

# 미생물에 의해 열화된 종이의 화학적 특성분석

이동선, 박성배, 이연수, 한윤희, 남성운

국가기록원

## 1. 서론

일반적으로 종이는 인쇄, 필기, 포장 등에 사용할 수 있도록 cellulose 섬유가 망상 구조로 이루어 시트의 형태로 고해, 사이징, 충전, 선별 및 정선, 초지, 가공을 통해 제조가 되는 천연 고분자 물질로 되어 있어 쉽게 열화가 발생할 수 있으며, 열화의 원인과 정도는 다양하게 나타날 수 있다. 종이 열화의 원인과 종류로는 빛, 열, 습도, 산소나 유해가스에 의한 cellulose 가수분해, 산화분해, 알칼리 분해와 같은 화학적 열화로 인한 항변, 건조화, 바스라짐 등과 같은 종이의 강도저하를 동반하는 물리적 열화가 있으며, 미생물과 충과 같은 살아있는 생명체 의한 생물학적 열화가 있다. 이러한 열화 현상은 보존환경에 따라 정도가 다양하게 나타나며, 이러한 열화의 원인과 정도를 평가하여 그 특성을 분석하여 종이의 열화를 최소화하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 종이 열화의 원인 중 단기간에 종이에 직접적인 피해를 주는 생물학적 열화의 진행과정과 특성을 분석하고자 미생물(*Penicillium funiculosum*, *Aspergillus niger*)을 이용하여 pH가 다른 산성지, 중성지, 복사지에 강제 열화 처리하여 종이에 미치는 영향을 분석하고자 pH, 함수율, FT-IR spectrometer로 분석 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 미생물 접종시료

본 연구에 사용된 공시시료는 산성지, 중성지, 복사지이며, 산성지는 펄프를 400ml CSF로 고해 후 초지하였다. 초지된 산성지의 사이징 처리는 alum 2%, 로진 2%를 첨가하여 실시하였으며, 이렇게 초지된 산성지의 평량 60g/m<sup>2</sup>이다. 중성지는 산성지와 동일한 펄프를 사용하였고, 사이징 처리를 위해 카이넨 0.2%, AKD 0.2%를 사용하여 평

량 60g/m<sup>2</sup>의 수초지를 제조하여 실험에 사용하였다. 복사지는 R사에서 제조된 것을 사용하였다.

### 2.1.2 미생물

본 연구에 사용한 미생물은 곰팡이 종류로 cellulose를 분해하는 *Aspergillus niger* (A.niger)와 *Penicillium funiculosum*(Penicillium)을 potato dextrose agar(PDA) 고체 배지에서 30℃에서 3일간 3회 계대 배양한 균을 사용하였다.

## 2. 2 실험방법

### 2.2.1 미생물을 이용한 강제 열화

산성지, 중성지, 복사지는 각각 2×2cm로 잘라 가압멸균장치(auto clave)에서 120℃에서 15분간 멸균처리 후 무균실(clean bench)내에서 petri dish(87×15mm)에 6장씩 넣어 시료를 준비한 후, 멸균수에 희석된 A.niger와 Penicillium 100 $\mu$ l씩을 시료의 중앙에 접종한 후 뚜껑을 닫고 para film으로 감아 밀봉 하였다. 밀봉된 petri dish는 온도 30℃, 습도 50%인 곳에서 3일, 4일, 5일, 6일 동안 배양하였다.

### 2.2.2 FT-IR spectrometer 측정

FT-IR spectrometer 측정은 미생물을 이용한 강제 열화 후 접종한 미생물을 제거하고 ISO 표준에 준하여 온도 23±3℃, 습도 50±5%의 항온·항습실에서 48시간동안 전 처리 후 미국의 Thermo electron corporation사의 IR 200을 사용하여 측정하였다. FT-IR 측정에는 ZnSe pellets사용하는 ATR방식으로 측정 하였고, 측정 영역은 4000cm<sup>-1</sup>-500cm<sup>-1</sup>에서 resolution은 4cm<sup>-1</sup>, scan time은 32 scan으로 측정 하였다.

### 2.2.3 pH 및 함수율 측정

pH 및 함수율은 미생물을 이용한 강제 열화 후 접종한 미생물을 제거하고 ISO 표준에 준하여 온도 23±3℃, 습도 50±5%의 항온·항습실에서 48시간동안 전 처리 후 측정 하였다. pH는 ISO 6588-1 표준방법인 냉수 추출법으로 측정 하였으며, 측정 장비는 ORION사의 pH meter로 측정 하였다. 함수율은 ISO 11093-3 표준방법으로 측정 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 FT-IR spectrometer 측정결과

산성지, 중성지, 복사지를 미생물인 *A.niger*와 *Penicillium*로 강제 열화 시킨 후 carboxylic acid salts의 peak인  $1608\text{cm}^{-1}$ 영역을 비교한 결과 강제 열화기간이 길어질수록 강제 열화처리전보다 peak의 강도가 증가하는 것으로 확인되었다. *A.niger*로 강제 열화 된 중성지, 복사지의 spectrum은 그림 1에 나타내었고, *Penicillium*로 강제 열화 된 산성지, 중성지의 spectrum을 그림 2에 나타내었다.

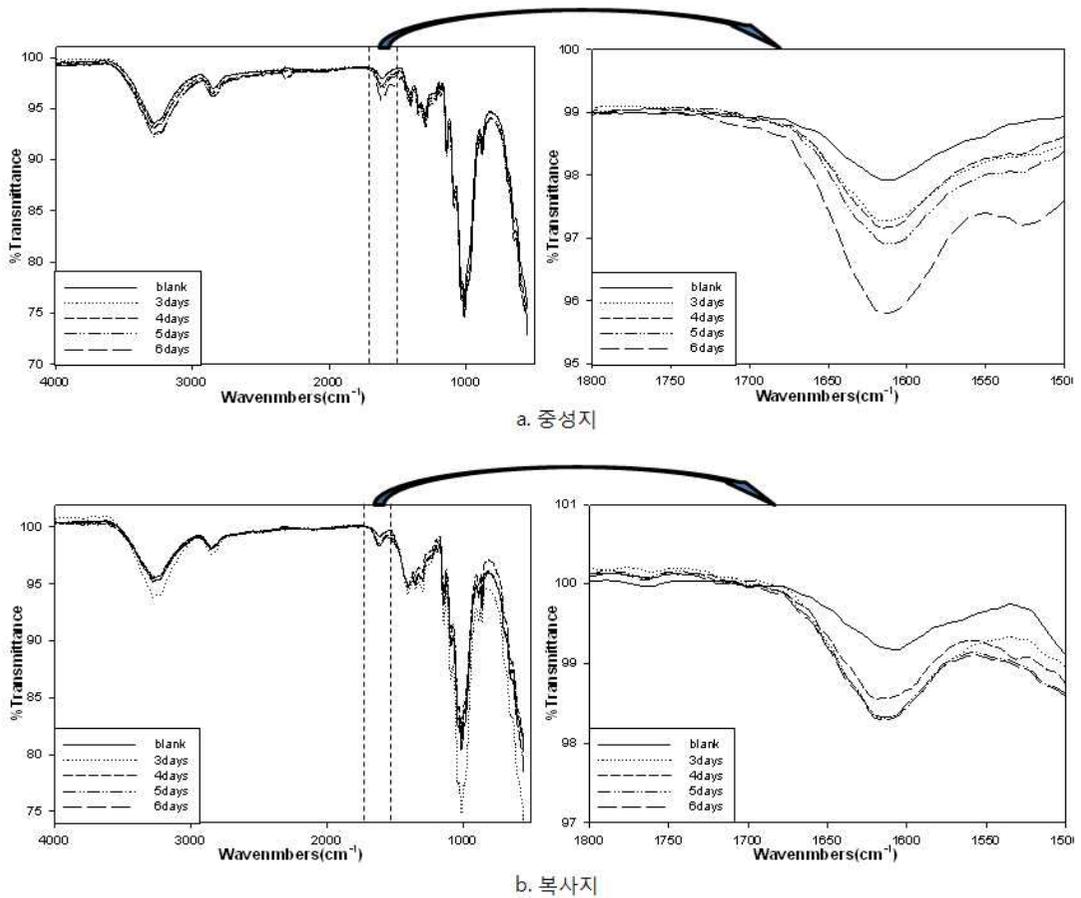


그림 1. *A.niger*로 강제 열화 된 중성지, 복사지의 IR spectrum

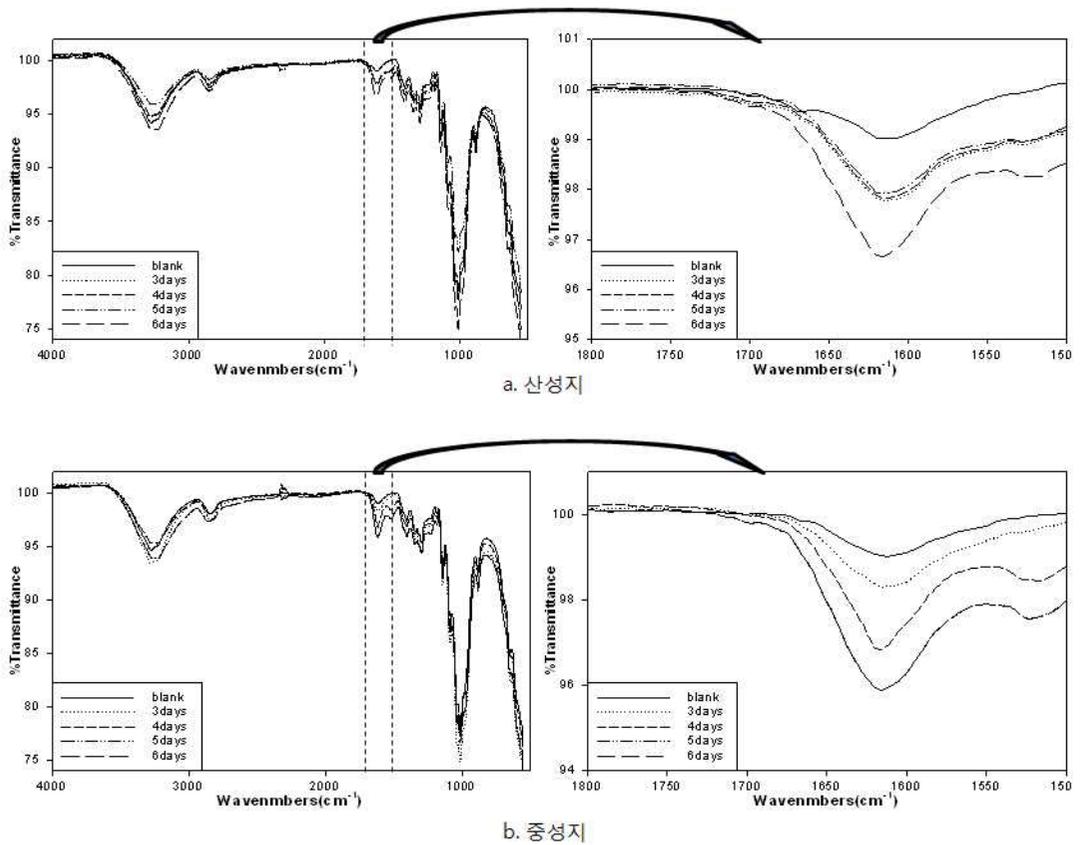


그림 2. Penicillium로 강제 열화 된 산성지, 중성지의 IR spectrum

### 3.2 pH 및 함수율 측정결과

산성지, 중성지, 복사지를 미생물인 *A.niger*와 *Penicillium*로 강제 열화 된 상태와 강제 열화 전 공시재료의 pH 및 함수율 측정결과 열화의 기간이 길어질수록 cellulose가 분해되어 carboxylic acid salts가 증가하기 때문에 pH가 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 또한 미생물이 분비한 효소에 의해 셀룰로오스 비결정영역의 부분 등에 분해가 일어나서 함수율이 증가된 것으로 생각된다. *A.niger*와 *Penicillium*에 강제 열화 된 산성지, 중성지, 복사지의 pH는 그림 3에 나타내었고, 함수율은 그림 4로 나타내었다.

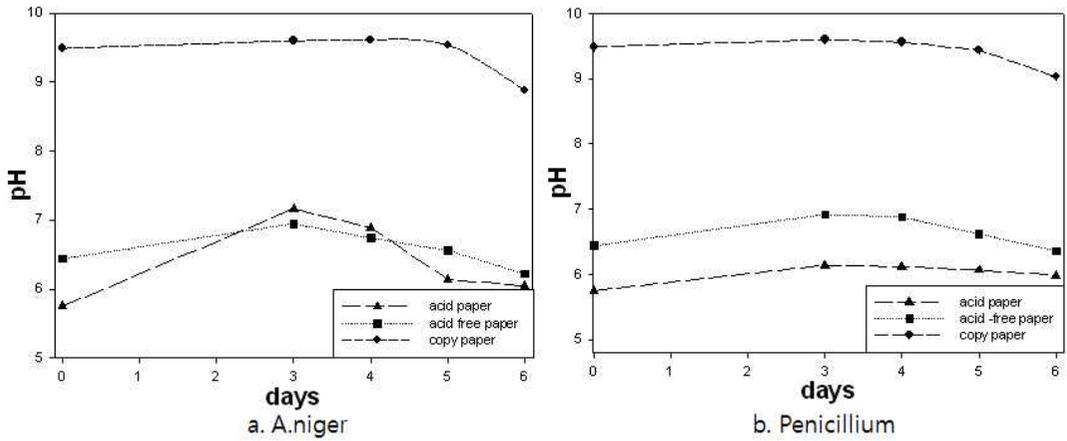


그림 3. A.niger와 Penicillium에 강제 열화 된 산성지, 중성지, 복사지의 pH 농도

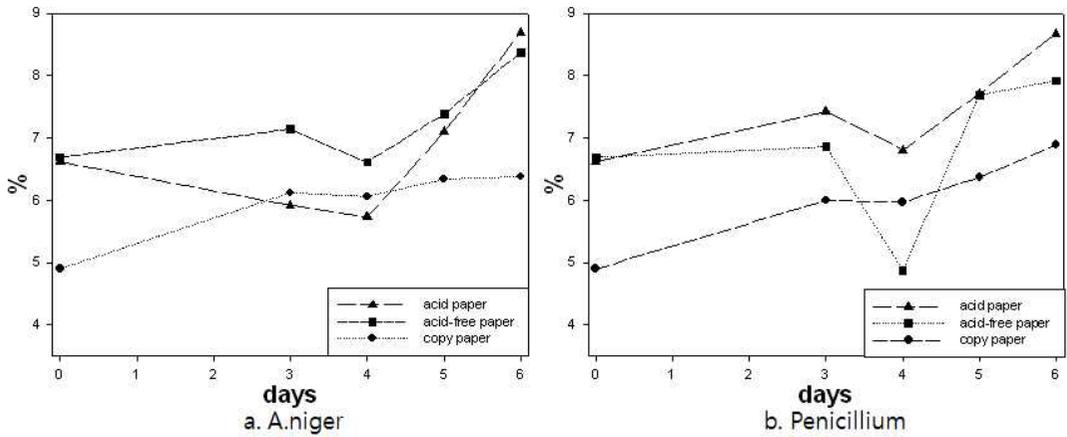


그림 4. A.niger와 Penicillium에 강제 열화 된 산성지, 중성지, 복사지의 함수율

#### 4. 결론

산성지, 중성지, 복사지를 미생물인 A.niger와 penicillium으로 강제 열화하여 FT-IR spectrometer로 측정한 결과 강제 열화 시간이 길어짐에 따라 cellulose가 분해되어 carboxylic acid salts의 peak의 강도가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과로 pH는 낮아지고, 함수율의 증가와 같은 종이특성의 변화로도 확인 할 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 국가기록원의 2010년 기록관리 연구개발(R&D) 자체연구개발 사업비에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 이학래, 이복진, 신동서, 임기표, 서영범, 원종명, 손창만, 『제지공학』, 광일문화사, 1-69, 1996
2. Geprge Socrates, 『Infrared and Raman characteristic group frequencies』, Wiley, 2001
3. 서동준, 건조와 종이 품질, Journal of korea TAPPI (2003)
4. Sofia Borrego, Patricia Guiamet, Sandra Gomez de Saravia, Patricia Batistini, Michel Garcia, Paola Lavin, Ivette Perdomo, The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs, International Biodeterioration & Biodegradation 24,(2010)