

絲狀菌에 의한 紙類·纖維質 遺物の 色變化 Color Difference of Cellulolytic Cultural Properties by Fungi

韓成熙, 李奎植, 鄭容在*

Han, Sung Hee, Kyu Sik Lee and Young Jae Chung*

□ABSTRACT : We compared the degree of color difference formed by environmental factor(temperature, relative humidity) with fungal growth in order to know how to change the color difference of cellulolytic cultural properties such as Korean papers, cotton, jute and hemp. We concluded, from the result, that the action of fungal growth on cellulolytic cultural properties was more harmful than environmental factor. We considered the secretion produced by fungi as the causative agent for stained formation on cellulolytic cultural properties. *Alternaria* sp. colored all materials greyish black, *Chaetomium* sp. colored cotton and hemp orange, and *Penicillium* sp. colored cotton, jute and hemp yellowish green. But *Trichoderma* sp. and *Aspergillus* sp. didn't show a clear color against each material. It was observed that thymol(120g/m³) was the most effective fungicide to prevent fungal growth.

I. 서론

문화재는 각종 재질로 구성되어 있으며 오랜 기간이 경과되는 동안 정도의 차이는 있지만 서서히 분해되어 재질의 약화 및 변형이 발생하게 된다. 이러한 재질의 약화나 변형을 장기간 방치하게 되면 문화재에 치명적인 손상을 초래하게 되어 결국에는 문화재의 원형소멸이나 문화재로서 가치를 상실하게 된다. 일반적으로 문화재의 내구성은 문화재의 재질상태와 보존환경 즉 외적 요인에 의해 달라지게 되므로 각 재질상의 취약점에 대해 적절한 시기에, 적당한 방법으로, 적절한 대책을 강구하기 위해서는 우선 각 재질의 취약점과 현상을 파악해서 어떤 조건에서, 어떤 요인에 의해, 어떤 형태를 형성하고 있는지를 예견해야 한다.

일반적으로 식물로부터 유래된 섬유질문화재는 탄소를 골격으로 산소, 수소, 질소들이 결합된 탄수화물로서 셀룰로오스, 리그닌, 헤미셀룰로오스가 주성분을 구성하고 있다. 이러한 문화재는 주로 가수분해에 의해 재질이 손상된다. 손상되는 과정에서 우선 재질표면의 색변화를 초래하게 되는 데 이것을 변색이라고 한다. 변색의 요인으로는 광산화 반응에 의한 갈색화, 온습도변화에 의한 변화, 그리고 미생물이 분비하는 분비물의 착색 등에 의해서 발생하게 된다.

*國立文化財研究所 保存科學研究室

Conservation Science Dept. National Research Institute of Cultural Properties

이중에서 자연적인 환경조건에 의한 변색을 예방하기 위해서는 경제적인 여건상 많은 투자를 필요로 하지만 재질에 치명적인 손상을 주는 미생물에 의한 변색은 미생물을 방제함으로써 비교적 손쉽게 예방할 수 있다.

문화재에 있어서 미생물은 지류, 섬유류, 목재류의 가수분해뿐만 아니고 금속의 녹발생, 유리의 손상에도 관여하는 것으로 보고되고 있다(新井, 1974 ; 大槻, 1980 ; 1990). 문화재에서 미생물의 발생조건은 양분, 온도, 그리고 수분이 충분조건이 된다. 만약 이중 한가지라도 충족시키지 못한 조건에서는 미생물이 번식하지를 못한다. 그러나 미생물은 문화재를 양분으로 취하며, 온도범위에 따라 고온균, 중온균, 저온균이 분포하므로 실제로 온도조절로 방제하기는 거의 불가능하다. 따라서 미생물의 발생은 보존환경내의 습도가 가장 큰 요인이 되며, 일반적으로 습도가 높을수록 재질의 함유율이 높아져 미생물이 발생하기 좋은 환경이 된다. 대기중의 온습도 분포는 미생물의 상태에 영향을 주게 되어 미생물의 발생지표가 되며, 대부분 유물 보존환경내 공중부유균은 유물에 피해를 주는 경우가 많으므로 미생물로부터 문화재를 보존하기 위해서는 먼저 미생물의 분포조사가 선행되어야 한다. 민과 안(1981)은 경남지방을 중심으로 전시중인 지류섬유질문화재에서 8속 14종을 보고하였으며, 민 등(1984)은 창덕궁에 보관하고 있는 문화재에서 미생물의 분포조사를 실시하여 지류에서 5속 9종, 의상류에서 9속 12종, 목재류에서 5속 11종, 모피류에서 3속 4종으로 총 14속 29종을 보고하였고, 大槻(1980 ; 1990)는 지포, 호표, 금속, 유리 등에서 사상균을 분리하였으며, 江本(1966; 1972)은 건조물, 사원수장고, 박물관내에서 사상균을 분리동정하여 보고한 바 있다. 이와같은 미생물로부터 문화재를 보존하기 위해 미생물의 발생을 억제하기 위한 환경조절법(Hueck, 1972; Thomson, 1977; 登石, 1980; Valentin et al., 1990), 방균제에 의한 조절법(Dersarkissan and Goodberry, 1980; 大槻, 1990) 그리고 문화재의 재질 뿐만 아니라 보존환경내의 미생물까지도 살멸하는 훈증법(박, 1976; 新井과 森, 1975; 新井, 1980)이 보고되고 있다. 미생물의 발생으로 인한 문화재의 손상은 문화재 표면의 착색뿐만 아니라 가수분해효소와 유기산의 분비로 인해 재질이 분해되고 변질이 촉진되어 재질이 취약해지고, 각종 색의 번짐, 먼지 또는 면모상의 먼지 등을 형성한다(도, 1976; 新井, 1984). 식물성 섬유는 알카리에 강한 반면 대체로 산에 약하므로 미생물이 분비하는 유기산에 의해 약화되기 쉽다(이 등, 1972).

본 연구는 지금까지 사상균에 의한 재질의 변색에 관한 연구는 발견하지 못하였으므로, 지류, 섬유류 문화재에 있어서 사상균의 발생에 의한 재질의 변색을 방지하기 위해 미생물의 발생이 재질의 변색에 미치는 영향을 온습도 변화로 인한 변색도와 비교하여 검토하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 균주 및 실험재료

균주 5종(*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Trichoderma* sp.)을 공시균주로 사용하였으며, 실험재료로 지류는 고서적의 한지를 사용하였으며, 섬유류유물은 고의류(목면, 모시, 삼베)를 재질별로 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다.

2. 실험방법

가. 온습도차에 의한 재질의 색변화

일정한 온습도 조건에서 온습도차에 의한 재질의 색변화를 측정하기 위해 주기적으로 재질의 변색도를 측정하였다. 즉 온도차에 의한 색변화는 상대습도를 수분활성서약(Magnesium nitrate, 55% RH)을 사용하여 온도 10℃에서 40℃까지 10℃ 간격으로 변화시켜 측정하였으며, 습도 변화에 의한 재질의 손상도는 온도 20℃에서 상대습도를 33%에서 100%까지 각각 유지시켜 주기적으로 시료를 꺼내어 변색도를 측정하였다.

나. 온습도 교차에 의한 재질의 색변화

온습도차에 의한 재질의 변화상태를 측정하기 위해 大江과 古典(1987)의 방법으로 일정한 주기로 온습도를 교차시킨 다음 매 60시간마다 재질의 색변화를 측정하였으며 온습도의 교차조건은 다음과 같다.

<온도의 교차조건>

- A1 group : 80℃, 65% RH와 40℃, 65% RH를 24시간마다 교체하여 240시간 동안 처리.
- A2 group : 80℃, 65% RH에서 120시간 처리한 다음 40℃, 65% RH에서 120시간 처리하여 240시간 동안 처리.
- A3 group : 40℃, 65% RH에서 120시간 처리한 다음 80℃, 65% RH에서 120시간 처리하여 240시간 동안 처리.
- A4 group : 80℃, 65% RH에서 240시간 동안 처리.
- A4 group : 40℃, 65% RH에서 240시간 동안 처리.

<습도의 교차조건>

- B1 group : 80℃, 93% RH와 80℃, 33% RH를 24시간마다 교체하여 240시간 동안 처리.
- B2 group : 80℃, 93% RH에서 120시간 처리한 다음 80℃, 33% RH에서 120시간 처리하여 240시간 동안 처리.
- B3 group : 80℃, 33% RH에서 120시간 처리한 다음 80℃, 93% RH에서 120시간 처리하여 240시간 동안 처리.
- B4 group : 80℃, 93% RH에서 240시간 처리.
- B5 group : 80℃, 33% RH에서 240시간 처리.

다. 미생물에 의한 변색도 측정

미생물의 발생으로 인한 손상도를 조사하기 위해 미리 멸균하여 준비해 둔 petri dish(직경 15cm)에 멸균배지(NaNO₃ 2.0g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5g, KCl 0.5g, Fe₂(SO₄)₃ · H₂O 0.01g, KH₂PO₄ 0.14g, K₂HPO₄ 1.2g, Yeast extract 0.02g, D.W. 1ℓ, pH6.8)를 부어 고형화시킨 다음 공시균주의 현탁액 1ml를 시료위에 무균적으로 골고루 분산시켜 60일간 배양하였다. 3일 후에 균사의 발생여부를

관찰하여 발생하지 않은 petri dish는 재접종하고 3일 후에 재관찰하였다. 균사가 발생하기 시작한 petri dish에는 미리 멸균한 각 시료를 넣고 25℃ 항온배양기에 넣은 다음 3일 간격으로 시료를 꺼내어 균체를 멸균수로 세척하고 RH 55%의 항습데시케이터내에서 24시간이 경과한 후 각 재질의 색차를 측정하였다. 이때 대조구로 균주현탁액 대신에 멸균수를 접종하여 동일기간동안 배양한 것을 사용하였다.

라. 변색도 측정

지류 및 섬유류의 변색도 측정은 Coloimeter(MINOLTA model CR-200, Japan)으로 측정하여 KS A 0063에 준하여 L^* , a^* , b^* 값으로부터 색차(ΔE)= $\{(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2\}^{1/2}$ 의 공식을 사용하여 계산하였으며, 색도측정시 시료는 검은색판 위에 놓고 측정하였다.

마. 함수율 측정

지류의 함수율 측정은 지함수율측정기(KETT model K-100, Japan)으로 측정하였으며, 섬유류의 함수율은 함수율측정기 (A & D Co., model AD-4712, Japan)으로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일정한 온습도 조건 내에서 색변화

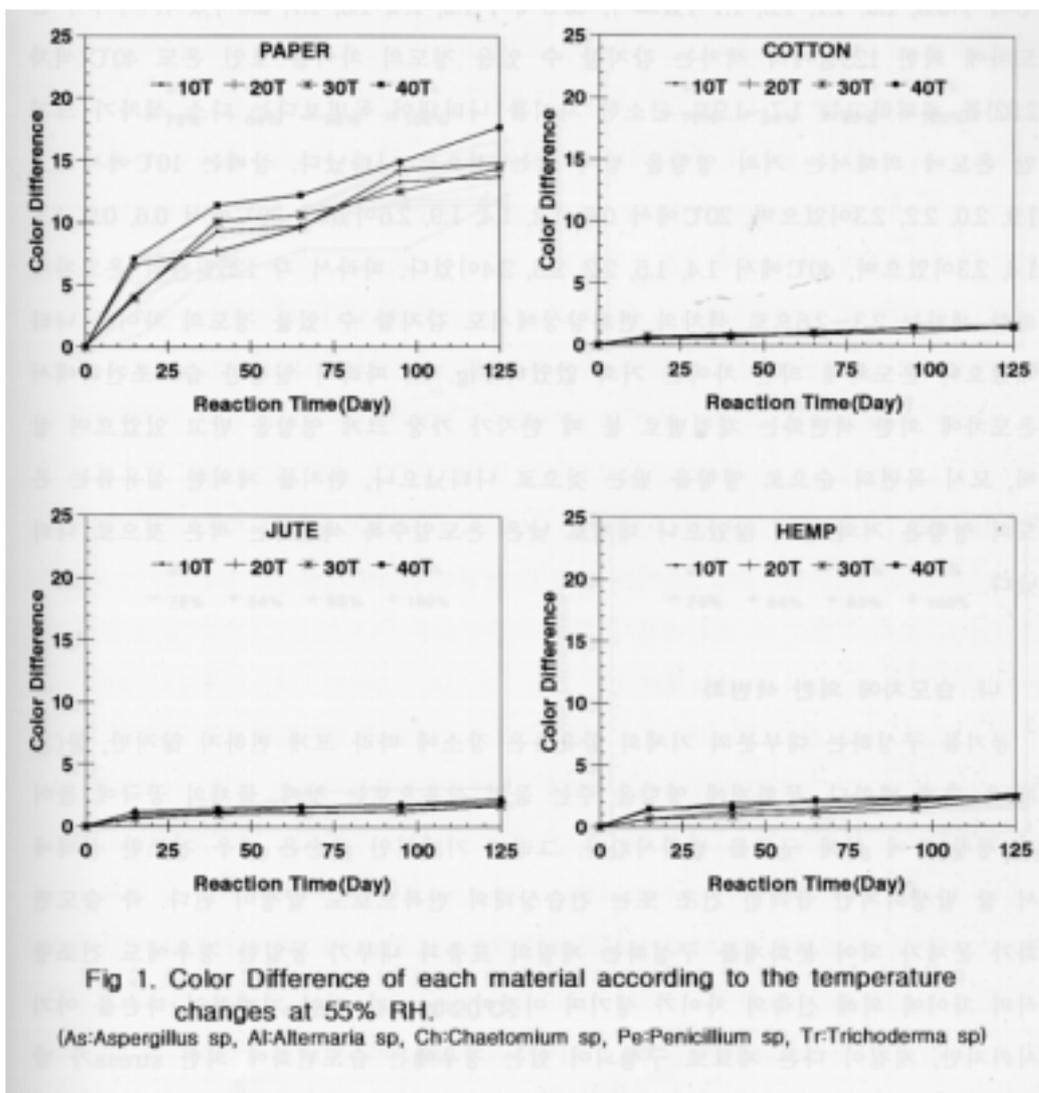
가. 온도차에 의한 색변화

온도는 물체를 구성하고 있는 원자 또는 분자의 운동을 활발하게 해주므로 온도가 높을수록 충돌기회가 많아져 반응이 촉진되므로 온도 변화에 의한 각 재질의 변색도를 측정하기 위해 수분활성시약 Magnesium nitrate(55% RH)를 사용하여 상대습도를 일정하게 유지시키면서 온도를 10℃에서 40℃까지 10℃ 간격으로 변화시켜 항온기내에서 유지시킨 다음 색차의 변화를 측정하였다.

각 온도에서 재질의 변색도를 측정하기 위해 15일, 40일, 65일, 95일 그리고 125일을 주기로 하여 색도를 측정하여 색차를 산정한 결과 재질별로 한지는 10℃에서 4.1, 9.3, 9.7, 13.3, 13.7이었으며, 20℃에서 6.6, 7.7, 9.6, 14.2, 14.8이었고, 30℃에서 3.9, 10.1, 10.6, 12.5, 14.4이었으며, 40℃에서 7.1, 11.4, 12.2, 14.9, 17.7이었다.

따라서 한지는 상대습도 55% RH조건에서는 상당한 색변화를 일으키고 있는 것으로 나타났으며, 온도차에 의한 차이는 거의 차이가 없으나 40일째부터는 거의 다른 계통의 색으로 판독할 정도로 심한 색차를 나타냈다. 이것은 현재 지류문화재의 보존에 권장하고 있는 온습도 조건인 온도 20℃ 그리고 상대습도 55% ± 5%와는 상당한 차이를 보여 이에 대한 검토를 계속할 예정이다. 그리고 30℃와 40℃에서 지속적인 색변화 경향을 나타내고 있어 온도가 높을수록 한지는 색변화가 심해진다는 것을 추정할 수 있었다. 목면은 10℃에서 0.6, 0.9, 1.0, 1.4, 1.4이었으며, 20℃에서 0.7, 0.9, 0.9, 1.1, 1.5이었고, 30℃에서 0.7, 0.7, 1.1, 1.4, 1.6이었으며, 40℃에서 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 1.5이었다. 따라서 각 온도

에서 125일째의 색차가 1.4~1.6로 나타나 온도차에 의한 차이는 거의 나타나지 않아 면섬유는 온도의 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 모시는 10℃에서 0.7, 1.0, 1.1, 1.3, 1.7이었으며, 20℃에서 1.1, 1.2, 1.5, 1.7, 1.9이었고, 30℃에서 0.6, 1.0, 1.1, 1.2, 1.7이었으며, 40℃에서 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0이었다. 따라서 온도차에 의한 125일째의 색차는 감지할 수 있을 정도의 차이를 보인 온도 40℃(색차 2.02)를 제외하고는 1.7~1.9로 근소한 차이를 나타내어 목면보다는 다소 색차가 크지만 온도에 의해서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 삼베는 10℃에서 1.3, 1.9, 2.0, 2.2, 2.3이었으며, 20℃에서 0.6, 1.2, 1.4, 1.9, 2.6이었고, 30℃에서 0.6, 0.9, 1.1, 1.4, 2.3이었으며, 40℃에서 1.4, 1.5, 2.2, 2.3, 2.4이었다. 따라서 각 125일째의 온도차에 의한 색차는 2.3~2.6으로 색차의 변화양상에서도 감지할 수 있을 정도의 차이를 나타내었으나 온도차에 의한 차이는 거의 없었다(Fig. 1). 따라서 일정한 습도조건하에서 온도차에 의한 색변화는 재질별로 볼 때 한지가 가장 크게 영향을 받고 있었으며 삼베, 모시 목면의 순으로 영향을 받는 것으로 나타났으나, 한지를 제외한 섬유류는 온도의 영향은 거의 받지 않았으나 대체로 낮은 온도일수록 색변화는 적은 것으로 나타났다.



나. 습도차에 의한 색변화

공기를 구성하는 대부분의 기체의 함유율은 장소에 따라 크게 변하지 않지만, 물(기체)은 크게 변한다. 문화재에 영향을 주는 물의 작용으로는 첫째, 물체의 공극에 들어가 팽창 등에 의해 구조를 변화시킨다. 그리고 기계적인 파손은 매우 건조한 상태에서 잘 발생되지만 급격한 건조 또는 건습상태의 반복으로도 발생이 된다. 즉 습도변화가 문제가 되어 문화재를 구성하는 재질의 표층과 내부가 동일한 경우에도 건조방식의 차이에 의해 신축의 차이가 생기며 이것이 stress가 되어 기계적인 파손을 야기시키지만, 재질이 다른 재료로 구성되어 있는 경우에는 습도변화에 의한 stress가 발생하는 것이 보통이다. 이로 인해 표구물의 파손, 목조의 균열, 안료층의 박락 등이 발생하게 된다. 둘째, 성분을 부분적으로 용출시킨다. 셋째, 물체의 표층과 반응하여 가수분해를 일으킨다. 넷째, 공기중의 탄산가스, 아황산가스, 이산화질소 등을 용해하여 산성액으로 되어 물체표면을 침식한다. 따라서 습기에 의한 문화재의 변색은 주로 둘째와 넷째요인에 기인되는 것으로 생각된다. 따라서 이를 예방하기 위해서는 보존에 있어서 물체와 보존환경간에 수분의 교환이 없도록 하는 것이다.

일정온도에서 습도차에 의한 색변화를 조사하기 위해 온도를 20℃로 고정하고 각 습도조건을 수분활성시약을 사용하여 33%~100로 조절한 다음 주기적(15일, 40일, 65일, 95일, 125일)으로 각 시료를 꺼내어 색차를 조사한 결과 한지는 33%에서 1.1, 7.0, 11.5, 11.9, 13.4이었으며, 43%에서 5.3, 5.7, 8.0, 8.0, 12.0이었고, 55%에서 7.6, 7.7, 9.6, 14.2, 14.8이었으며, 64%에서 4.2, 7.1, 11.2, 15.0, 16.7이었고, 75%에서 7.0, 9.0, 9.9, 13.4, 15.2이었으며, 84%에서 7.6, 9.9, 11.0, 14.6, 15.5이었고, 93%에서 6.9, 7.7, 11.2, 11.5, 11.6이었으며, 100%에서는 3.4, 9.6, 9.9, 11.9, 12.1이었다. 따라서 20℃의 조건에서 125일째의 색차는 11.6~16.7로 높은 색변화를 나타내었으나 각 습도조건에 의한 그 차이를 발견하지 못하였다. 목면은 33%에서 1.0, 1.1, 1.3, 1.4, 1.4이었으며, 43%에서 0.5, 0.5, 1.0, 1.2, 1.5이었고, 55%에서 0.7, 0.9, 0.9, 0.9, 1.5이었으며, 64%에서 0.4, 0.6, 0.8, 1.1, 1.6이었고, 75%에서 0.4, 0.9, 1.0, 1.4, 1.6이었으며, 84%에서 0.3, 0.6, 1.0, 1.4, 1.5이었고, 93%에서 0.5, 0.6, 1.3, 1.4, 1.5이었으며, 100%에서는 0.4, 0.7, 1.3, 1.5, 1.9이었다. 따라서 20℃의 조건에서 125일째의 색차는 1.4~1.9으로 거의 근소한 차이를 나타내었으며, 모시는 33%에서 0.4, 1.0, 1.3, 2.4, 1.9이었으며, 43%에서 0.9, 1.1, 1.1, 1.2, 2.0이었고, 55%에서 0.9, 1.1, 1.2, 1.5, 1.9이었으며, 64%에서 0.6, 0.9, 1.4, 1.8, 1.9이었고, 75%에서 1.1, 1.2, 1.4, 1.4, 1.9이었으며, 84%에서 1.2, 1.4, 1.4, 1.7, 1.8이었고, 93%에서 1.2, 1.6, 1.7, 1.7, 2.0이었으며, 100%에서는 1.0, 1.3, 3.1, 3.2, 3.3이었다. 따라서 20℃의 조건에서 125일째의 색차는 1.8~3.3으로 목면보다는 다소 높으나 거의 근소한 차이를 나타내었고, 삼베는 33%에서 0.8, 1.0, 1.7, 1.9, 2.1이었으며, 43%에서 1.0, 1.6, 1.9, 2.3, 2.9이었고, 55%에서 0.6, 1.2, 1.4, 2.1, 2.4이었으며, 64%에서 1.6, 1.8, 1.9, 2.6, 3.1이었고, 75%에서 0.5, 0.9, 1.2, 1.5, 1.7이었으며, 84%에서 0.8, 1.2, 1.6, 1.8, 1.9이었고, 93%에서 1.0, 1.4, 1.9, 2.0, 2.1이었으며, 100%에서는 1.1, 1.3, 1.5, 2.4, 3.0이었다. 따라서 20℃의 조건에서 125일째의 색차는 1.7~3.0로 감지할 수 있을 정도의 차이를 나타내었다. 따라서 습도에 의한 색변화는 재질별로 볼 때 한지가

가장 크게 영향을 받고 있었으며 삼베, 모시, 목면의 순으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 일정온도하에서는 색변화는 습도의 영향은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상과 같이 일정온도조건에서 각 습도조건별로 각 재질의 색차를 조사한 결과 대체로 색차는 초기의 상태보다 증가하고 있었으며, 대체로 43% RH에서 안정적인 것으로 나타났다. 그러나 각 재질별로 안정적인 습도조건은 산정할 수 없었다. 이것은 습도조건이 서로 다르더라도 온도가 일정한 20℃ 조건에서는 색변화에 거의 영향을 주지 않거나, 습도조절을 위해 사용한 수분활성시약에 의한 착색의 영향도 있는 것으로 생각된다.

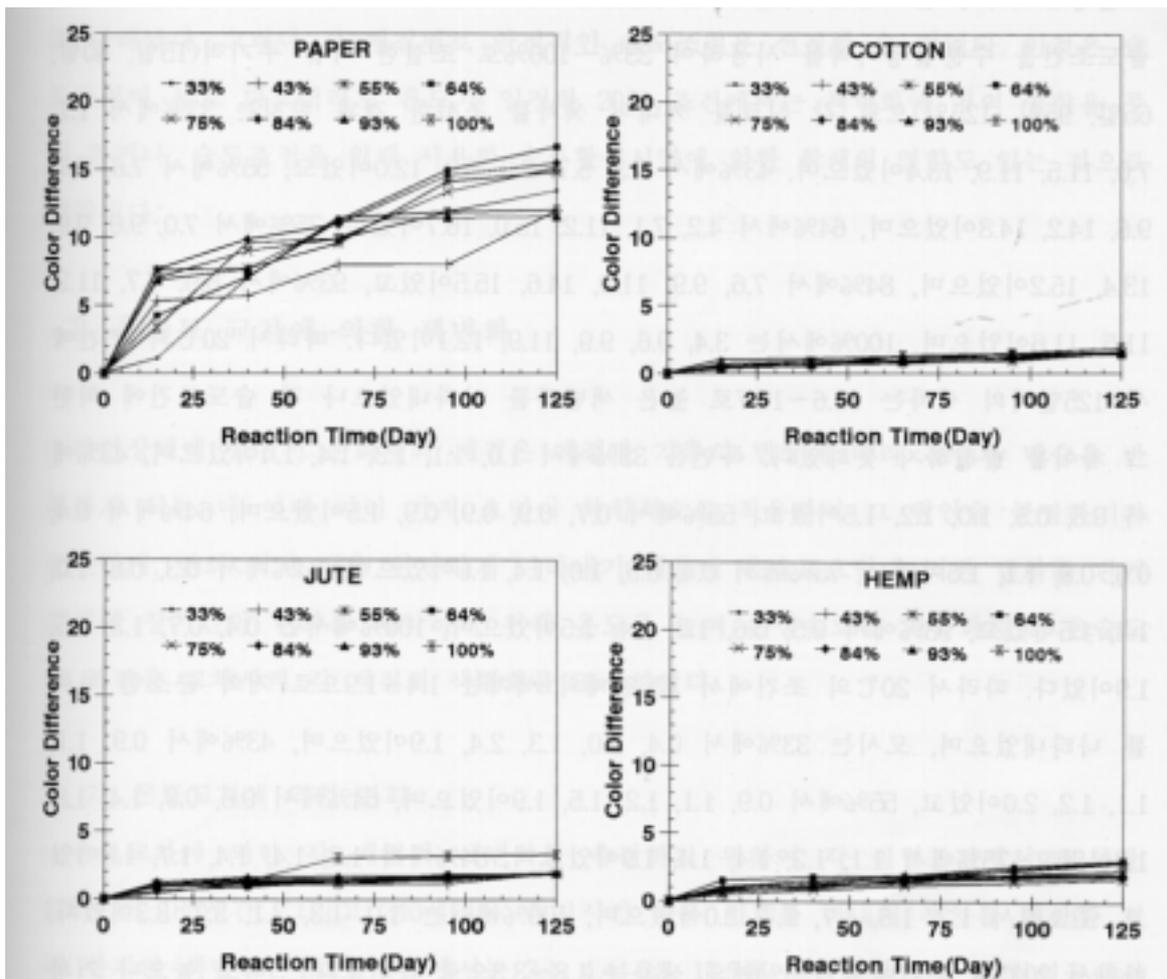


Fig 2. Color Difference of each material according to the each relative humidity conditions at 20℃.
 (As:Aspergillus sp, Al:Alternaria sp, Ch:Chaetomium sp, Pe:Penicillium sp, Tr:Trichoderma sp)

2. 온습도 교차에 의한 색변화

자연상태에 있어서 문화재의 재질은 계절과 기후의 변동에 따라 흡습과 방습을 반복하게 되는 데 이때 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하며 그 원인을 규명하

기가 곤란하며, 변화 역시 매우 완만하게 나타내기 때문에 온습도요인에 의한 변화를 단기간내에 장기간의 변화를 파악하기 위해 온도를 높여 손상속도를 가속화하고, 온습도의 조건을 교차시켜 각 재질의 색변화를 조사하였다.

가. 온도교차에 의한 변화

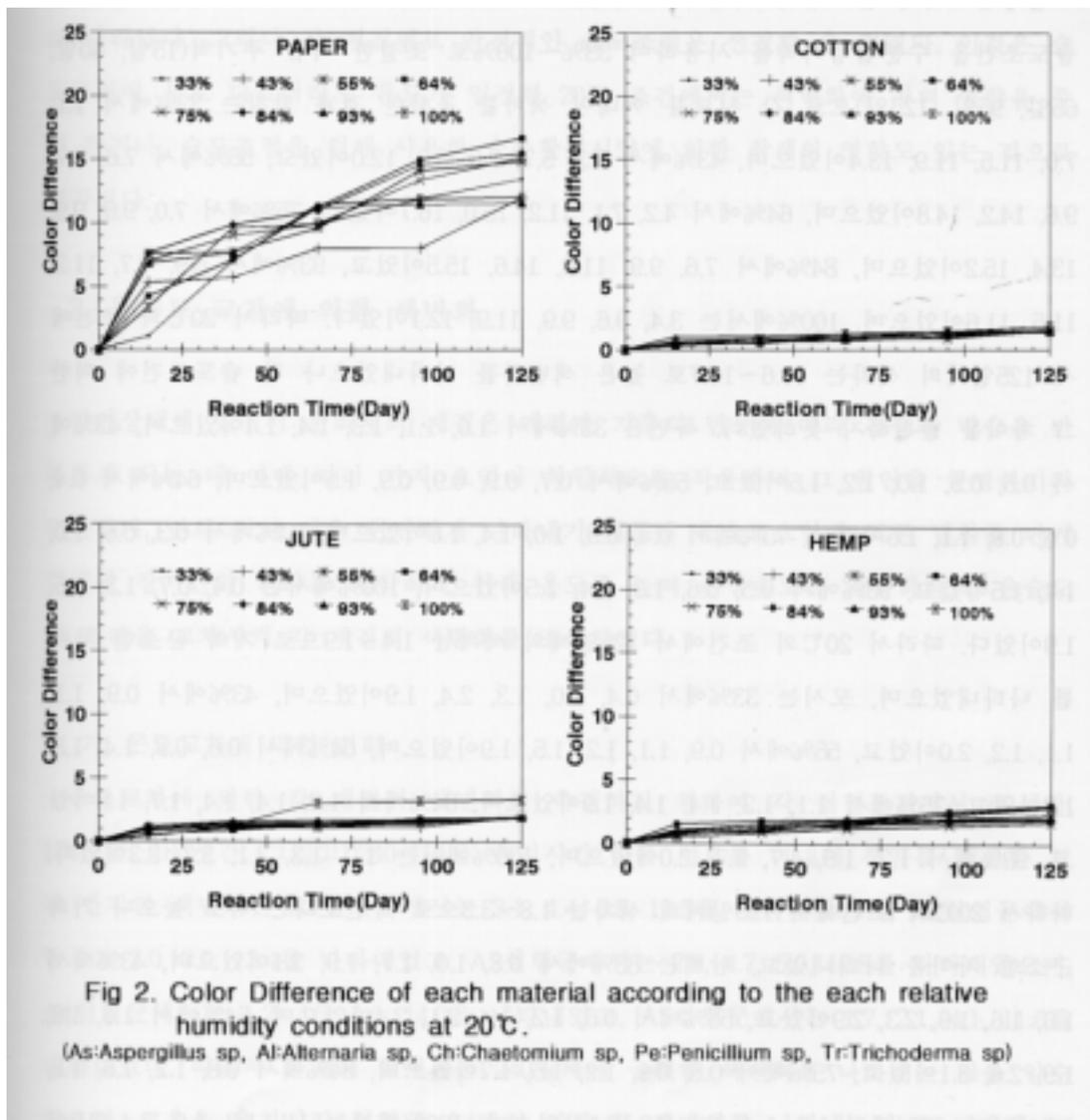
온도교차에 의한 각 재질의 색변화를 측정하기 위하여 각 실험조건에서 60시간, 120시간, 180시간, 그리고 240시간을 유지시킨 다음 시료를 꺼내어 색차를 계산한 결과 한지의 색변화는 A1실험군에서는 3.1, 4.4, 5.8, 11.5를 나타내었으며, A2실험군에서는 1.4, 2.0, 3.0, 13.4를 나타내었고, A3실험군에서는 2.8, 4.7, 5.0, 12.5를 나타내었으며, A4실험군에서는 1.2, 4.5, 4.6, 14.0을 나타내었고, A5실험군에서는 1.7, 2.1, 4.1, 11.6를 나타내었다. 따라서 한지에 있어서는 240일째에 급격한 색변화를 나타내는 것을 알수 있으며, 고온을 유지시킨 실험군 A4에서 가장 큰 색변화를 나타냈으며 그 다음은 고온에서 저온으로 교체한 A2, 저온에서 고온으로 교체한 실험군 A3, 저온을 유지시킨 실험군 A5 그리고 고온과 저온을 매일 교체한 실험군 A1의 순으로 색변화가 크게 나타났다. 이 결과로부터 한지의 색변화는 일정기간이 잠복기가 경과된 후 갑자기 색변화가 크게 증가된다는 것과 고온이 한지에 색변화에 촉진시킨다는 것을 알수 있다.

목면의 색변화는 A1실험군에서는 1.2, 1.4, 1.5, 2.1을 나타내었으며, A2실험군에서는 1.2, 1.4, 1.6, 2.0을 나타내었고, A3실험군에서는 1.3, 1.5, 1.5, 1.7를 나타내었으며, A4실험군에서는 1.3, 1.3, 1.6, 1.6을 나타내었고, A5실험군에서는 1.4, 1.5, 1.7, 1.9를 나타내었다. 따라서 목면은 각 실험조건에 의해 거의 동일한 양상으로 거의 감지할수 있을 정도로 색변화를 하였으나 온도교차에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

모시의 색변화는 A1실험군에서는 4.7, 4.8, 5.0, 5.0을 나타내었으며, A2실험군에서는 4.5, 4.7, 4.8, 5.1을 나타내었고, A3실험군에서는 1.4, 1.8, 3.0, 3.5를 나타내었으며, A4실험군에서는 4.9, 5.0, 5.5, 5.7을 나타내었고, A5실험군에서는 1.3, 1.7, 1.8, 2.0을 나타내었다. 따라서 고온을 유지시킨 실험군 A4에서 가장 큰 색변화를 나타냈으며, 고온과 저온을 매일 교체한 실험군 A1, 고온에서 저온으로 교체한 실험군 A2, 저온에서 고온으로 교체한 실험군 A3 그리고 저온을 유지시킨 실험군 A5의 순으로 나타났다. 이 결과로부터 모시의 색변화는 고온과 온도교차에 의해 크게 나타나고, 저온에서는 거의 색변화가 없다는 것을 알수 있었다.

삼베의 색변화는 A1실험군에서는 3.8, 4.4, 5.4, 5.4를 나타내었으며, A2실험군에서는 3.4, 3.8, 4.4, 4.5를 나타내었고, A3실험군에서는 2.3, 2.3, 5.0, 5.1을 나타내었으며, A4실험군에서는 3.9, 3.9, 4.5, 5.0을 나타내었고, A5실험군에서는 1.9, 1.9, 2.5, 2.6을 나타내었다. 따라서 고온과 저온을 매일 교체한 실험군 A1에서 가장 큰 색변화를 나타내었으며, 그 다음은 저온에서 고온으로 교체한 실험군 A3, 고온을 유지시킨 실험군 A4, 고온에서 저온으로 교체한 실험군 A2 그리고 저온을 유지시킨 실험군 A5의 순으로 색변화가 일어났다. 특히 저온에서 고온으로 교체한 실험군 A3에서는 고온으로 교체한 이후 색변화가 크게 발생되어 삼베의 색변화는 빈번한 온도교차와 고온일수록 색변화가 심하고, 저온일수록 색변화가 적다는 것을 알수 있다.

따라서 온도교차에 의한 각 재질의 색변화는 한지에서는 일정기간이 잠복기가 경과된 후 갑자기 색변화가 크게 증가되었으며, 고온에서 색변화가 현저하였다. 목면에서는 각 실험조건에 의해 거의 동일한 양상으로 거의 감지할수 있을 정도로 색변화를 하였으나 온도교차에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 모시에는 고온과 온도교차에 의해 크게 나타나고, 저온에서는 거의 색변화가 없다는 것을 알수 있었다. 삼베에서는 빈번한 온도교차와 고온일수록 색변화가 심하고, 저온일수록 색변화가 적다는 것을 알수 있다.



나. 습도 교차에 의한 변화

습도교차에 의한 각 재질의 색변화를 측정하기 위하여 각 실험조건에서 60시간, 120시간, 180시간 그리고 240시간을 유지시킨 다음 시료를 꺼내어 색차를 계산한 결과 한지의 색변화는 B1실험군에서는 1.4, 2.5, 4.7, 13.2를 나타내었으며, B2실험군에서는 2.7, 5.3, 6.0, 14.0을 나타내었고, B3실험군에서는 3.8, 3.8, 5.3, 9.3을 나타내었으며, B4실험군에서는 4.4, 5.5, 5.6, 5.9를 나타내었고, B5실험군에서는 4.6, 5.6, 6.2, 9.7을 나타내었다. 따라서 한지의 색차는 고습을 저습으로 교체한 실험군 B2와 고습과 저습을 매일 교체한 실험군 B1에서 색

변화가 크게 나타났으며 그 다음은 저습을 유지시킨 실험군 B5, 저습에서 고습으로 교체한 실험군 B3 그리고 고습을 유지시킨 실험군 B4의 순으로 색변화가 크게 나타났다. 이 결과로부터 한지의 색변화가 저습상태 또는 고습에서 저습으로 전환될 때 즉 지질의 수분이 방출될 때 발생된다는 것과 고습상태라도 항습조건이 되면 색변화가 거의 일어나지 않는다는 것을 알수 있다.

목면의 색변화는 B1실험군에서는 1.3, 1.3, 1.8, 1.9를 나타내었으며, B2실험군에서는 1.3, 1.3, 1.6, 2.0을 나타내었고, B3실험군에서는 1.3, 1.4, 1.7, 1.7을 나타내었으며, B4실험군에서는 1.3, 1.5, 1.6, 1.7을 나타내었고, B5실험군에서는 1.2, 1.4, 1.6, 1.7을 나타내었다. 따라서 목면의 색차는 각 실험조건에 의한 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 변화정도도 적었다. 그러므로 목면은 습도교차의 영향을 거의 받지 않는다는 것을 알수 있다.

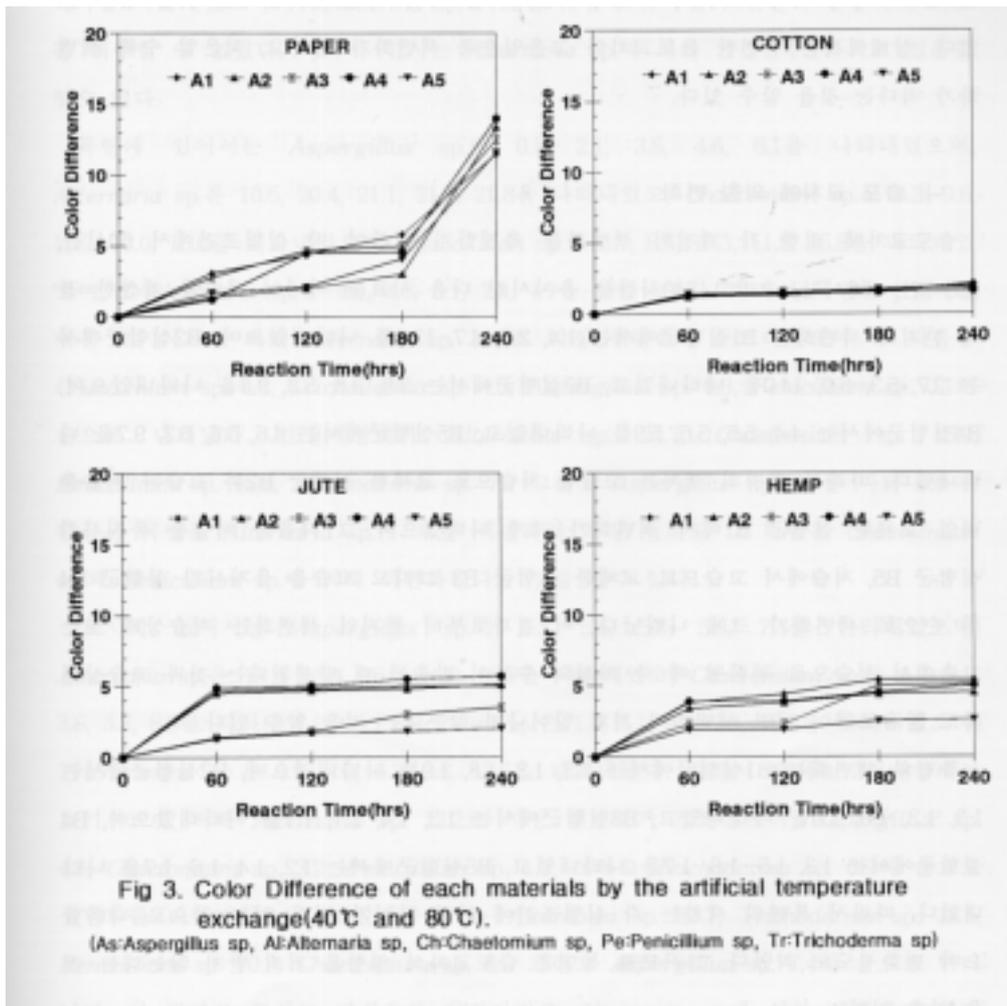
모시의 색변화는 B1실험군에서는 3.1, 3.3, 3.8, 4.3을 나타내었으며, B2실험군에서는 4.0, 4.2, 4.2, 4.6을 나타내었고, B3실험군에서는 2.2, 2.3, 3.3, 4.5를 나타내었으며, B4실험군에서는 3.8, 4.0, 4.3, 4.7을 나타내었고, B5실험군에서는 1.6, 1.6, 1.7, 2.4를 나타내었다. 따라서 모시의 색차는 고습을 유지시킨 실험군 B4와 고습에서 저습으로 교체한 실험군 B3에서 색변화가 크게 일어났으며, 저습에서 고습으로 교체한 실험군 B3에 색차를 나타내었으며 *Trichoderma* sp.은 12일 배양에서 지질이 완전히 손상되어 시료를 회수할 수 없었다. 따라서 한지는 *Alternaria* sp.에 의해 가장 색변화되고 있음을 알수 있다.

목면에 있어서는 *Aspergillus* sp.이 0.3, 2.1, 3.6, 4.6, 6.1을 나타내었으며, *Alternaria* sp.은 10.5, 20.4, 21.1, 21.6, 21.8을 나타내었고, *Chaetomium* sp.은 4.3, 9.6, 10.2, 12.0, 16.0을 나타내었으며, *Penicillium* sp.은 0.1, 8.6, 10.3, 11.8, 15.8을 나타내었으며, *Trichoderma* sp.은 4.0, 4.8, 5.1, 7.4, 7.7을 나타내었다. 따라서 목면은 3일 배양에서 초기시료에 비해 *Alternaria* sp. 10.5로 가장 색변화가 두드러졌으며, 그 다음은 *Chaetomium* sp. 4.3, *Trichoderma* sp. 4.0, *Aspergillus* sp. 0.3, *Penicillium* sp. 0.1의 순으로 나타났다. 15일 배양에서 *Alternaria* sp. 21.7, *Chaetomium* sp. 16.0, *Penicillium* sp. 15.8, *Trichoderma* sp. 7.7 그리고 *Aspergillus* sp. 4.6을 나타내었다. 따라서 목면은 *Alternaria* sp.에 의한 색변화가 가장 심하고 그 다음은 *Chaetomium* sp.과 *Penicillium* sp.에 의해 색변화된다는 것을 알수 있다.

모시에 있어서는 *Aspergillus* sp.이 4.3, 5.5, 5.6, 5.6, 7.4를 나타내었으며, *Alternaria* sp.은 13.2, 13.4, 16.0, 16.9, 20.7을 나타내었고, *Chaetomium* sp.은 3.2, 3.3, 3.6, 3.8, 8.5를 나타내었으며, *Penicillium* sp. 1.7, 4.1, 9.3, 9.4, 10.8을 나타내었으며, *Trichoderma* sp. 0.9, 5.0, 6.3, 9.8, 18.6을 나타내었다. 따라서 모시는 3일 배양에서 초기시료에 비해 *Alternaria* sp. 13.2로 가장 색변화가 심하였으며, *Aspergillus* sp. 4.3, *Chaetomium* sp. 3.2, *Penicillium* sp. 1.7 그리고 *Trichoderma* sp. 0.9의 순으로 색변화를 나타내었으나, 15일 배양에서는 *Alternaria* sp. 20.7, *Trichoderma* sp. 18.6, *Penicillium* sp. 10.8, *Chaetomium* sp. 8.5, 그리고 *Aspergillus* sp. 7.4의 순으로 나타났다. 이 결과로 모시는 면섬유와 마찬가지로 *Alternaria* sp.에 의한 색변화가 가장 심하였으며 사상균이 번식함에 따라 *Trichoderma* sp.와 *Penicillium* sp.에 의해서도 심한 색변화를 하는 것으로 나타났다.

삼베에 있어서는 *Aspergillus* sp.이 0.8, 2.8, 2.8, 3.6, 4.3을 나타내었으며, *Alternaria* sp.은 9.8, 12.1, 14.5, 16.7, 17.6을 나타내었고, *Chaetomium* sp.은 1.8, 5.7, 9.4, 11.9, 13.5를 나타내었으며, *Penicillium* sp.은 5.9, 7.3, 8.1, 8.3, 11.9를 나타내었으며 고습으로 교체한 이후 색변화가 심하였고 고습과 저습을 매일 교체한 실험군 B1, 그리고 저습을 유지시킨 실험군 B5에서 가장 적은 색변화를 나타내었다. 그러므로 모시는 고습상태와 고습에서 저습상태로 전환될 때 즉 수분을 방출할 때 발생되지만, 저습도에서 거의 색변화가 일어나지 않는다는 것을 알수 있었다.

삼베의 색변화는 B1실험군에서는 2.4, 2.6, 3.0, 3.6을 나타내었으며, B2실험군에서는 2.2, 2.5, 2.6, 2.7을 나타내었고, B3실험군에서는 1.8, 2.2, 2.9, 3.1을 나타내었으며, B4실험군에서는 1.6, 1.8, 2.4, 2.4를 나타내었고, B5실험군에서는 1.9, 2.1, 2.4, 2.5를 나타내었다. 따라서 삼베의 색차는 고습과 저습을 매일 교체한 실험군 B1에서 가장 큰 색변화를 나타내었으며, 그 다음은 저습에서 고습으로 교체한 실험군 B3에서는 고습으로 교체한 이후 급격한 색변화를 나타내었고, 고습에서 저습으로 교체한 실험군 B2, 저습을 유지시킨 실험군 B5 그리고 고습을 유지시킨 실험군 B4의 순으로 나타났다. 그러므로 삼베의 색변화는 주로 습도변화에 의해 일어난다는 것을 알수 있다.

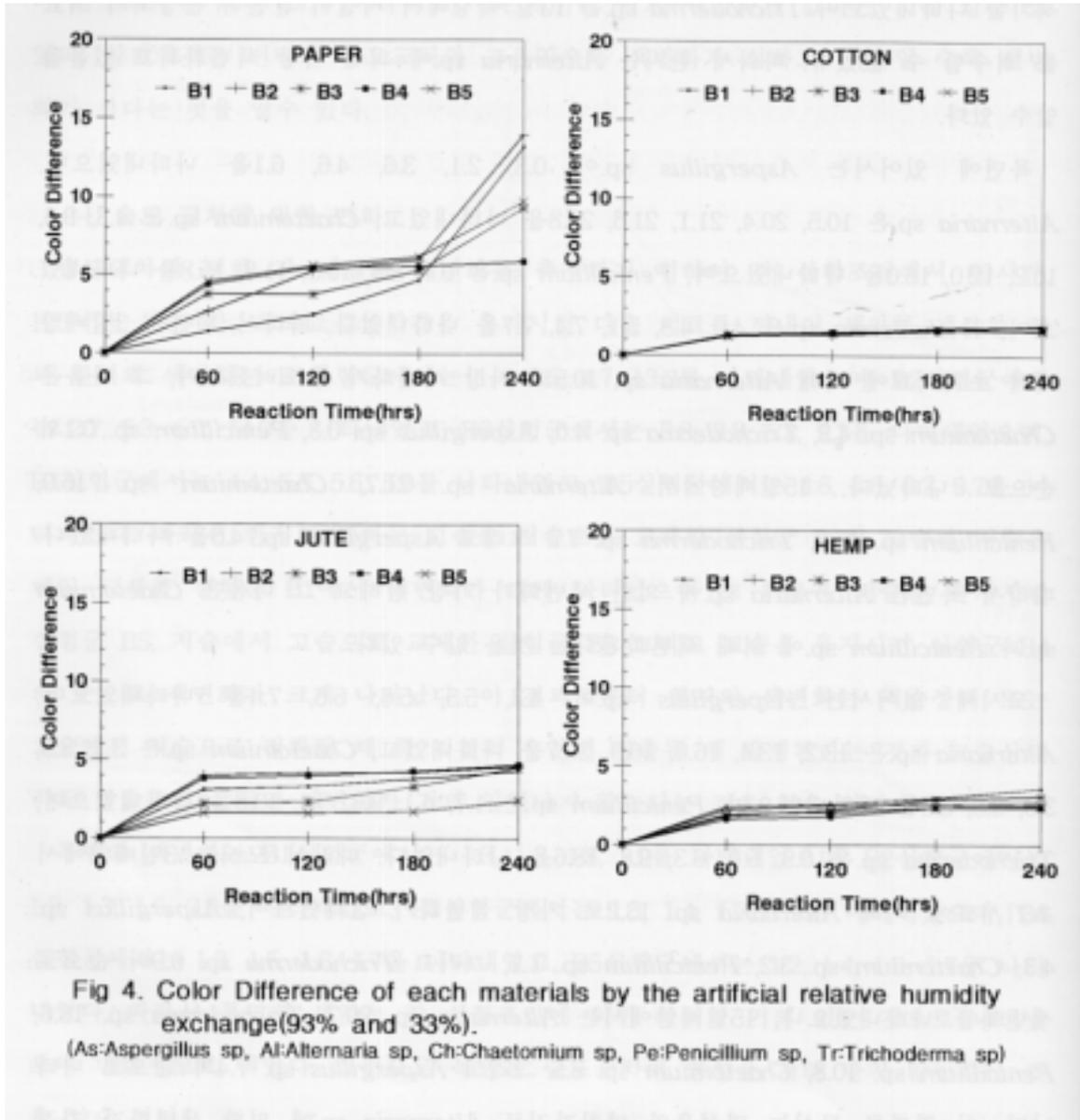


다. 미생물의 발생으로 인한 색변화

미생물의 발생으로 인한 일차적인 재질의 손상은 크게 구분하면 하나는 미생물이 분비하는 가수분해효소에 의해 각 재질이 가수분해되어 발생하는 강도의 저하, 다른 하나는 유기산 등의 분비물과 재질성분과의 화학작용에 의한 변퇴색을 들 수 있다.

각 재질에 공시균주를 접종하여 배양한 다음 3일, 6일, 9일, 12일 그리고 15일마다 시료를 꺼낸 다음 색변화를 측정하여 색차로 나타낸 결과 한지에 있어서 *Aspergillus* sp.이 2.3, 2.3, 2.6, 2.6, 3.9,를 나타내었으며, *Alternaria* sp.은 2.7, 5.1, 8.0, 11.3, 11.4를 나타내었고, *Trichoderma* sp.은 1.5, 2.4, 2.6을 나타내었으며 12일과 15일은 시료가 색변화를 측정할 수 없을 정도로 완전히 손상되어 있었다. *Penicillium* sp.은 3.1, 5.3, 5.3, 5.4, 5.5를 나타내었으며, *Trichoderma* sp.은 2.3, 3.1, 3.9, 7.3, 7.4를 나타내었다. 따라서 한지의 색차는 3일배양에서 초기시료에 비해 *Penicillium* sp. 3.1로 가장 색변화가 두드러졌으며, 그 다음은 *Alternaria* sp. 2.7, *Aspergillus* sp.과 *Trichoderma* sp. 2.3 그리고 *Trichoderma* sp. 1.5의 순으로 나타났다. 15일 배양에서 초기시료에 비해 *Alternaria* sp. 11.4, *Trichoderma* sp. 9.4, *Penicillium* sp. 5.5, *Aspergillus* sp. 3.9이며, *Trichoderma* sp.은 3.8, 5.1, 5.3, 6.1, 8.2를 나타내었다. 따라서 삼베는 3일배양에서 초기시료에 비해 *Alternaria* sp. 9.8, *Penicillium* sp. 5.9, *Trichoderma* sp. 3.8, *Chaetomium* sp. 1.8, *Aspergillus* sp. 0.80의 순으로 색변화를 나타내었으나, 15일배양에서 *Alternaria* sp. 17.6, *Chaetomium* sp. 13.5, *Penicillium* sp. 11.9, *Trichoderma* sp. 8.2 그리고 *Aspergillus* sp. 4.3의 순으로 나타났다. 따라서 삼베는 *Alternaria* sp.에 의한 색변화가 가장 심하였으며, *Chaetomium* sp.과 *Penicillium* sp.은 균체가 번식함에 따라 색변화를 심하게 초래하였다.

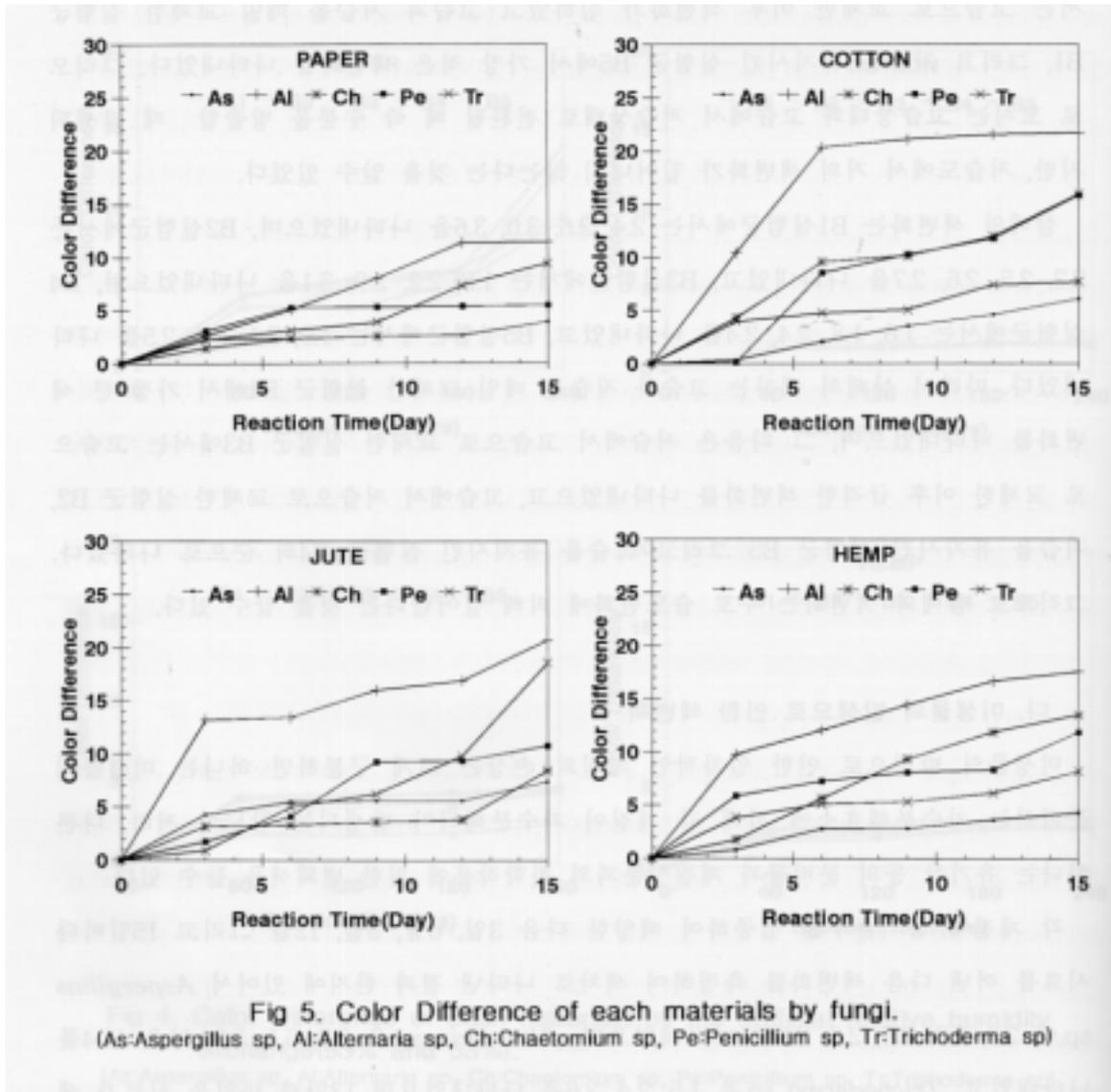
이상의 결과로부터 각 재질별로 색변화를 야기시키는 사상균이 특성을 구분해 보면 *Alternaria* sp.은 모든 재질을 흑회색으로 착색을 시켰으며, *Chaetomium* sp.은 목면과 삼베를 주황색으로 착색하였고, *Penicillium* sp.은 목면, 모시, 삼베를 연두색으로 착색하였다. 그러나 *Trichoderma* sp.와 *Aspergillus* sp.는 각 재질에 뚜렷한 착색은 나타내지 못하였다.



라. 방균제에 의한 사상균의 생육억제

각종 재질로 구성되어 있는 문화재에서 사상균의 발생으로 인한 색변화를 예방하기 위해서는 문화재에 사상균이 발생하지 않도록 사전에 예방하는 것이 필요하다. 우리나라는 연평균온도 12℃, 연평균습도 73% RH로 연중 사상균이 번식하기에 적당하며, 특히 하계다우인 계절적 특성으로 인해 여름의 장마철에는 그 피해가 심각하다. 따라서 사상균으로부터 문화재를 보존하기 위해서는 방균제의 투약과 함께 살균처리가 불가피한 실정이다. 문화재에 사용되는 방균제는 용매 등이 필요없이 상온에서 기체로 승화하여 방균효력을 가져야 하고, 가급적 재질에 영향을 주지 않아야 한다. 현재 세계적으로 사용되고 있는 방균제로는 p-Formaldehyde와 Thymol이 사용되고 있다. 따라서 본 실험에서도 이 2종류의 약제를 사용해서 공시균주의 발생을 억제하는 데 필요한 약량을 방균 효력으로 나타낸 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와같이 20℃에서 p-Formaldehyde와 Thymol의 방균 효과는 전반적으로 Thymol이 약효가 우수한 것으로 나타났는데 이것은 승화에 필요한 외부의 온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다. 각 재질별 각 균주에 대한 방균효과를 나타내는 약량을 조사한 결과 *Aspergillus* sp.에 대해서는 한지에서 p-Formaldehyde 60g/m³과 Thymol 80g/m³이었으며, 목면에서 p-Formaldehyde 100g/m³과 Thymol 80g/m³이었고, 모시에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 120g/m³이었으며, 삼베에서 p-Formaldehyde 100g/m³과 Thymol 80g/m³이었다.



Alternaria sp.에 대해서는 한지에서 p-Formaldehyde 150g/m³과 Thymol 120g/m³이었으며, 목면에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 60g/m³이었고, 모시에서 p-Formaldehyde 100g/m³과 Thymol 120g/m³이었으며, 삼베에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 120g/m³의 농도에서 발생이 억제되었다.

Chaetomium sp.에 대해서는 한지에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 100g/m³이었으며, 목면에서 p-Formaldehyde 80g/m³과 Thymol 100g/m³이었고,

모시에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 80g/m³이었으며, 삼베에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 100g/m³의 농도에서 발생이 억제되었다.

Penicillium sp.에 대해서는 p-Formaldehyde 50g/m³와 Thymol 100g/m³이었으며, 목면에서 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 60g/m³이었고, 모시에서 p-Formaldehyde 40g/m³과 Thymol 120g/m³이었으며, 삼베에서 p-Formaldehyde 40g/m³과 Thymol 80g/m³의 농도에서 발생이 억제되었다.

Trichoderma sp.에 대해서는 p-Formaldehyde 각 재질에서 200g/m³의 농도에서 억제되었으며, 한지에서 Thymol 80g/m³이었고, 목면과 삼베에서 Thymol 60g/m³이었고, 모시에서 Thymol 40g/m³의 농도에서 발생이 억제되었다.

이상의 결과로부터 각 사상균은 재질에 따라 방균력이 상이함을 나타냈는데 이것은 균주별로 재질의 분해능 즉 효소생성능의 차이에 의한 균주의 내구성에 기인된 것으로 생각되며 방균효과를 갖기 위해서는 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 120g/m³를 투여하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 이에 대해 新井(1984)은 p-Formaldehyde 20g/m³과 Thymol 65g/m³에서 방균력을 나타낸 것으로 보고한 것과는 상당한 차이가 있었다. 이것은 실험방법의 차이 특히 온도조건에 의한 것으로 생각되나 이에 대해서는 좀더 검토하고자 한다.

IV. 요약

지류, 섬유류 문화재에 있어서 사상균의 발생에 의한 재질의 변색을 방지하기 위해 온습도에 의한 색변화, 온습도교차에 의한 색변화, 그리고 미생물의 발생으로 인한 색변화를 측정하여 비교 검토하였으며, 미생물의 발생을 예방하기 위한 방균제의 선정 및 적정투약량을 조사하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

1. 일정한 습도조건하에서 온도차에 의한 색변화는 재질별로 볼 때 한지가 가장 크게 영향을 받고 있었으며 삼베, 모시, 목면의 순으로 영향을 받는 것으로 나타났으나, 한지를 제외한 섬유류는 온도의 영향은 거의 받지 않았으나 대체로 낮은 온도일수록 색변화는 적은 것으로 나타났다.
2. 일정한 온도조건에서 각 습도조건별로 각 재질의 색차를 조사한 결과 15일에서는 64%~75%의 조건에서는 색변화가 가장 적었으나 125일에서는 각 재질별로 안정적인 습도조건은 선정할 수 없었다.
3. 일정한 습도조건에서 온도교차에 의한 색변화는 재질별로 약간의 차이는 있으나 주로 고온과 빈번한 온도교차에서 색변화가 크게 발생하고 저온에서는 거의 발생하지 않았다. 그리고 목면은 거의 온도교차의 영향을 받지 않았다.
4. 일정한 온도조건에서 습도교차에 의한 색변화는 한지에서는 저습상태 또는 고습에서 저습으로 전환될 때 즉 지질의 수분이 방출될 때 발생된다는 것과 고습상태라도 항습조건이 되면 색변화가 거의 일어나지 않았으며, 목면에서는 습도교차의 영향을 거의 받지 않았고, 모시에서는 고습상태와 고습에서 저습상태로 전환될 때 즉 수분을 방출할 때 발생되지만, 저습도에서 거의 색변화가 일어나지 않았으며, 삼베에서는 주로 습도변화에 의해 일어난다는 것을 알수 있다.
5. 미생물의 발생으로 인한 각 재질의 색변화는 미생물의 번식에 의해 크게 증가하였으며 이것은 주로 사상균의 특성에 따른 분비물에 의한 것으로 추정되는 것으로 *Alternaria* sp.은 모든 재질을 흑회색으로 착색을 시켰으며, *Chaetomium* sp.은

목면과 삼베를 주황색으로 착색하였고, *Penicillium* sp.은 목면, 모시, 삼베를 연두색으로 착색하였다. 그러나 *Trichoderma* sp.과 *Aspergillus* sp.은 각 재질에 뚜렷한 착색은 나타내지 못하였다.

6. 각 사상균은 재질에 따라 방균력이 상이함을 나타냈으나 방균효과를 갖기 위해서는 p-Formaldehyde 200g/m³과 Thymol 120g/m³를 투여하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

이상의 연구를 종합하면 문화재에 미생물이 발생되면 단기간내에 재질분해뿐만 아니라 분비물의 착색으로 인한 색변화를 초래하므로 미생물이 번식하지 않도록 미리 방균제 Thymol 120g/m³를 투여하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 앞으로 미생물의 분비물에 의한 착색의 mechanism과 성분분석을 통하여 이를 제거할 수 있는 방법에 대한 연구를 계속할 예정이다.

□ 參考文獻 □

1. 도홍규(1976) 고서적의 과학적 보존방법, 규장각, 1, 25-40.
2. 민경희, 안희균, 한성희, 정희진(1984) 창덕궁 소장 지류 및 섬유질유물의 가해생물 분포조사, 보존과학연구, 5, 166-191.
3. 민경희, 안희균(1981) 지류 및 섬유질 문화재의 미생물에 관한 연구, 문화재, 14, 131-144.
4. 박원기(1976) 서고내 자료의 곰팡이 방지에 관한 연구, 규장각, 1, 13-23.
5. 배상경(1983) 대마직물의 방패성(Anti-Mildew)에 관한 연구, 이화여자대학교 대학원석사학위청구논문.
6. 이태녕, 이견무, 허현옥(1972) 직물 및 지류문화재, 문화재의 과학적 보존에 관한 연구(I), 과학기술처, 37-51.
7. 江本義數(1966) 日光東照宮等二社一寺建造物の 黴害とその防除, 日本保存科學, 2, 1-17.
8. 大江 禮三郎, 古典 拓(1987) 紙の劣化速度に關する試験, 保存圖書の酸性化對策に關する研究, 95-121.
9. 大槻虎男(1980) 書籍のなどとビについて, 書籍・古文書等のむし・かび害 保存の知識, 日本文化財蟲害研究所, 93-126.
10. 大槻虎男(1980) 紙布, 金屬などに發生するカビについて, 文化財蟲菌害保存必携, 日本文化財蟲害研究所, 13-26.
11. 大槻虎男(1990) 刀劍 や レンズに 發生する 好稠絲狀菌の 研究, 日本古文化財の科學, 35, 28-34
12. 登石健三(1980) 圖書館における書籍・古文書等 保存環境, 書籍・古文書等のむし・

かび害 保存の知識, 日本文化財虫害研究所, 127-147.

13. 新井英夫(1974) 文化財の 生物劣化, 日本防菌防黴, 2(3), 5-12.
14. 新井英夫, 森八郎(1975) 書籍の 生物劣化と その防除, 日本保存科学, 14, 33-43.
15. 新井英夫(1980) 木質文化財等の 微生物被害とその対策, 文化財虫害保存必携, 日本文化財虫害研究所, 27-47.
16. 新井英夫(1980) 書籍・古文書等の微生物被害とその対策, 書籍・古文書等のむし・かび害 保存の知識, 日本文化財虫害研究所, 1-24.
17. 新井英夫(1984) 紙菌類文化財の 保存に関する微生物学的研究, 日本保存科学, 23, 33-39.
18. Dersarkissan, M. and M. Goodberry(1980) Experimentals with non-toxic anti-fungal agents., Studies in Conservation, 25(1), 28-36.
19. Hueck, H.J.(1972) Textile Pests and Their Control., textile conservation, 76-97.
Thomson, G.(1977) Stabilization of RH in exhibition cases: Hygrometric half-time., Studies in Conservation, 22(2), 85-102.
20. Valentin, N., M. Lidstrom and F. Preusser(1990) Microbial control by low oxygen and low relative humidity environment., Studies in Conservation, 35(4), 222-230.