT folding endurance of filter paper according to gamma ray radiation.

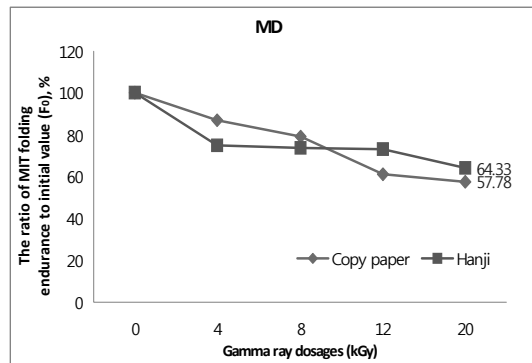


Fig. 4. The change of MIT folding endurance of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation(MD).

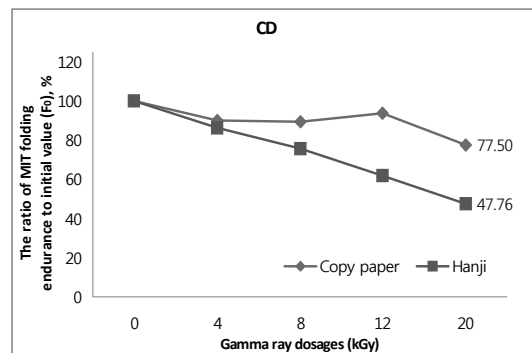


Fig. 5. The change of MIT folding endurance of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation(CD).

경우 한지나 중성복사용지에 비하여 내절강도 감소율이 작게 나타났으며, 방향성이 있는 한지나 중성복사용지의 경우 MD방향에서는 조사량이 증가할수록 한지보다 중성복사용지의 내절강도 감소율이 크게 나타났으며 CD방향에서는 반대의 경향을 나타내었다.

3.2.2. 인장강도(Tensile index)

감마선 조사량에 따른 각 지종의 인장강도 변화율은 Fig. 6, 7, 8에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 여과지는 8kGy 이상의 감마선을 조사할 경우 약 20%의 인장강도가 감소하였다. 반면에 한지나 중성복사용지의 인장강도는 감마선 조사량에 따라 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

3.2.3. 인열강도(Tear index)

감마선 조사량에 따른 각 지종의 인열강도 변화율은

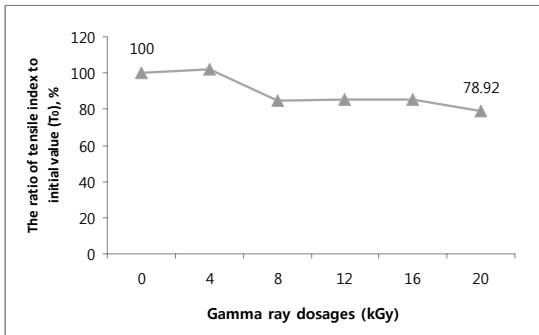


Fig. 6. The change of tensile index of filter paper according to gamma ray radiation.

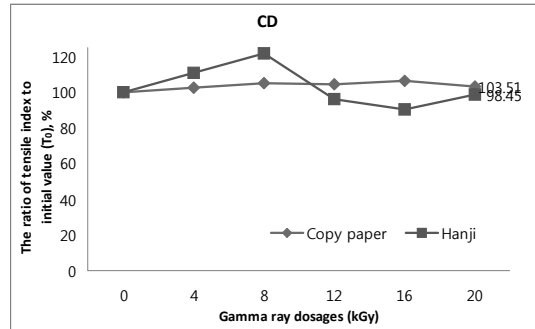


Fig. 8. The change of tensile index of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation (CD).

Fig. 9, 10, 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 여과지는 16 kGy 이상의 감마선을 조사할 경우 인열강도가 감소되었다. 중성복사용지는 MD, CD방향 모두

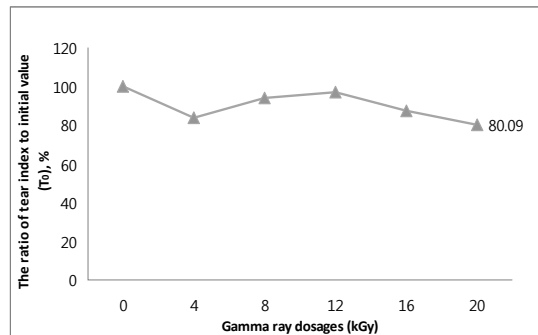


Fig. 9. The change of tear index of filter paper according to gamma ray radiation.

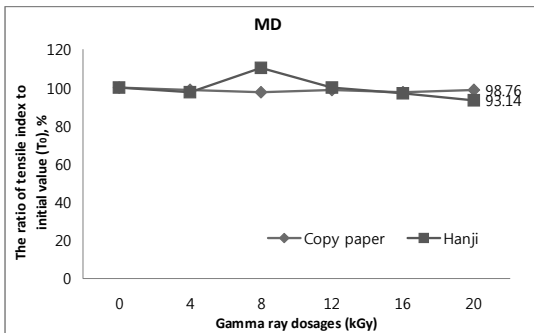


Fig. 7. The change of tensile index of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation(MD).

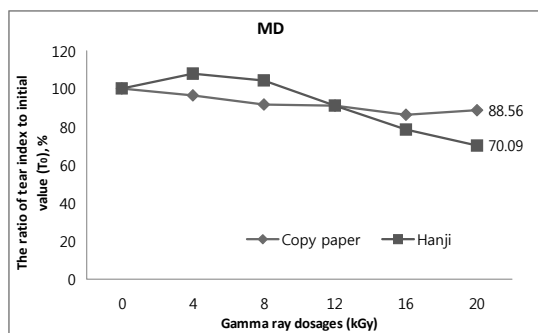


Fig. 10. The change of tear index of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation(MD).

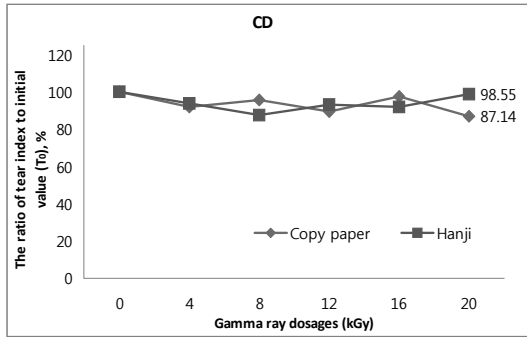


Fig. 11. The change of tear index of Hanji and copy paper according to gamma ray radiation(CD).

감마선 조사에 의하여 강도가 약 10% 정도 감소되었다. 한지는 방향성에 따라 상이한 결과를 나타내었는데 MD방향의 경우에는 12 kGy 이상의 감마선 조사 시 강도가 급격히 감소되었으며, CD방향에서는 인열강도 변화율이 적어 감마선 조사에 의한 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

3.2.4. 파열강도(Burst strength)

감마선 조사량에 따른 각 지종별 파열강도 변화율을 Fig. 12에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 여과지는 감마선 조사량이 20 kGy일 때 약 5.6%의 강도 감소율을 나타내었으며 중성복사용지는 약 6.6%의 강도 감소율을 나타내어 조사량에 대한 파열강도의 변화를 거의 보이지 않았다. 한지의 경우 조사량이 증가할수록 파열강도가 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었다.

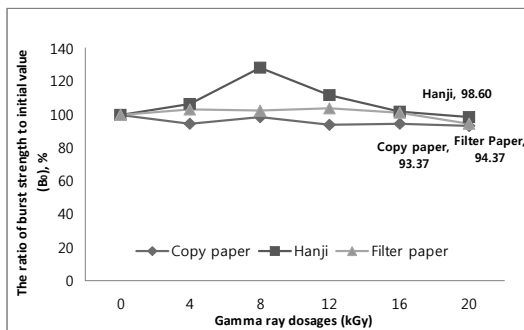


Fig. 12. The change of burst strength of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

3.3. 광학적 특성

3.3.1. 백색도

감마선 조사량에 따른 각 지종별 백색도 변화율을 살펴본 결과는 다음 Fig. 13에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 한지의 경우 감마선 조사 시 다소 백색도가 증가되었다. 중성복사용지 및 여과지는 감마선 조사량이 증가할수록 백색도가 감소되었는데 여과지에 비해 중성복사용지의 감소율이 보다 높게 나타났다.

3.3.2. 색도

감마선 조사량에 따른 각 지종별 색도 변화율을 살펴보기 위하여 L^* , a^* , b^* 값을 측정된 결과는 다음 Fig. 14, 15, 16에 나타내었다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 L^* 값

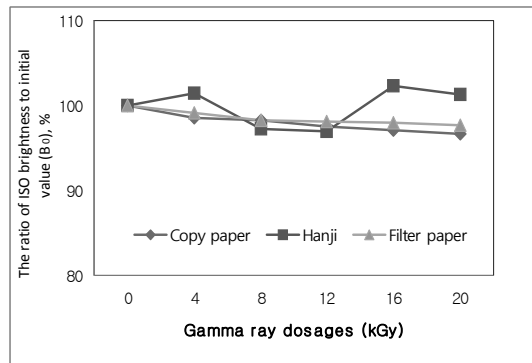


Fig. 13. The change of ISO brightness of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

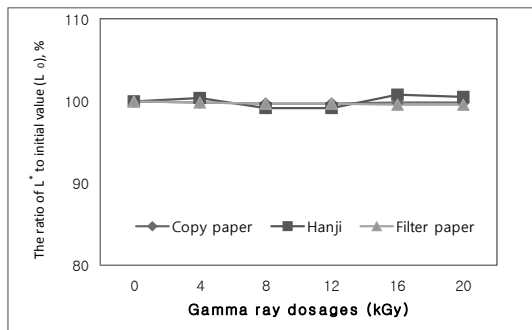


Fig. 14. The change of L^* of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

은 감마선 조사에 거의 영향을 받지 않은 것으로 나타났으나 한지의 경우에는 약간의 증가율을 보였다.

a*값은 Fig. 15에서 보는 바와 같이 여과지의 경우 감마선 조사 시 약간 감소되는 경향을 나타내었으며, 중성복사용지는 감마선 조사량이 증가할수록 감소되는 경향을 나타내었다 한지는 감마선 조사량이 증가할수록 증가하다 감소되어 20kGy의 감마선 조사 시에는 초기값에 비해 그 값이 감소되었다.

b*값은 Fig. 16에서 보는 바와 같이 여과지 및 중성복사용지의 경우 감마선 조사량이 증가할수록 증가하였으며, 중성복사용지의 증가율이 여과지보다 높았다. 한지는 12 kGy 이하의 감마선 조사 시 그 값이 증가하였으며, 16 kGy 이상의 감마선 조사 시에는 거의 변화가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과들로 볼 때, 중성복

사용지의 경우 한지와 여과지에 비하여 감마선 조사 시 색도에 영향을 많이 받는 것으로 보인다. 특히 a*값은 감소하고 b*값은 크게 증가하였으므로 감마선 조사에 따라 황색화(yellowing)가 발생하는 것으로 보인다.

3.3.3. 불투명도

감마선 조사량에 따른 각 지종별 불투명도 변화율은 다음 Fig. 17에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 여과지와 중성복사용지는 거의 변화를 나타내지 않아 감마선 조사량에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 그러나 한지의 경우에는 감마선 조사량이 증가할수록 불투명도가 증가하다가 점차 감소되어 20 kGy의 조사량에서는 초기값에 비해 감소되는 결과를 나타내었다.

4. 결론

감마선 조사 처리에 대한 한지, 중성복사용지, 여과지의 물리적 특성 및 광학적 특성에 대한 분석 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

감마선 조사량이 증가할수록 각 시료의 점도 및 물리적 특성은 모두 감소하여 감마선 처리에 대한 안정성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 또한 광학적 특성의 경우, 한지는 거의 영향을 받지 않은 것으로 나타났으나 중성복사용지 및 여과지의 경우에는 황색화(yellowing)되는 경향을 나타내었으며, 특히 중성복사용지의 황색화(yellowing)가 더 높게 발생되었다. 그러므로 지류문

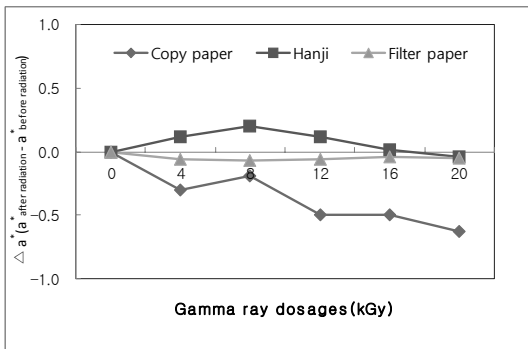


Fig. 15. The change of a* of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

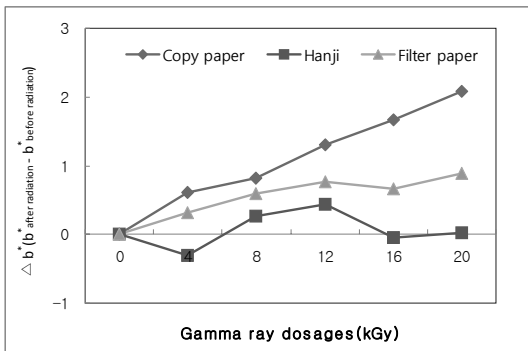


Fig. 16. The change of b* of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

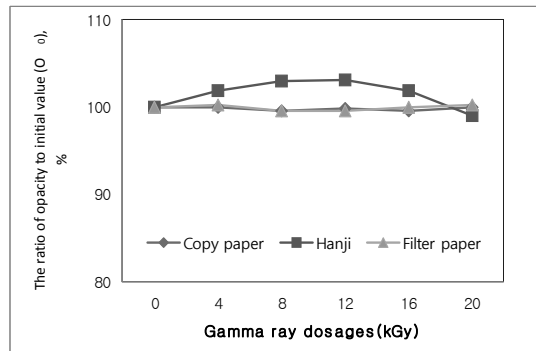


Fig. 17. The change of opacity of filter paper, copy paper and Hanji according to gamma ray radiation.

화재를 위한 생물학적 보존처리로 감마선 조사처리 방법을 사용하는 것에 대해 심사숙고할 필요가 있다. 특히 우리나라 지류 문화재를 구성하고 있는 한지의 경우 그 종류에 따라 특성이 모두 다르므로 추후 감마선 조사 처리에 대한 보다 정확한 영향평가를 위해서 다양한 한 지류에 대한 감마선 조사의 영향에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한 감마선 조사량에 따른 생물열화 인자의 제어 효과 및 그에 따른 종이의 안정성 평가 등에 대한 보다 구체적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소에서 지원한 보존복원 기술개발연구 중 「조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구」의 일환으로 진행되었습니다.

인용문헌

1. Nyberg, S., The Invasion of the Giant Spore, SOLINET Preservation Program, Leaflet Number 5, (1987). <http://www-sul.stanford.edu/tools/tutorials/html2.0/spore.html>
2. Crespo, C. and Vinas, V., The preservation and restoration of paper records and books: a ramp study with guidelines, Crespo, C., pp.26-27, UNESCO in Paris (1985).
3. Brezner, J. and Buner, P., Preservation of library material by microwave radiation, Paper Preservation, pp.111-115, Tappi press in USA (1989).
4. Tiano, P., Biodegradation of cultural heritage: decay mechanism and control methods, CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) in Italy. http://www.archip.cz/w09/w09_tiano.pdf
5. Da Silva, M., Moraes, A. M. L., Nishikawa, M. M., Gatti, M. J. A., Vallim de Alencar, M. A., Bradão, Nóbrega, A., Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation, International Biodeterioration & Biodegradation 57: 163-167 (2006).
6. Giuseppe Magaudda, The recovery of biodeteriated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved, Journal of Cultural Heritage 5: 113-118 (2004).
7. R. Silverman, M. Bliss, H. Erickson, N. Fidopiastis, J. Francl, B. Knight, K. Lively, J. Neuvirt, D. Novotny, N. Yeager, Comparing Mass Drying and Sterilization Protocols for Water-Damaged Books, NCPTT(national Center for Preservation Technology and Training) (2008). <http://www.ncptt.nps.gov/>
8. P. Sinco, The use of gamma rays in book conservation, Abbey Newsletters 24(2): 38-40 (2000)