

정혜영, 최경화
박지희, 서진호

산소흡수제
처리가 *Aspergillus*
*versicolor*와
Penicillium
*polonicum*에 의한
한지의 생물열화
특성에 미치는 효과



산소흡수제 처리가 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*에 의한 한지의 생물열화 특성에 미치는 효과

정혜영*, 최경화*¹, 박지희*, 서진호**

*국립문화재연구소, **국민대학교 임산생명공학과대학원



The Effect of Oxygen Absorbent on Aged Characteristics of Hanji during Biological Artificial Aging by *Aspergillus versicolor* and *Penicillium polonicum*

Hye Young Jeong*, Kyoung-Hwa Choi*¹, Ji Hee Park*, and Jin Ho Seo**

* Research Division of Restoration Technology, National Research Institute of Cultural Heritage

** Graduated school of Forest product & Biotechnology, Kookmin University

¹ Corresponding Author : bleaching@kangwon.ac.kr

| 초록 |

박물관 및 도서관 등에 소장되어 있는 지류 유물은 균류, 곤충, 설치류 등과 같은 다양한 생물학적 열화요인들에 의해 비가역적인 손상을 입을 수 있다. 특히 습도가 높은 조건에서는 균에 의한 열화가 발생되기 쉬우며, 균류는 종이의 주성분인 셀룰로오스 및 사이징제, 전분, 아교 등의 탄수화물과 단백질 성분을 영양원으로 하므로 종이의 노화를 야기하게 된다. 현재까지 박물관과 도서관 등에서 지류 유물에 생물학적 열화를 발생시킬 수 있는 미생물종으로 약 300여 종이 동정되었으며, 그 중에서도 Aspergilli (30%)와 Penicilli (30%)가 셀룰로오스의 주요 열화 균으로 알려져 있다. 균류에 의한 생물학적 손상을 방지하기 위한 가장 좋은 방법으로서 습도, 온도, 산소 등 미생물의 생육 조건을 조절, 억제 또는 차단하는 방법을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산소흡수제를 이용하여 미생물의 생육조건 중 산소를 조절하여 *Aspergillus versicolor* 과 *Penicillium polonicum* 균에 의한 생물열화 방지 효과를 분석하였다. 연구 결과 산소흡수제 처리가 2종의 균에 의한 생물학적 열화 억제 효과가 있음을 확인하였다.

주제어: 산소흡수제, 방지효과, 생물열화, 한지, 아스퍼질러스 버시콜라, 페니실리움 폴로니쿰

*접수: 2011. 9. 30 *수정: 2011. 10. 31 *게재확정: 2011. 11. 9

| ABSTRACT |

Paper cultural heritages in museums and libraries are deteriorated by many biological factors like as fungi, insects, bacteria and rodents and get irreversibly damaged. Especially, paper components like as cellulose, hemicellulose, lignin, pectins, tannins, proteins and mineral additives are good nourishment for microorganism. Through some studies on fungi causing the aging of paper materials, *Aspergilli* (about 30%) and *Penicilli* (more than 30%) are the most common among 300 different kinds of microorganism that caused the biological aging of paper cultural heritages in museums and libraries. At present, various treatments are attempted to control the biodeterioration by these fungi. Especially, it is focused on the control of environmental factors such as humidity, temperature and oxygen. In this study, the oxygen absorbent was used to control oxygen, one of the these favorable conditions during the biological aging of Hanji by *Aspergillus versicolor* and *Penicillium polonicum* and then the effect on prevention in aging by this treatment was investigated. In result, the oxygen absorbent treatment had the good effect on prevention in aging during the biological aging by two species of fungi.

Key Words : Oxygen absorbent, protection effect, biological aging, Hanji, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium polonicum*

1. 서론

박물관 및 도서관 등에 보관된 지류 유물의 경우 보존환경에 따라 균류, 곤충, 설치류 등에 의한 생물열화가 야기되기 쉽다. 특히 습도가 높은 조건에서는 균에 의한 열화가 발생되기 쉬우며, 균류는 종이의 주성분인 셀룰로오스 및 사이징제나 전분, 아교 등의 탄수화물과 단백질 성분을 영양원으로 하여 종이의 노화를 발생시킨다(Crespo, C., Vinas, V., 1985; Gallo, F., 1985). 이러한 미생물에 의한 열화는 회복이 불가능한 비가역적인 열화를 발생시키기 때문에 사전에 미리 방지하는 것이 중요하다.

일반적으로 미생물의 생육조건은 양분, 온도, 수분, 산소 등이 있다. 지류문화재 자체가 영양원으로 주어진 상태에서 온·습도까지 미생물의 생육에 적합한 환경이 된다면 미생물에 의한 지류문화재의 훼손을 피할 수 없을 것이다(Porck, H. J., Teygeler, R., 2001). 또한 환경

조건에 따라 생물학적 열화 과정과 열화 정도도 달라질 수 있다. 따라서 미생물의 생육 조건을 조절하여 생물열화를 방지하는 방법들이 연구되고 있는데, 현재까지 균류에 의한 생물학적 열화를 방지하기 위한 방법으로 훈증 소독이 주로 행해지고 있다. 그러나 훈증약품이나 그 반응 생성물은 오랫동안 종이 내에 잔존함으로써 지류 문화재에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다는 연구결과가 보고되고 있으며 훈증 소독은 인체 건강에 해롭기 때문에 오직 훈련된 사람이나 병충해 방제 전문가만이 수행하고 있다. 특히 브롬화메틸과 같은 일부 훈증약품은 환경에 해롭기 때문에, 현재 세계적으로 사용을 금지하고 있다(Barba, D et. al, 2003). 그러므로 훈증 소독 이외에 생물학적 열화를 방지하기 위한 다양한 대체 방안들이 연구·사용되고 있으며, 이러한 방법에는 감마선 조사, 전자파 조사, 냉동처리, 불활성가스 처리(무산소 상태), 환경 제어 등이 검토되고 있다. 특히, 최근 박물관에서는 해충

방지를 위해 저 산소 조건에서 보관하는 방법에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다(Porck, H. J., Teygeler, R., 2001; Maekawa, S., Elert, K., 2003; Daniel, V. et al, 1993).

현재까지 저 산소 보관 방법은 불활성 가스를 처리하는 경우가 대부분이었다. 그러나 이러한 불활성 가스 처리 방법은 안전성과 경제적인 측면에서 그 처리가 제한되어 있으므로 이를 해결할 방안에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지류의 주요 성분인 셀룰로오스를 분해시키는 주요 열화 원인균으로 알려진 *Aspergilli*(약 30%)와 *Penicilli*(30% 이상) 종(Crespo, C., Vinas, V., 1985; Gallo, F., 1985) 중의 하나인 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*이 접종된 한지(각 공방에서 수집한 자숙제를 달리한 한지 시료)를 산소흡수제가 처리된 보존 필름으로 제조한 백에 넣어 밀폐처리한 후, 인공생물열화를 실시하여 산소흡수제에 의한 생물열화 방지효과를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

1) 한지

본 실험에 사용된 종이시료는 국내에서 전통 한지를 제조하는 대표적 공방 4곳에서 자숙제를 달리하여 제조한 한지를 분양받아 사용하였다(Table 1).

2) 균(fungi)

한지의 생물학적 열화에 사용된 균은 앞서 언급한 바와 같이 지류를 열화 시키는 균류 중 가장 많은 비중을 차지하는 *Aspergilli*(약 30%)와 *Penicilli*(30% 이상) 중 2종의 균을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 각각의 균은 조선왕조실록 밀랍본의 분리균으로 알려진 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*이며(조성은 외 2009) 농업유전자원센터(KACC)에서 분양받아 PDA(Potato Dextrose Agar) 배지에 접

Table 1. The description of Hanji

Manu- fact- urers	Sample name	Cooking Chemicals	Basis weight (g/m ²)	Manu- fact- urers	Sample name	Cooking Chemicals	Basis weight (g/m ²)
A	AN	Natural lye (Hot pepper stem)*	29.00	B	BN	Natural lye (Cotton stem)*	33.08
	AC	Sodium Carbonate	29.92		BC	Sodium Carbonate	32.00
C	CN	Natural lye (Hot pepper stem)*	31.50	D	DN	Natural lye (buck wheat stem)*	38.04
	CC	Sodium Carbonate	28.42		DC	Sodium Carbonate	33.67

In this table, A, B, C, D : four manufactories; N : natural ash; C : sodium carbonate * Source of natural lye

중하여 28°C의 인큐베이터에서 2주간 배양하였다(Table 2).

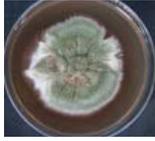
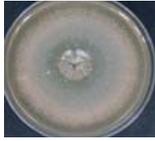
2.2. 실험방법

1) 생물열화 및 산소흡수제 처리

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 생물열화 및 산소흡수제 처리를 실시하였다. 먼저 각각의 한지를 6×6cm 크기로 재단하여 가압멸균장치(auto-clave)에서 120°C로 멸균한 후 무균상자(clean

bench) 내에서 직경 90mm의 페트리 디시에 한 장씩 넣었다. 이후 cork borer(3호, φ6mm))를 사용하여 균을 절취한 후 페트리 디시 내 한지의 중앙에 접종하였으며, 균이 접종된 페트리 디시의 뚜껑을 개봉한 상태로 지름 150 mm의 페트리 디시 내에 투입하였다. 마지막으로 균의 생장에 필요한 수분을 제공하기 위해 균에 직접 닿지 않도록 바깥쪽의 페트리 디시(φ150mm) 내에 10mL의 멸균수를 넣은 후, 파라 필름(parafilm)으로 밀봉하였다. 각 시료의 생물학적 열

Table 2. Histories and cultivation conditions of *Aspergillus versicolor* and *Penicillium polonicum*

Scientific name	Sample name	KACC No.	History	Location	Source	Culture	Temperature	Image
<i>Aspergillus versicolor</i>	K-8	41873	CBS 245.65	Indiana, USA	Cellophane	PDA (Potato Dextrose Agar)	28°C	
<i>Penicillium polonicum</i>	K-9	43011	CNU 0600092	Daejeon, Korea	Pinus densiflora	PDA (Potato Dextrose Agar)	28°C	

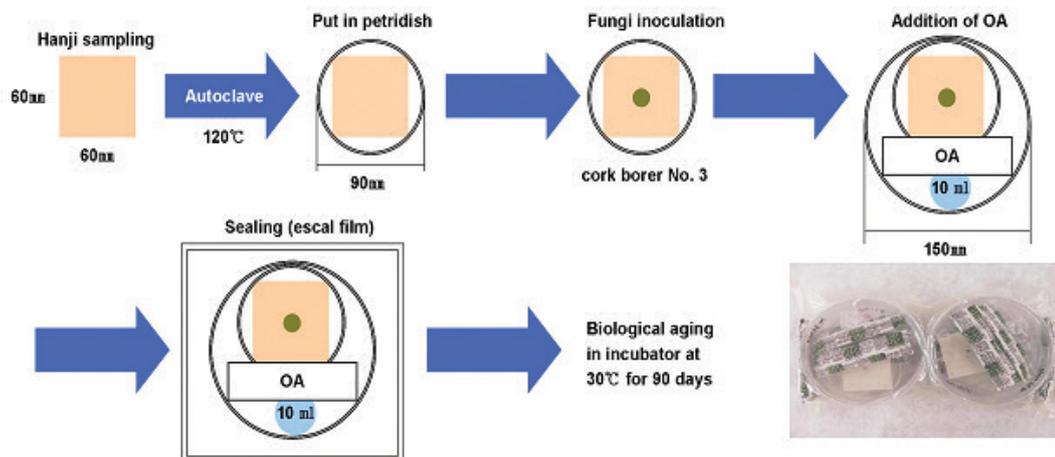


Fig. 1. The process of oxygen absorbent treatment (OA: oxygen absorbent)

화는 30℃ 인큐베이터에서 90일간 행하였다.

산소흡수제 처리는 상기와 같은 방법으로 균을 접종한 후, 외부 페트리 디시(φ 150 mm)내에 산소 흡수 기작을 위해 별도의 수분을 요구하지 않는 수분 독립형 산소흡수제를 첨가하고, 보존필름으로 밀폐 처리한 후 생물열화 조건과 동일하게 30℃ 인큐베이터에서 90일간 행하였다. 산소 흡수제의 산소 흡수효과를 확인하기 위해 밀폐 처리된 보존필름 내부에 산소지시제(oxygen indicator)를 넣어주었다(산소가 없을 경우, 지시제의 색깔은 분홍색이 되며, 산소농도가 높아질수록 보라색을 나타낸다).

2) 균 성장억제 효과분석

산소흡수제 처리 유무에 따른 균 성장억제 효과를 비교하기 위해 디지털 카메라를 이용하여 사진촬영을 실시하였다. 또한 육안관찰보다 더 정확한 비교 분석을 위하여 영상분석 시스템(iCamscope MVS-24 Video Microscope System)을 이용하여 열화 된 시료 표면의 미세 영상 확대 분석을 실시하였다.

3) 물리적 특성 분석

물리적 특성으로 TAPPI method 231 cm-96에 의거하여 Zero-span 인장강도를 측정하였다. 물리적 특성 분석을 위해 각 시편들은 먼저 가압멸균장치(autoclave)에서 120℃로 멸균하였으며, 항온항습 조건에서 조습처리 하였다.

4) 광학적 특성 분석

각 시료의 광학적 특성 분석을 위해 먼저 가압멸균장치(autoclave)에서 120℃로 멸균하였으며, 항온항습 조건에서 조습처리한 후, ISO

2470, 5631에 의거하여 백색도와 색도를 측정(ELREPHO, L & W)를 하였다.

5) UV-vis 분석

산소흡수제 처리 유무에 따른 생물열화 한지의 착색구조 변화를 알아보하고자 UV-Visible spectrophotometer 분석을 실시하였으며, 측정장비는 Varian사의 Cary 100 모델을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 균 성장억제 효과분석

이전의 연구결과에 의하면, *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*에 의한 자숙제 별 국내 한지(A, B, C, D)의 생물학적 인공열화 시 모든 시료의 경우 생물학적 열화를 발생시켰으며, 자숙제로 소다회를 사용한 한지에서서의 균 성장이 육재를 사용한 한지에서 보다 높게 발생하여 육재를 사용한 한지의 생물학적 열화 특성이 보다 낮은 것으로 나타났다(국립문화재연구소, 2009). 앞서서도 언급한 바와 같이 이와 같은 미생물에 의한 생물학적 열화는 미생물의 생육환경을 억제함으로써 즉 환경 조절을 통해 방지될 수 있다. 본 연구에서는 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*에 의한 자숙제 별 국내 한지(A, B, C, D)의 생물학적 인공열화 시 산소흡수제가 균 성장억제 효과에 미치는 영향을 비교분석하였으며, 그 결과는 Table 3, 4, 5, 6에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 산소흡수제 처리 결과, 자숙제에 상관없이 산소흡수제 처리 시료의 경우 모두 균의 성장이 저조한 것으로 나타났다. 이러한 결

과로 볼 때, 산소흡수제가 생물열화 시 밀폐처리 백 내의 산소를 흡수하여 호기성 균류인 *Aspergillus versicolor* 와 *Penicillium polonicum*균의 성장이 억제되는 것으로 보인다. 본 연구에서는 산소농도를 측정하기 위해 산소흡수제와 함께 산소지시제(oxygen indicator)를 사용하여 산소농도가 저농도(0.5%이하)로 유지되고 있음을 간접적으로 확인하였지만,

보다 정확한 산소 농도와 균 성장의 상관관계에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 물리적 특성 분석(zero-span 인장강도)

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처

Table 3. The effect of the oxygen absorbent during biological aging by *Aspergillus versicolor* (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1) (images taken from optical camera)

		Non-treated sample		Oxygen absorbent-treated sample	
Cooking Chemical		N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)	N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)
K-8 (<i>Aspergillus versicolor</i>)	A				
	B				
	C				
	D				

Table 4. The effect of the oxygen absorbent during biological aging by *Penicillium polonicum* (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1)
(images taken from optical camera)

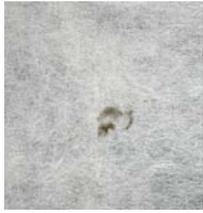
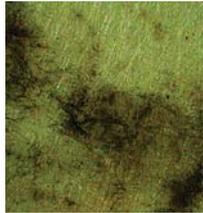
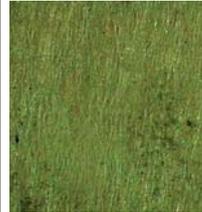
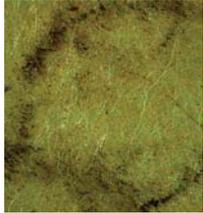
Cooking Chemical		Non-treated sample		Oxygen absorbent-treated sample	
		N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)	N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)
K-9 (<i>Penicillium polonicum</i>)	A				
	B				
	C				
	D				

Table 5. The effect of the oxygen absorbent during biological aging by *Aspergillus versicolor* (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1) (images taken from Video Microscope System)

Cooking Chemical		Non-treated sample		Oxygen absorbent-treated sample	
		N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)	N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)
K-8 (<i>Aspergillus versicolor</i>)	A				
	B				
	C				
	D				

Table 6. The effect of the oxygen absorbent during biological aging by *Penicillium polonicum* (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1) (images taken from Video Microscope System)

Cooking Chemical		Non-treated sample		Oxygen absorbent-treated sample	
		N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)	N(Natural lye)	C(SodiumCarbonate)
K-9 (<i>Penicillium polonicum</i>)	A				
	B				
	C				
	D				

리유무에 따른 Zero-span 인장강도를 비교분석하기 위해 각 열화 시료들의 Zero-span 인장강도 값을 생물열화 전 원지 시료의 측정값(100%)에 대한 비율로 환산하였다(Fig. 2).

Fig. 2에서와 같이 *Aspergillus versicolor*에 의해 열화 된 한지는 CN을 제외하고 모두 원지

에 비해 감소하는 경향을 나타냈으나 산소흡수제 처리 시료의 경우 BN과 BC를 제외하고 생물열화 시료에 비해 낮은 인장강도 감소율을 나타냈다. *Penicillium polonicum*에 의해 열화 된 한지 또한 전체적으로 *Aspergillus versicolor* 처리 시료와 유사한 결과를 나타냈으며, 특히

CN, CC 시료의 경우에는 원지보다 인장강도가 증가하였다. 이와 같은 결과를 볼 때, 산소흡수제 처리가 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화로 발생하는 물리적 손상을 억제하는 것으로 보인다.

3.3. 광학적 특성분석

1) 백색도(brightness)

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium*

*polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리에 따른 백색도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 원지의 백색도(100%)에 대한 비율로 나타냈다.

그림에서 볼 수 있듯이 *Aspergillus versicolor*에 의해 열화 된 한지는 BN을 제외하고 모두 원지에 비해 감소하는 경향을 나타냈으며, 산소흡수제 처리 시료의 경우 BN, CC, DC 등을 제외하고 원지보다 감소하였으나 생물열화시료에 비해 유사하거나 높은 백색도 값을 나타냈다. *Penicillium polonicum*에 의해 열화 된 한지

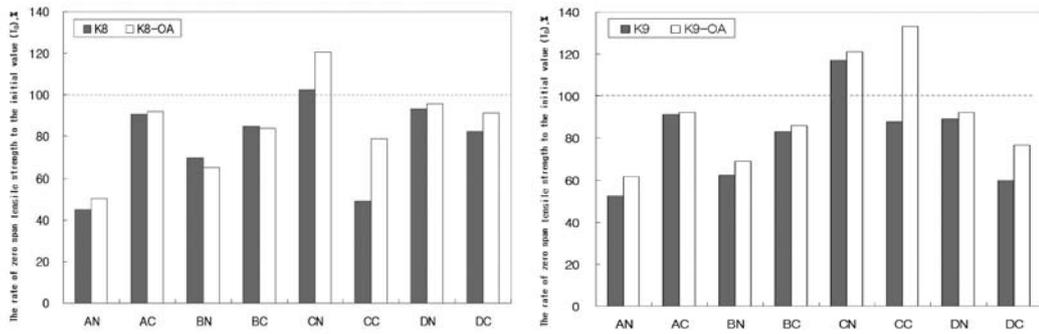


Fig. 2. The effect of the oxygen absorbent on zero-span tensile strength of the Hanji during biologically aged by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1)

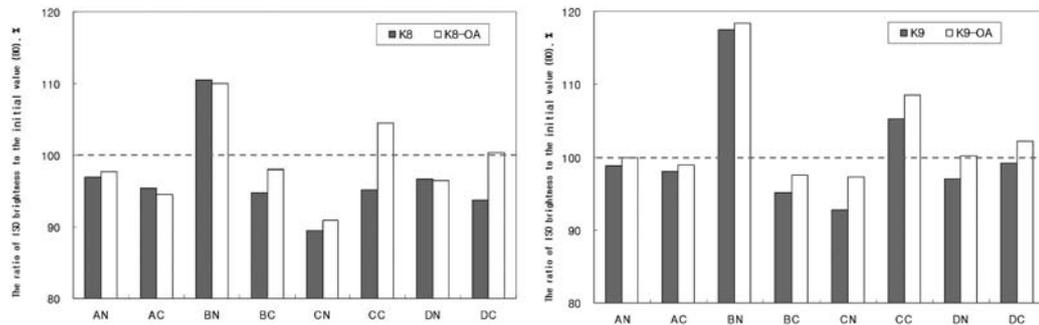


Fig. 3. The effect of the oxygen absorbent on ISO brightness of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1, 2)

또한 전체적으로 *Aspergillus versicolor* 처리 시료와 동일한 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과로 볼 때, *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리를 통해 백색도 전환(brightness reversion)이 억제되는 것으로 보인다.

2) 색도(CIE L*, a*, b*)

(1) L* 값

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리에 따른 L* 값은 백색도와 마찬가지로 원지의 초기값(100%)에 대한 비율로 나타냈다(Fig. 4). 그림에서 볼 수 있듯이 L* 값은 *Aspergillus versicolor*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리 유무에 상관없이 BN시료를 제외한 모든 시료에서 원지의 초기값에 비해 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 산소흡수제 처리 시 감소율이 보다 높게 나타났다.

*Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리 유무에 따른 변화율 또한 *Aspergillus versicolor*의 경우와 동일한 경향을

나타냈는데, *Aspergillus versicolor*의 경우에 비해 보다 낮은 변화율을 나타냈다.

(2) a* 값

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리에 따른 a* 값의 변화를 Fig. 5에 나타냈다. *Aspergillus versicolor*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리 유무에 따른 a* 값은 서로 상반된 경향을 나타냈다. 생물열화 시편의 경우 BN 시료를 제외한 모든 시료의 경우에서 모두 초기값에 비해 증가하여 생물학적 열화에 의해 적변(赤變)이 발생하였음을 알 수 있었다. 반면에, 산소흡수제를 처리한 시료의 경우 초기값에 비해 모두 감소하였다.

*Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리 유무에 따른 a* 값 역시 *Aspergillus versicolor*와 유사한 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과들로 볼 때, 산소흡수제 처리에 의해 균의 생장이 억제되면서 균에 의해 발생하는 적변(赤變)이 억제되는 것으로 판단된다. 또한 산소흡수제 처리 시 원지의 초기값에

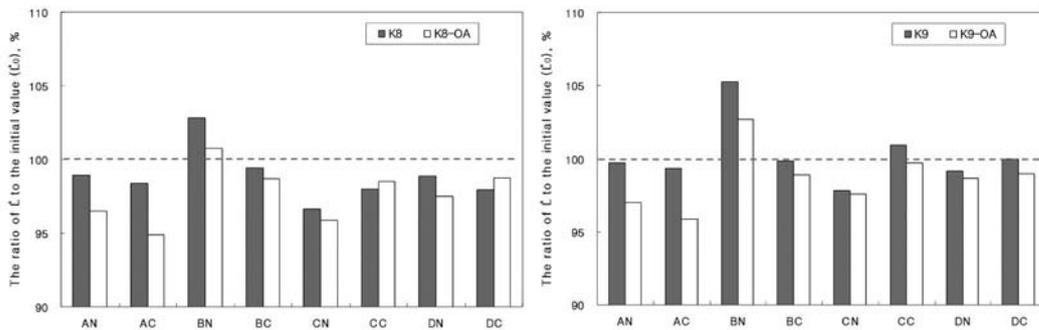


Fig. 4. The effect of the oxygen absorbent on L* value of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1, 2)

비해 감소하는 경향을 나타냈는데 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(3) b* 값

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리에 따른 b* 값은 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. *Aspergillus versicolor*에 의한 생물열화 시편의 경우 BN과 CC 시료를 제외한 시료 모두 초기값에 비해 증가하여 생물학적 열화에 의해 황변(黃變, yellowing)이 발생하였음을 알 수 있

었으며, 산소흡수제를 처리한 시료의 경우 초기값에 비해 모두 감소하여 a* 값과 동일한 경향을 나타냈다.

*Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리 유무에 따른 b* 값 역시 *Aspergillus versicolor*와 동일한 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과들로 볼 때, 산소흡수제 처리에 의해 균의 생장이 억제되면서 균에 의해 발생하는 황변(黃變, yellowing)이 감소하는 것으로 사료된다. 또한 b* 값 역시 a* 값과 마찬가지로 산소흡수제 처리 시 원지의 초기값에 비해 감

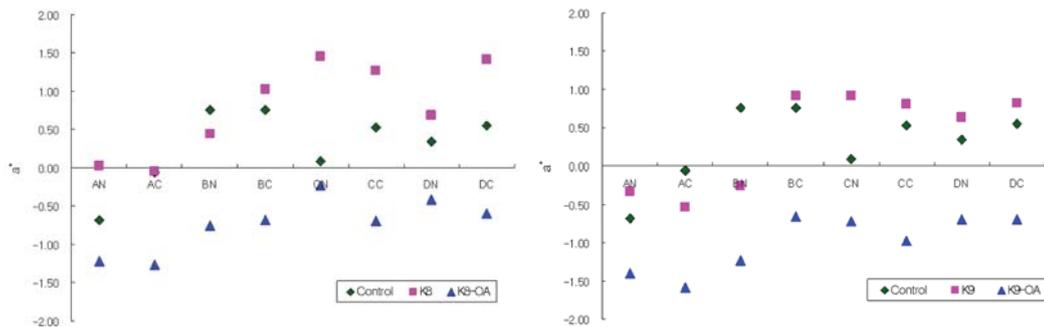


Fig. 5. The effect of the oxygen absorbent on a* value of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1, 2)

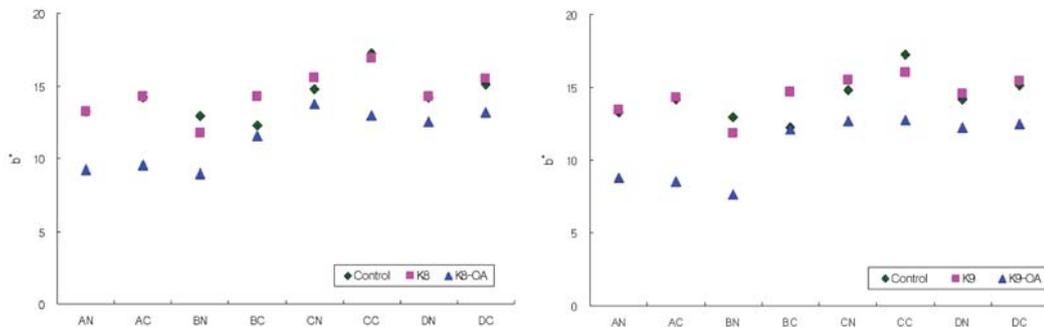


Fig. 6. The effect of the oxygen absorbent on b* value of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorbent, each contents is shown in table 1, 2)

소하는 경향을 나타냈는데 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.4. UV-vis 분광분석

Aspergillus versicolor 와 *Penicillium polonicum*에 의한 생물열화 시 산소흡수제 처리에 따른 UV-vis 흡광도 분석결과는 Fig. 7 및 8에 나타났다. 각각의 그림은 각 시료들의 UV-vis 스펙트럼과 309-400nm에서의 자외선 흡광도 피크를 면적으로 환산하여 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 흡수제를 처리한 시료의 ΔF 값이 미처리 시료 보다 낮게 나타나 착색물질 생성량이 처리하지 않은 시료에 비해 감소되었음을 알 수 있었다.

국내 한지의 각 공방별 흡광도를 살펴보면, AN, CN, DN, DC의 경우 생물열화 시료 및 산소흡수제 처리 시료 모두 한지 원 시료의 흡광도 값에 비해 감소되는 경향을 나타내 착색물질이 감소되는 것으로 나타났다. 반면에 AC, BN, BC, CC의 경우에는 생물열화 시료는 초기값에 비해 증가하였으며 산소 흡수제 처리는 감소하여 산소흡수제 처리가 착색물질 생성을 감소시키는 것으로 나타났다.

4. 결론

*Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum* 등 2종의 균주에 의한 한지의 생물열화 시 산소흡수제 처리가 미치는 영향을 분석한 결과는 다

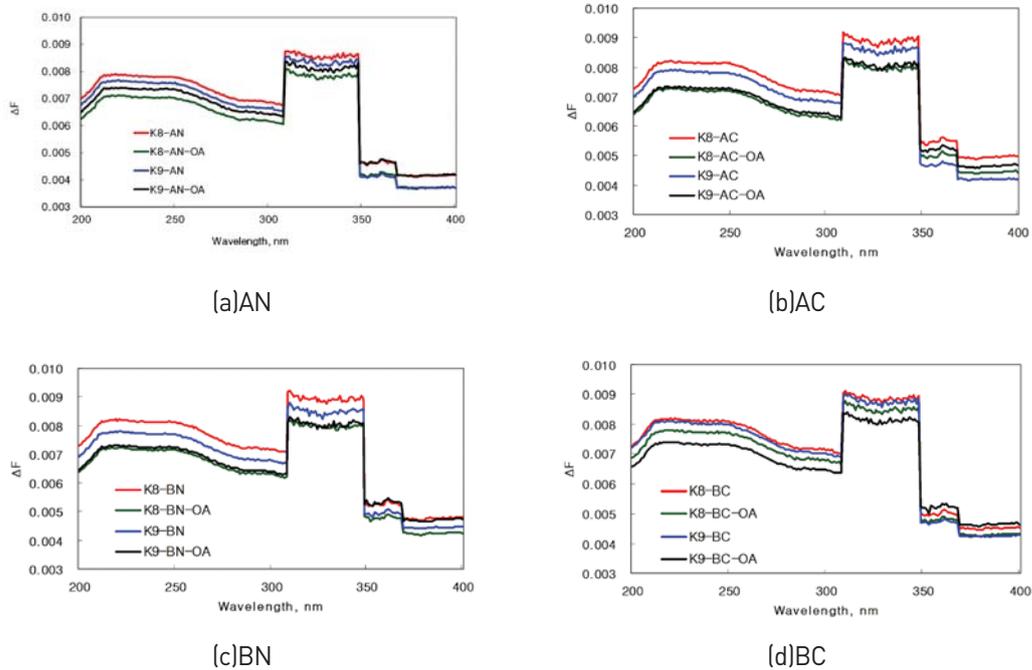


Fig. 7-1. The effect of the oxygen absorber on absorbance(ΔF) of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* and *Penicillium polonicum*. (OA: Oxygen absorber, each contents is shown in table 1, 2)

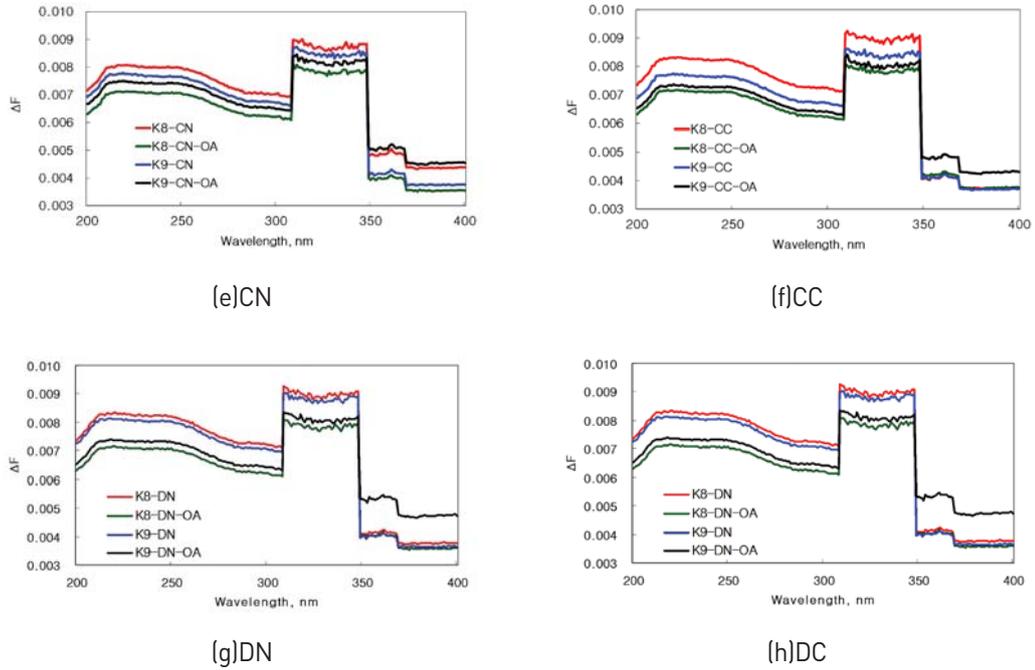


Fig. 7-2. The effect of the oxygen absorber on absorbance(ΔF) of Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* and *Penicillium polonicum*. (OA: Oxygen absorber, each contents is shown in table 1, 2)

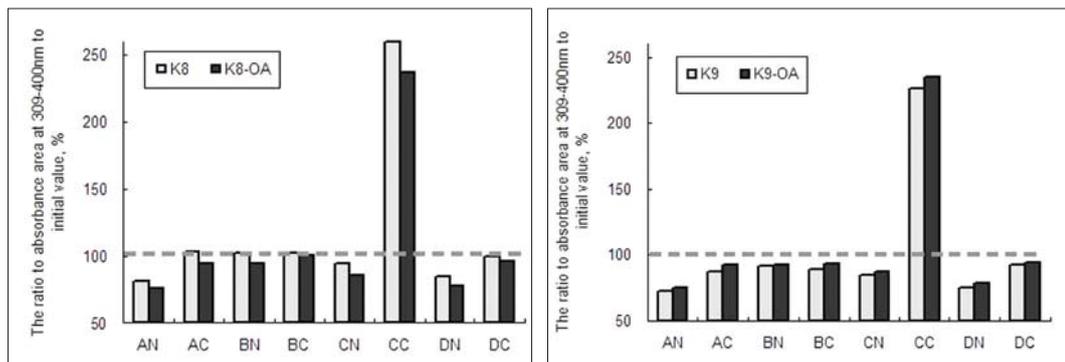


Fig. 8. The effect of the oxygen absorber on absorbance area of the Hanji during biological aging by *Aspergillus versicolor* (left) and *Penicillium polonicum* (right). (OA: Oxygen absorber, each contents is shown in table 1, 2)

음과 같다.

균 성장 억제효과 및 물성변화 분석 통하여 산소흡수제 처리를 실시 한 한지시료의 경우 균 성장이 억제되는 것을 확인할 수 있었으며, 생물열화에 의한 물리적 강도저하도 억제되는 것으로 확인되었다.

광학적 특성변화 분석결과 생물열화 처리된 시료는 L* 값이 감소하고 a*, b* 값은 상승하는 등 종이 열화 시 발생하는 광학적 특성과 유사한 경향을 나타내었으나 산소흡수제 처리된 시료는 L*, a*, b* 값이 모두 감소하고 백색도에 있어 생물열화 된 시료보다 높은 값을 나타내어 산소흡수제에 의한 생물열화 방지효과를 확인할 수 있었다.

또한 산소흡수제 처리를 하였을 때 UV-vis 스펙트럼 흡광도(ΔF)가 처리하지 않은 시편보다 낮게 나타나는 것으로 보아 착색물질 생성량이 처리하지 않은 시료에 비해 감소된 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 산소흡수제 처리가 *Aspergillus versicolor*와 *Penicillium polonicum* 균에 의한 생물열화를 억제한다는 결론을 얻었지만, 추후 산소흡수제 처리 시 보다 정확한 산소 농도와 균 생장의 상관관계에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 산소흡수제 처리 시 초기 값에 비해 광학적 특성이 크게 변화하였는데, 이에 대한 기작 규명에 대한 연구 또한 필요할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소에서 지원한 문화유산 융복합연구의 '조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구' 의 일환으로 진행되었습니다.

참고문헌

- 국립문화재연구소, 2009. 유기질문화재의 복원재료 및 기술표준화 연구, pp.111-112.
- 조성은, 김용태, 정소영, 조병묵, 이종규, 2009. 종이변색균류의 배양적 특성 및 화학적 방법에 의한 변색제거, 펄프종이공학회, 2009년도 춘계학술발표논문집, pp. 295-303.
- Barba, D., Palumbo, E. and Santalucia, A, 2003. Libraries and museums sanitation and fire safety interaction: state of the art, Proceedings of International Conference on Integrating Historic Preservation with Security, Fire Protection, Life Safety and Building Management System, Rome, pp.14-26
- Crespo, C. and Vinas, V., 1985. The preservation and restoration of paper records and books: a ramp study with guidelines, Crespo, C., UNESCO in Paris, pp.26-27.
- Daniel, V., Hanlon, G., and Maekawa, S., 1993. Eradication of insect pests in museums using nitrogen, waac Newsletter, 15(3), 15-19.
- Gallo, F., 1985. Biological factors in deterioration of paper, Leary, S. O., IC-CROM in Rome, p. 37.
- Maekawa, S. and Elert, K., 2003. The use of oxygen-free environments in the control of museum insect pests, Getty publication in Los Angeles, pp.1-123.
- Porck, H. J. and Teygeler, R., 2001.

Preservation Science Survey An Overview of Recent Developments in Research on the Conservation of Selected Analog Library and Archival Materials, Council on Library and Information Resources (CLIR) in Washington, DC, pp. 34-42.