紙類·纖維質 遺物에 對한 大氣有害가스 (SO_2, NO_2)의 影響

The Effects of NO_2 and SO_2 Gas on the Paper and the Textile Cultural Properties

李奎植, 韓成熙*
Lee, Kyu Shik and Sung Hee Han*

□ABSTRACT : We exanmined the each effect of NO^2 and SO^2 gas, the main componets of air pollutants, on the deterioration of 6 organic materials with Gas exposure cabinet. The organic materials were used 2 kind of papers(Korean paper, Oldbook paper) and 4 kind of textiles (Cotton, Silk, Hemp, ramie) in gas exposure experiments.

In order to know how to change of physical conditions, the materials were exposed to 2000, 1000 ppm · h of SO_2 dose, to 100 ppm · h of NO_2 dose at 65% RH.

The color difference, tensile strength, elongation coeffient, mass reduction and fabric status of each materials were discussed the following below.

1. The color difference of cotton and hemp was larger than that of silk and ramie in the presence of SO_2 gas. and the color difference of korean paper was less than that of the textile materials in the presence of SO_2 gas.
2. The tensile strength of cotton fell suddenly at 100ppm · h of SO_2 dose and even became 56% of the unexposed cotton.
3. The weight of 6 materials began to decrease in the presence of SO_2 gas.
4. The tensile strength and elongation of the materials tended to decrease at 12.5ppm · h of NO_2 especially silk was the strongest tendency to decrease.
5. Cotton, hemp and ramie were influenced by SO_2 gas more than by NO_2, but silk were influenced by NO_2 more thang by SO_2 at 10ppm · h of each noxious gas.

Ⅰ. 서 론

다양한 종류의 재질로 만들어진 문화재는 그 주변 환경과 시간에 따라 여러 가지 노화현상이 발생하게 되는데, 이러한 노화현상은 문화재에 있어서 필연적인 것으로 받아들여지고 있다. 문화재의 수명은 인간의 수명처럼 기간을 설정할 수 없지만 적절한 환경을 유지시켜 줌으로써 상당한 차이가 생길 수 있다.

*國立文化財硏究所 保存科學硏究室
Conservation Science Dept. National Research Institute of Cultural Properties

문화재의 보존에 영향을 미치는 요인으로는 온도·습도·빛·기계적 외력 등의 물리적 요인과 산화·환원·분해 등의 화학적 변화가 있으며, 곰팡이·해충 등에 의한 생물피해 그리고 분진·유해가스를 포함한 대기오염 등이 있다. 이와 같은 요인들이 개별적이거나 또는 복합적으로 작용하여 문화재 재질에 큰 영향을 미친다. 이러한 피해 요인으로부터 문화재를 보존 하기 위해서는 먼저 피해 요인이나 재질 변화를 과학적으로 규명하는 것이 매우 중요하다.

대기오염이 대두되고 있는 요즘에 있어서 주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원, 지하시설물, 교통수단 등의 실내공기는 다양한 오염물질에 의해 오염되고 있다. 이러한 실내공기오염은 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아닐지라도 장기적으로 볼 때 건강에 나쁜 영향을 미친다. 유물도 마찬가지로 보존관리되고 있는 박물관이나 미술관도 실내공간으로서 이러한 공기오염 현상이 발생되며, 이것이 장기적으로 유물을 손상시키게 된다. 따라서 유물을 적절하게 유지관리하기 위해서 실내공기 오염물질이 유물에 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 유물의 보존환경 기준을 제시할 필요가 있다.

본 연구는 대기오염물질인 유해가스 지류·섬유질 유물의 손상에 미치는 영향을 실험적으로 규명하기 위하여 먼저 유물손상 관련 국내외 자료를 수집하여 분석하고 이들 자료를 바탕으로 인위적으로 유해가스를 제어할 수 있는 실험장치를 사용하여 유물 손상도 실험을 수행함으로서 지류·섬유질에 대한 유해가스의 영향정도를 파악하고 그에 대한 보존대책을 마련코자 하였다.

Ⅱ. 대기오염물질이 문화재에 미치는 영향

대기오염물질은 각종 유물에 다양한 형태로 영향을 미쳐 장기적으로 수장되어 있거나 전시되어 있는 유물을 손상시킨다고 보고되어 있다. 대표적인 오염물질이 문화재에 작용하는 영향을 Table 1에 나타냈다. 오염물질 중에서 유물에 크게 영향을 미친다고 알려진 가스상 오염물질인 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3) 등이 각종 유물에 일으키는 손상메카니즘과 영향정도는 아래와 같다.

1. 아황산가스(SO_2)

아황산가스(SO_2)는 화석연료를 연소시키는 어떤 곳에서나 발생한다. 화석연료중 황(S)이 산소(O_2)와 결합하여 아황산가스(SO_2)를 만들고, 아황산가스가 산소와 결합하여 삼산화황(SO_3)을 생성하고 다시 한번 물과 결합하여 황산(H_2SO_4)으로 변한다.

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$
$$2SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

전지구적으로 보아 SO_2분포는 1$\mu g/m^3$ 이하이지만, 문제는 이 SO_2가 불균일하게 분포하고 있다는 것이다. 즉, 공장지대에 밀집하여 발생하고 대부분의 박물관이나 유적들이 이러한 공장지대와 거의 일치하게 분포하고 있다는 것이다. 50μg의 SO_2는 0.04$\mu\ell$의 황산을 만들지만, 만일 1시간에 한번 공기가 순환되는 100m^3의 전시실

을 생각한다면, 한달간 3㎖의 황산이 전시실 내를 순환하고 그들 중 일부는 전시물에 부착될 것이다.

가. 문화재 재질에 따른 아황산가스의 영향

1) 탄산칼슘 물질(석고, 석회석, 대리석, 프레스코 벽화, 알칼리성 사암)
황산과 탄산칼슘이 작용하여 이산화탄소를 배출하고 황산칼슘이 되면서 표면에 손상을 입힌다. 그러므로, 대리석으로 만들어진 건축물이나 석회석 판 위에 염료로 그려진 프레스코벽화 등에 심각한 피해를 일으킨다. 특히, 석회석 건축물 표면에서 볼 수 있는 확연한 구분들, 즉 검은색, 흰색, 회색 무늬들은 오염의 증거가 된다. 여기서 회색은 단지 먼지가 낀 것이고, 흰색은 비에 직접 노출되어 심한 부식을 일으킨 것이고, 검은색 부분은 완전히 방수되지 못하고 표면에 습기가 찬 상태라고 여겨진다.

2) 셀롤로스 물질(종이, 면, 아마포)
높은 상대습도에서 오염의 속도가 빨라진다. 그러나, 중간 정도(30～70%)의 상대습도에서는 습도가 큰 영향을 미치지 못한다. 또한, 빛 특히 자외선 영역(UV) 파장을 지닌 빛 역시 피해를 증가시킨다.

3) 단백질(실크, 양털, 가죽)
실크가 양털보다 훨씬 더 아황산가스와 빛의 영향을 많이 받는다.

4) 금속(철, 구리, 은, 납, 금)
아황산가스의 피해를 가장 많이 입는 금속은 철이다. 피막이 없는 구리는 상대습도가 60～70%를 넘지 않는 한 박물관 공간 내에서 아황산가스의 피해를 입지 않는다. 은의 경우 황화수소(H_2S)의 피해를 입는데, 상대습도가 70% 이상일 때 피해가 가중된다. 납은 강산보다는 아세트산 같은 약산에 피해를 입는다. 순금일 경우 아황산가스나 다른 종류의 오염원에 의한 피해는 없다.

2. 이산화질소(NO2)

많은 질소산화물 중에서 이산화질소는 물과 결합하여 질산이 되므로 위험성이 있다.

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$$
$$\downarrow +air$$
$$HNO_3$$

아황산가스에 의한 피해에 더해서 철의 부식이나 셀롤로스의 수화같은 피해를 일으킨다. 특히, 아민계열에 미치는 영향이 크다. 늘어나는 자동차 배기가스 등으로 인하여 이산화질소에 의한 피해는 더욱 그 비율이 늘 것이다.

3. 오존(O3)의 영향

대기 중에 존재하는 오존은 아래와 같이 크게 3가지 원인에 의해서 생긴다.

가. 성층권에서의 자연적 생성

성층권에서 산소가 자외선을 받아서 생성된다. 이렇게 생성된 오존이 대류에 의해 지표면 근처의 공기에 함유된다.

나. 광화학적 스모그

자동차 배기가스에 자외선이 쬐어져서 생성된다.

다. 전기기구에 의한 생성

300㎚보다 작은 파장을 가진 자외선을 방출하는 특별한 전기기구들에 의해 발생된다.

오존은 강력한 산화력 때문에 모든 자연 재료에 위험성을 가지고 있다. 오존은 철의 산화와 은·동의 황화를 가속시킨다. 다행히도 관람객들의 호흡이 오존을 파괴하는데 도움을 준다. 오존의 보통 실내에서 아주 짧은 수명을 가진다.

Table 1. 공기중 주요 오염물질의 문화재에 대한 작용

공기 중의 오염물질	문화재에 대한 작용
분 진	퇴적, 달라붙기, 이것에 습기가 작용해서 일부가 용해하여 문화재의 재질에 작용한다.
염 (해수 미스트, NaCl)	문화재에 부착하여 습기에 의해 끈적거린다. 부식을 일으킨다. 해변의 시설에서는 특별히 주의하여야 한다.
아황산가스 (SO_2)	지면(紙綿) 등의 셀룰로스 물질, 래자, 염안료, 금속류, 석회석, 대리석, 회반죽 등을 수분과 작용시켜 황산(H_2SO_4)으로 만들어 침해한다.
황화수소 (H_2S)	은·동 제품에 대한 부식작용(소택지·온천·오염된 하천 등에서 발생, H_2S와 비슷한 유기유황화합물 메르카프탄은 쓰레기 하치장 등에서 발생)
암모니아 (NH_3)	공기 중의 SO_2와 반응해서 황산암모늄의 미립자를 만들어 유회(油繪)의 표면 등을 덮는다. 이런 현상을 부루밍이라고 한다. (화학공업석유정제 공장 등에서 발생)
질소산화물 (NO, NO_2)	염료에 유해하다.(연료의 연소·화학공장 등에서 발생)
오 존 (O_3)	모든 유기물 셀룰로스 물질·도료·염료·아교·고무 등을 침해 한다.(전기집진기에서의 발생에 주의)
탄산가스 (CO_2)	탄산염을 만들기 쉬운 안료로 보호막이 없는 것 등에 작용한다. 객의 호흡에 의해 생긴다. (환기가 충분치 않을 때 CO_2는 고농도)

Ⅲ. 대기오염에 의한 지류・섬유질유물 손상의 국외연구내용

대기오염물질이 유물의 손상에 미치는 영향에 관한 연구는 최근에 있어서 많은 관심을 갖고 수행되고 있으므로, 연구결과들이 많이 알려져 있지 않은 상태이나 여기에서는 일본, 미국에서 수행된 대표적인 실험결과를 간단히 소개한다.

1. 대기오염물질에 의한 염직품의 열화

최근 들어 일본 동경 등의 도시에서 일어나는 대기오염물질에 의한 공해가 절실한 문제가 되고 있다. 지구를 둘러싼 환경오염에는 다음과 같은 여러 가지 문제가 있다.

①프레온 가스에 의한 성층권에서 일어나는 오존 파괴
②메탄(CH_4) 및 이산화탄소(CO_2)에 의한 지표 온난화
③산성비에 의한 자연 파괴
④석유, 화석연료 등에 의해 발생하는 대기오염 공해

③과 ④는 산화질소 및 아황산가스가 중요한 오염원이다. 산화질소와 아황산가스 모두 물에 녹아서 산성을 띠고, 특히 산화질소는 초산을 만들기 때문에 산성의 원인인 동시에 산화작용이 있는 것으로 염직물에 대해 미치는 영향도 우려된다. 그리하여 대도시에 있어서 이들 오염물질의 농도는 측정함과 동시에 실험실에서는 염색포의 노출실험을 행하여 그 영향을 조사, 해석하였다. Table 2는 각 도시의 유명 박물관・미술관의 내부 및 외부에서 산화질소와 아황산가스 농도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이런 결과로부터 대기오염의 주 요인은 산화질소로 옥외의 평균치는 20~60ppb이며, 아황산가스 농도는 3~40ppb라는 것을 알 수 있다.

관내에서는 일반적으로 옥외보다 농도가 낮고, 특별히 공조설비가 잘 구비된 전시실에서는 이러한 차이가 크고 규모가 작은 미술관에서 겨울철 난방으로 석유 스토브 같은 것을 사용하면 갑자기 농도는 증가한다. 또한, 각 전시실에 위치한 시험용 염색포도 퇴색이 뚜렷해진다.

그리고 두 종류의 유해가스에 대한 노출실험 결과, 산화질소와 아황산가스도 염색에 대한 퇴색효과가 있음을 알 수 있었다.

그렇지만 공조 등의 합리적 환경관리는 유효하게 작용하는게 사실이고 장기간의 전시는 삼가면서 단기간의 경우 보존관리를 합리적으로 행하면 열화를 억제할 수 있다. 또한 동시에 실시하고 있는 연구결과에 의하면 대기오염물질이 금속에 미치는 영향이 심각함을 알 수 있었다.

2. NO_2, SO_2가스에 의한 천연섬유의 열화와 천연염료 염색포의 변퇴색

대기오염물질이 섬유나 염색포에 미치는 영향에 관해서는 오래전부터 연구가 진행되어 왔다. 염직 문화재에의 영향은 고찰되지 않은 중요한 문제이지만, 대기오염물질과 문화재의 보존, 관리에 대해서는 1980년대에 들어서면서 몇 개의 연구결과가 나오기 시작하였다.

S. Hackney는 아일랜드 국립미술관 및 런던의 빅토리아・앨버트 미술관에서 이산화질소와 아황산가스 농도를 조사하여 대기오염물질이 미술관에 스며드는 것을

지적하고, 이것으로부터 문화재를 보호하는 방법에 대하여 연구하였다. 그 후 G.R. Cass가 전통적인 염료나 안료의 오존 및 이산화질소에 의한 변색도에 관해 발표하였다.

이 연구에서는 보존과학적 입장에서 대기 중의 NO_2 및 SO_2가 염직품에 미치는 영향을 조사하는 제 1단계로서 NO_2 및 SO_2 가스에 의해 천연섬유인 면사, 견사의 열화정도와 천연염료를 사용하여 염색된 면포 및 견포의 퇴색 정도를 조사하였다. 실험에서는 일정농도의 NO_2 및 SO_2 가스를 사용하여 시료를 노출시키고 이런 가스의 총노출량(가스농도와 노출시간의 곱, 아래에서는 NO_2 dose, SO_2 dose라 약하여 부름)의 영향, 습도와의 상승작용에 대한 조사, NO_2 및 SO_2 dose와 열화, 변퇴색간의 정량적 관계를 규명하고자 하였다.

첫째, NO_2 가스노출에 의한 사의 강도 변화는 견사에서는 1140ppm · h까지 거의 나타나지 않은 반면에 면사에서는 684ppm · h이후 저하되고 1140ppm · h에서는 노출되지 않은 시료의 55%로 되었다. 신도는 면사, 견사 모두 낮은 NO_2 dose에서 변하였다. 둘째, SO_2 가스의 섬유에 대한 작용은 NO_2 가스보다 약하고, 면사, 견사 모두 1348ppm · h까지 강도 변화는 거의 보이지 않았다. 신도는 NO_2와 마찬가지로 낮은 SO_2 dose에서 변하였다. 셋째, 천연염료의 변퇴색에 대한 영향은 NO_2가 SO_2보다 크다. NO_2에서는 습도와의 상승작용이 있는 반면에, SO_2에서는 습도 변화에 따른 차이를 거의 볼 수 없었다.

이런 결과로 부터 문화재로서 염직품의 보존, 관리에서는 NO_2 및 SO_2의 영향을 간과해서는 안된다는 것을 알 수 있었다.

Table 2. 문화재의 전시 및 보존환경의 산화질소와 아황산가스 농도

측 정 지 점	평균농도 (ppb)		비 고
	산화질소	아황산가스	
A 미술관 옥외	69.1	40.4	동경 중심부
전시실	16.5	2.4	고속도로변
전시 케이스	6.4	0.5	
수장고	7.8	0.8	
B 미술관 옥외	30.7	11.5	橫浜 교외
전시실	20.2	1.3	海浜 지구
수장고	5.1	0.7	
C 미술관 옥외	35.8	6.6	千葉 교외
전시실	9.4	1.4	
수장고	7.7	2.3	
E 연구소 옥외	44.2	11.5	동경 上野공원내
전시실	21.9	0.8	
수장고	22.9	2.3	
F 대 학 옥외	49.0	8.0	동경 중심부
G 대학도서관 옥외	29.9	3.4	八王子 교외
서고	3.7	0.5	

3. 식물색소 염색포의 변퇴색에 미치는 NO_2 가스 농도의 영향

지금까지 천연섬유의 열화 및 천연염료 염색포의 변퇴색에 관한 연구를 수행하였는데, 이전 논문에서 대기오염물질 중에서도 영향이 크다고 생각되는 NO_2, SO_2 가스가 면 및 견의 열화, 식물색소 염색포의 변퇴색에 미치는 영향에 대하여 보고하였다.

이 중에서도 양자의 영향을 간과할 수 없는 것은 동일 총노출량에 의한 영향은 SO_2에 비해 NO_2가 매우 큰 사실이다. 문화재의 보존, 전시환경 중의 NO_2, SO_2 농도와 이전 연구결과를 함께 고려해 보면, 대기오염물질 중에서는 NO_2에 대한 대책이 필요함을 알 수 있다. 이러한 배경으로 NO_2 가스가 식물색소 염색포의 퇴색에 미치는 영향에 관하여 상세히 검토하였다.

실험결과 NO_2 가스가 식물색소 염색포의 퇴색에 미치는 영향은 습도가 NO_2의 농도보다 큼을 알 수 있다. 그러나, NO_2 농도에 따른 영향도 무시할 수 없고, 측정된 1~10ppm 범위에서는 총노출량이 동일한 경우 10ppm에서 단시간 노출시킨 것보다 1ppm에서 장시간 노출시키는 쪽이 영향이 크게 받는다는 것이 판명되었다. 따라서, 염직문화재의 보존, 전시환경에서는 먼저 습도를 낮게 유지하고, NO_2 농도를 가능한한 낮게 유지할 필요가 있다.

Ⅳ. 실험내용

본 실험은 국외연구결과를 기초로 하여 대기오염물질중 대표적인 유해가스인 아황산가스(SO_2)와 이산화질소(NO_2)가 지류, 섬유류 유물의 색도, 재질 및 물리적 상태에 미치는 영향을 각각 조사・비교하였다.

1. 시편특성

가. 지류

지류 유물은 서화, 서적, 고문서, 묵서, 불경 등으로 서화류와 전적류로 구분할 수 있다. 서화류의 경우 재질을 살펴보면 바탕 재료는 대부분이 지류이고, 서화필 재료는 먹, 물감 등으로 크게 나뉜다. 이러한 재질에 퇴색 및 노화현상이 발생하는 것은 공기중의 오염물질이나 습기・햇빛에 노출된 공기 중의 산소가 광선이나 습도, 높은 온도에 의하여 노화작용을 일으키기 때문이다. 특히, 공기중 아황산가스와 광선은 종이의 노화에 중요한 원인이 된다.

지류의 시편으로는 한지와 고서적을 사용하였다.

나. 섬유류

섬유류는 고분자 유기화합물로서 외부로부터 화학작용에 대해서는 비교적 안전한 물질이다. 그러므로, 보관 관리를 철저히 하여 손상 요인을 미연에 방지하여야 하나, 보관하는 환경조건이 미비하게 되면 변질・변화 현상이 발생하게 된다. 이것은 대체로 광선, 공기 중의 분진, 산소, 아황산가스, 습기 등이 재질에 작용하여 분해시키기 때문이다.

섬유류의 시편으로는 동물성 섬유인 견과 식물성 섬유인 면, 모시 및 삼베를 구입하여 사용하였다.

2. 유해가스 실험

유해가스 실험에 사용된 유물의 종류, 가스의 종류 및 손상도 평가를 위한 측정 인자를 정리하여 Table 3에 나타냈다.

Table 3. 유해가스의 실험대상 및 항목

유물의 종류	가스의 종류	측정 인자
한 지	아황산가스, 이산화질소	색도, 인장강도 및 신장률, 중량, SEM 사진
고서적	〃	〃
견	〃	〃
면	〃	〃
모 시	〃	〃
삼 베	〃	〃

Ⅴ. 실험방법

1. 유해가스 실험

가. 실험장치

유해가스에 의한 유물 손상을 실험적으로 규명하기 위해서는 인위적으로 유해가스의 종류와 농도를 제어할 수 있어야 한다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 유해가스 실험장치는 가스공급장치와 가스부식시험기(Gas Exposure Cabinet, Model GE-15, Atlas Electric Devices Co.)로 구성된다. 가스부식시험기는 기기 내부의 온도 및 습도를 조절할 수 있으며, 아황산가스, 이산화질소, 오존 등이 유물을 구성하는 여러 가지 재질에 미치는 영향을 시험할 수 있는 특수장치이다. 시험기 내부에는 10개 이상의 수평봉이 설치되어 있어 많은 시편을 동시에 시험할 수 있다. 그리고, 아황산 가스와 같이 공기보다 비중이 큰 유해가스 실험에 있어서 기기 내부의 유해가스 농도가 균일하게 유지되도록 기기내 하부에 송풍팬이 설치되어 있다.

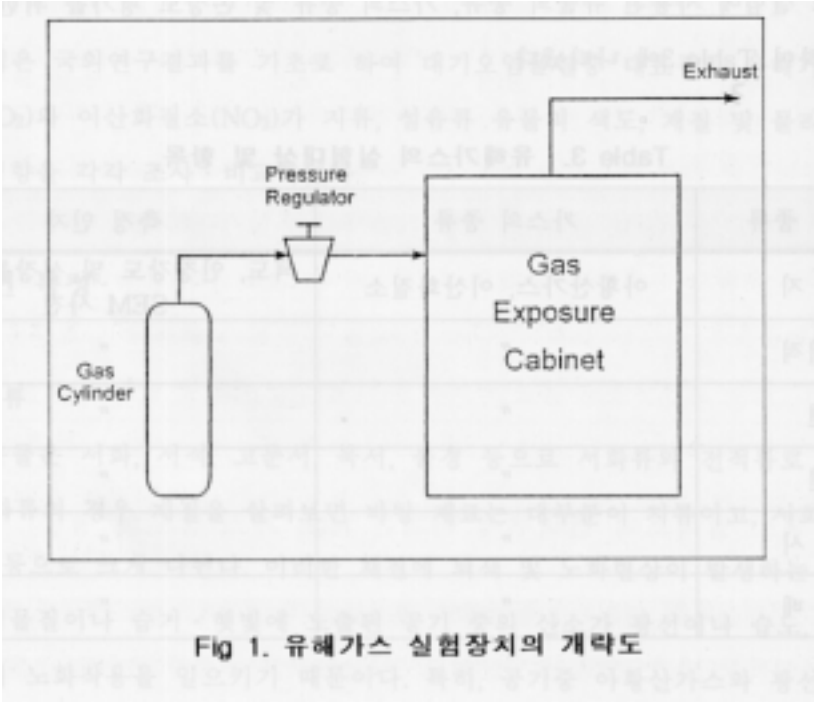


Fig 1. 유해가스 실험장치의 개략도

나. 실험방법

유해가스에 의한 유물손상실험을 효율적으로 수행하기 위하여 먼저 아황산가스(SO_2)를 사용하여 전반적인 실험을 수행하였고, 그후 이산화질소(NO_2)에 대한 실험은 보충적으로 수행하였다. 유해가스 실험방법은 다음과 같다. 실험 전후에 유물 시편을 데시케이터 내에 24시간 동안 보관한 후 시편의 중량을 측정하였다. 제작한 유물 시편의 실험전 특성을 분석한 후 시편을 유해가스 실험장치 내부에 고정시킨다.

아황산가스(2%)와 질소가스(98%)를 혼합한 가스실린더를 이중 압력조절계를 통하여 가스부식시험기의 챔버에 연결하고 압력조절계를 열어 혼합가스가 일정한 비율로 챔버에 유입되도록 조절한다. 그리고, 시험기 챔버 내로 유입되는 가스 농도를 설정된 값(10ppm)으로 조정하기 위하여 시험기의 가스유량계를 사용하여 가스 농도를 세밀히 조절한 후 일정 시간별로 유물 시편을 가스에 노출시킨다.

아황산가스 유물손상 실험은 노출시간을 5단계(25, 50, 100, 150, 200시간)으로 구분한 1차 실험을 먼저 수행하였고, 1차 실험결과를 검토한 후 노출시간을 6단계(10, 20, 30, 50, 70, 100시간)로 구분한 2차 실험을 수행하였다. 노출실험을 하는 동안 시험기 챔버내의 온도는 34℃, 상대습도는 65%로 유지되도록 하였다.

본 실험에서는 광선에 의한 영향을 배제하기 위하여 가스부식시험기 내부의 조명장치를 노출시간 동안에는 사용하지 않았다. 설정된 시간이 경과하면 시편을 꺼내어 유해가스에 의한 유물의 특성변화를 보기 위하여 색도, 중량, 인장강도 또는 압축강도 등을 측정하였다. 이러한 과정을 노출시간별 실험조건에 따라 반복적으로 수행한다.

이산화질소에 의한 유물손상 실험도 아황산가스 실험과 거의 동일한 방법으

로 실시하였다. 단, 이산화질소(22%)와 질소가스(98%)를 혼합한 가스실린더를 사용하였고, 시험기 챔버 내의 이산화질소 농도는 2.5ppm으로 조정하였다. 가스노출시간은 5단계(5, 10, 20, 30, 40시간)로 구분하였고, 온도, 습도, 빛 등과 같은 실험조건은 아황산가스 실험과 동일하게 조절하였다.

다. 유물 손상도 측정방법

유해가스가 유물의 재질 변화에 미치는 영향을 측정하기 위하여 다음과 같은 방법으로 시편의 인장강도, 압축강도, 중량, 색차를 측정하였다.

1) 인장강도 및 신장률의 측정

아황산가스, 이산화질소와 같은 유해가스에 의한 재질 변화를 측정하기 위하여 지류(한지, 고서적)·섬유류(면, 견, 삼베, 모시)의 인장강도 및 신장률은 UTM(Universal Test Machine, Model 4204, Instron Co.)을 이용하여 측정하였고, 측정방법은 한국공업규격(KS)에 의거하였다.

한지, 고서적과 같은 지류의 인장강도는 KS M 7014의 규정에 의거하여 측정하였다. 시험편은 KS M 7012의 규정에 따라 전처리 된 용지에서 시료의 접힌 부위, 주름 부위 등은 피하고, 가로 및 세로 방향으로 정확하게 폭 15.0 ± 0.1㎜로 재단하였다. 가로 방향은 될 수 있는 한 평행하고 깨끗하게 절단하여야 하고, 그 길이는 100㎜ 이상으로 하는 것이 좋았으며 종이에 대한 UTM의 집게 거리는 100㎜로 하였다. 인장속도(Load Cell Speed)는 지류의 경우 7.5㎜/min로 조정하여 측정하였다.

면, 견, 삼베, 모시와 같은 섬유류의 인장강도는 KS K 0520의 규정에 의거하여 측정하였다. 시험편은 3.8㎝×15㎝ 크기의 직사각형으로부터 가로 2.5㎝가 되도록 시험편 좌우측의 실을 거의 동일한 수로 풀어내는 래블스트립법(Ravelled Strip Method)을 기준으로 제작되었으며, 예비실험결과에 따라 인장강도가 큰 가로 방향의 변화만을 측정하였다. 인장속도는 면·견과 같은 섬유의 경우 50㎜/min, 삼베·모시와 같은 섬유는 25㎜/min로 각각 조정하여 각 섬유 시편의 인장강도를 측정하였다.

신장률은 인장강도 측정시 시편에 최대인장강도가 가해진 후 시편의 변형된 길이를 백분율로 나타낸 값으로 지류의 경우 KS M 7015, 섬유류의 경우 KS K 0520의 규정에 의거하여 측정하였다.

2) 색도 측정

각 유물 재질의 색변화를 비교하기 위하여 유해가스 노출전 상태와 노출후 상태의 색상을 색도계(Chroma Meter, Model CR-200, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였고, 색상의 변화 정도를 KS A 0063의 규정에 의거하여 $L^*a^*b^*$표색계의 색차(ΔE)로 표시하였다. $L^*a^*b^*$표색계는 국제조명위원회(Commission International de I´Eclairage 약칭 CIE)가 1976년에 권장한 지각적으로 거의 균등한 보도를 가진 색공간의 하나로서, 국제조명위원회에서는 CIE 1976($L^*a^*b^*$) 색공간이라 부르며 CIELAB로 표시한다.

$L^*a^*b^*$표색계에 의한 색차(ΔE^*ab) 계산방법은 다음과 같다.

$$\Delta E^*_{ab} = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$$

ΔL^*, Δa^*, Δb^*는 각각 KS A 0067에 규정되어 있는 $L^*a^*b^*$ 표색계에서 2개의 물체색의 명도지수 L^*, 크로마틱네스 지수 a^* 및 b^*의 차이다.

3) 중량 측정

유해가스 노출에 대한 각 유물 시편의 중량변화를 측정하기 위하여 중량계(Libror Aeg-220, Simadzu, Japan)를 이용하여 각 시편의 최초중량과 유해가스 노출 후 시편의 변화중량을 측정하였고, 그 변화율을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{중량변화율}(\%) = \frac{\text{최후중량} - \text{최초중량}}{\text{최초중량}} \times 100$$

4) 주사형 전자현미경(SEM) 사진 촬영

유해가스가 유물 상태에 미치는 영향을 파악하기 위하여 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microsecope, Model SEM 515, Philips)을 사용하여 유물 시편의 표면 및 섬유상태를 관찰하고, SEM 사진을 촬영하였다.

Ⅵ. 실험결과

1. 아황산가스(SO_2)의 영향

아황산가스가 유물에 미치는 영향에 대한 실험은 2차에 걸쳐 수행되었다. 1차 실험에서는 2종류(면, 고서적)의 유물 시편을 대상으로 아황산 가스의 농도를 10ppm으로 설정할 후 25, 50, 100, 150, 200시간 동안 노출시켜 개략적인 유물 손상도를 살펴보았다.

1차 실험결과로부터 아황산가스의 노출조건이 1000ppm · h이하에서 유물의 손상도가 크게 변함을 알 수 있었다. 그러므로, 2차 실험에서는 아황산가스의 농도를 10ppm으로 설정한 후 10, 20, 30, 50, 70, 100시간 동안 유물 시편을 아황산가스에 노출시켜 유물 손상도를 상세하게 분석하였다. 또한 대상 유물도 6종류(한지, 고서적, 면, 견, 모시, 삼베)로 늘리고, 각 실험조건마다 5개의 시편을 사용하여 손상도 측정값의 평균을 구하여 실험결과를 나타냈다.

가. 인장도 및 신장률의 변화

인장강도 및 신장률에 대한 1, 2차 측정결과를 Table 4, 5와 Fig. 2에 나타냈다.

1) 섬유류(면, 견, 삼베, 모시)

아황산가스에 일정 주기별로 노출된 면의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 2(a),(b)를 보면, 면이 아황산가스에 노출되면 인장강도는 약간씩 증가하고, 신장률은 감소함을 알 수 있다. 이러한 변화는 노출 초기(본 실험조건에서는 100ppm · h 근처)에 크게 생기며, 신장률의 경우 노출시간이 경과해도 크게 변하지 않고 거의 일정하다.

견의 인장강도 및 신장률의 변화를 나타낸 Fig. 2(c)를 보면, 아황산가스

와 접촉하면서 대체로 견의 인장강도와 신장률이 약간씩 감소함을 알 수 있다.

삼베의 인장강도 및 신장률의 변화를 나타낸 Fig. 2(d)를 보면, 삼베의 인장강도는 아황산가스에 노출된 시간이 경과함에 따라 감소하였다가 증가하고, 신장률은 증가하였다가 감소하고, 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 본 실험범위 내에서는 노출조건이 300ppm · h근처일 때 인장강도는 최소로 되고, 신장률은 최고로 된다.

모시의 인장강도 및 신장률의 변화를 나타낸 Fig. 2(e)를 보면, 모시의 경우 면, 견, 삼베와 달리 아황산가스에 노출된 시간이 경과함에 따라 인장강도는 계속해서 증가하나 신장률은 거의 변하지 않는다.

섬유류의 인장강도와 신장률을 비교해 보면, 인장강도의 크기는 삼베 > 견 > 모시 > 면 순이고, 신장률은 견 > 면 > 삼베 > 모시의 순으로 큼을 알 수 있다.

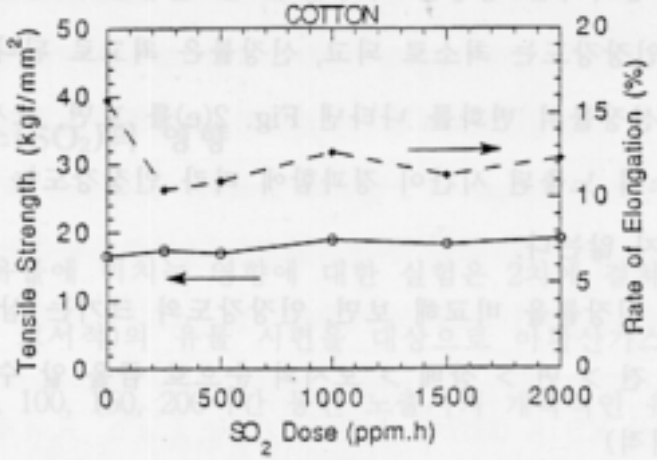
2) 지류 (한지, 고서적)

아황산가스에 일정 주기별로 노출된 한지의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 2(f)를 보면, 한지의 인장강도는 대체로 감소하며 아황산가스에 노출된 초기에 변화가 심하다. 그러나, 신장률은 거의 변하지 않는다.

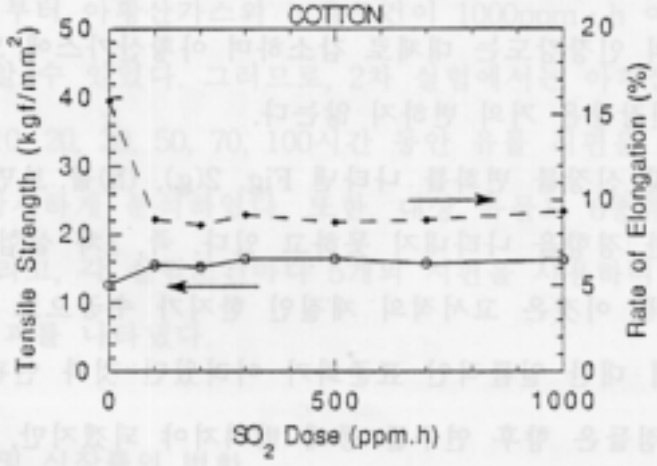
고서적의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 2(g), (h)를 보면, 고서적의 인장강도와 신장률은 일정한 경향을 나타내지 못하고 있다. 즉, 1차 실험결과와 2차 실험결과가 일치하지 않는데, 이것은 고서적의 재질인 한지가 수공으로 만들어져서 실험시편의 두께, 중량 등에 대한 일률적인 표준화가 어려웠던 것과 연관이 있는 것으로 여겨진다. 이러한 문제점들은 향후 연구를 통해 밝혀져야 되겠지만, 고서적은 재질상 동일한 한지와 비슷하게 아황산가스 영향을 받을 것으로 추정된다. 그리고 지류의 인장강도와 신장률은 섬유류에 비해 매우 작음을 알 수 있다.

Table 4. 아황산가스 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화 (1차 실험결과)

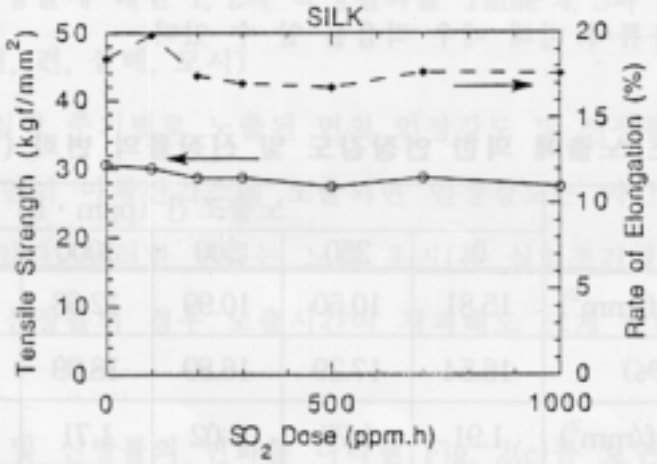
유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)					
		0	250	500	1000	1500	2000
면	인장강도 (kgf/mm^2)	15.81	10.50	10.99	12.68	11.34	12.29
	신장률 (%)	16.54	17.29	16.89	18.89	18..21	18.90
고서적	인장강도 (kgf/mm^2)	1.91	1.77	2.02	1.71	2.408	1.53
	신장률 (%)	1.58	4.08	3.56	3.304	3.31	2.72



(a) 면 (1차 실험결과)

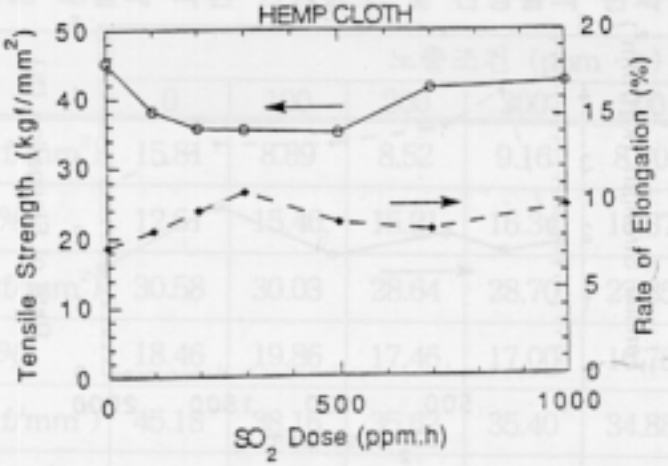


(b) 면 (2차 실험결과)

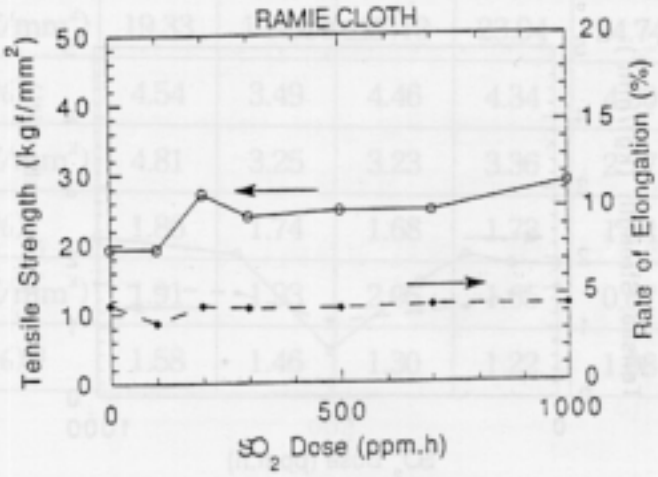


(c) 견

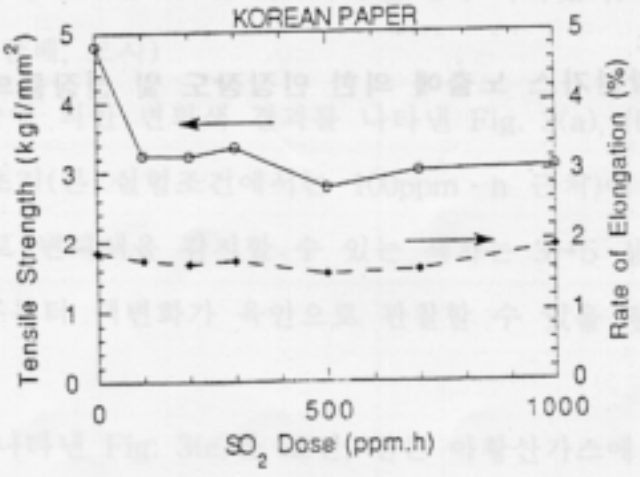
Fig 2. 아황산가스 노출에 의한 인장장도 및 신장률의 변화(Ⅰ)



(d) 삼베

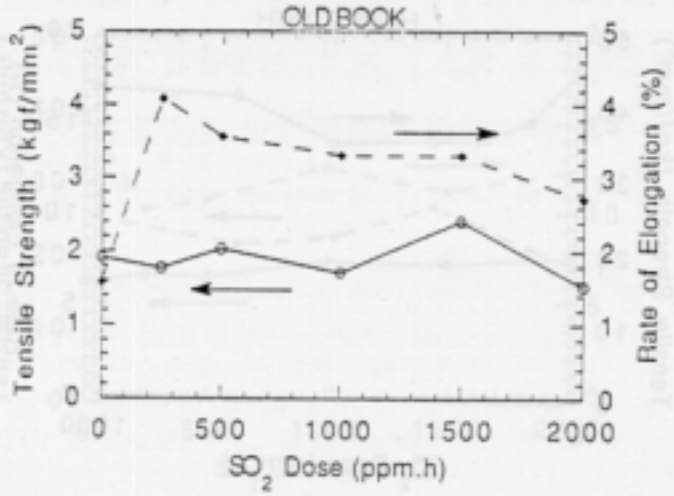


(e) 모시

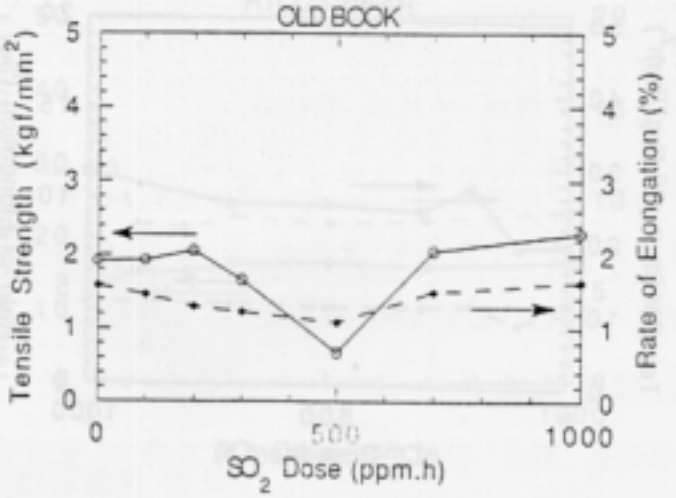


(f) 한지

Fig 2. 아황산가스 노출에 의한 인장장도 및 신장률의 변화(Ⅱ)



(g) 고서적 (1차 실험결과)



(h) 고서적 (2차 실험결과)

Fig 2. 아황산가스 노출에 의한 인장장도 및 신장률의 변화(Ⅲ)

Table 5. 아황산가스 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화 (2차 실험결과)

유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)						
		0	100	200	300	500	700	1000
면	인장강도 (kgf/mm²)	15.81	8.89	8.52	9.16	8.70	8.83	9.34
	신장률 (%)	12.61	15.46	15.21	16.34	16.37	15.72	16.17
견	인장강도 (kgf/mm²)	30.58	30.03	28.64	28.70	27.35	28.70	27.30
	신장률 (%)	18.46	19.86	17.46	17.00	16.78	17.68	17.56
삼베	인장강도 (kgf/mm²)	45.18	38.16	35.62	35.40	34.88	41.40	42.33
	신장률 (%)	7.47	8.39	9.53	10.60	8.82	8.38	9.75
모시	인장강도 (kgf/mm²)	19.33	19.30	27.19	23.94	24.74	24.62	28.64
	신장률 (%)	4.54	3.49	4.46	4.34	4.30	4.46	4.42
한지	인장강도 (kgf/mm²)	4.81	3.25	3.23	3.36	2.77	3.01	3.07
	신장률 (%)	1.86	1.74	1.68	1.73	1.54	1.59	1.92
고서적	인장강도 (kgf/mm²)	1.91	1.93	2.06	1.65	0.67	2.05	2.29
	신장률 (%)	1.58	1.46	1.30	1.22	1.08	1.49	1.63

나. 색변화

색상에 대한 1, 2차 측정결과를 Table 6, 7과 Fig. 3에 나타냈다.

1) 섬유류 (면, 견, 삼베, 모시)

면의 아황산가스 노출에 의한 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(a),(b)를 보면, 면은 아황산가스에 노출되는 초기(본 실험조건에서는 100ppm · h 근처)에 색차(ΔE)가 크게 생긴다. 인간이 육안으로 변퇴색을 감지할 수 있는 색차는 3~5 정도이므로, 면은 아황산가스와 접촉한 직후부터 색변화가 육안으로 관찰할 수 있을 정도로 심하게 일어나리라고 추정된다.

견의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(c)를 보면, 견은 아황산가스에 노출됨에 따라 색변화가 점차적으로 생기며, 명도는 별로 변하지 않음을 알 수 있다.

삼베의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(d)를 보면, 삼베의 색차는 초기(본 실험조건에서는 100ppm · h 근처)에 크게 증가하였다가 점차 약간씩 감소하는 경향을 보이며, 이러한 색차는 주로 명도 변화에 기인됨을 알 수 있다. 색차의 크기는 면의 경우와 비슷하다.

모시의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(e)를 보면, 모시는 아황산가스에 노출되는 초기(본 실험조건에서는 100ppm · h 근처)에 색차가 크게 생기며, 그 후에는 거의 비슷한 색차를 나타낸다.

섬유류의 색차를 비교해 보면, 면, 삼베의 색차가 견, 모시보다 큼을 알 수 있다.

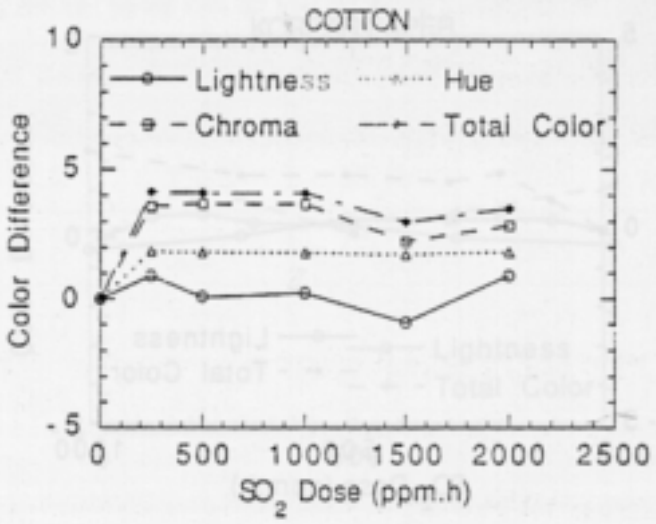
2) 지류 (한지, 고서적)

한지의 아황산가스 노출에 의한 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(f)를 보면, 한지의 색차(ΔE)는 아황산가스에 노출된 시간이 경과함에 따라 증감을 반복하는 경향을 보이며, 이러한 색차는 1 근처로 섬유류에 비해 작다.

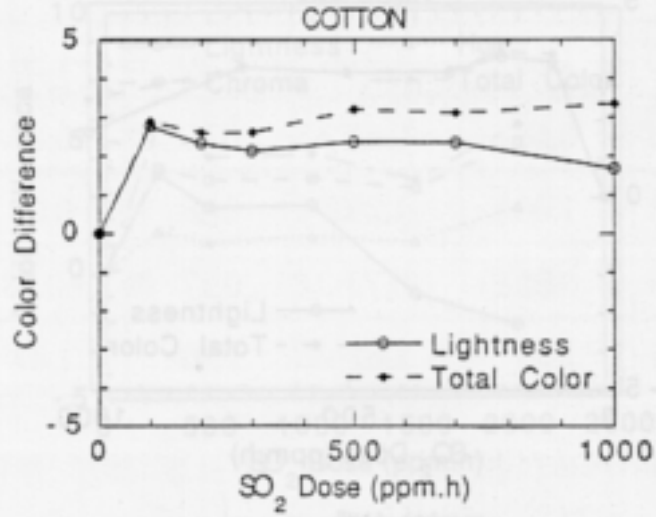
고서적의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 3(g), (h)를 보면, 고서적의 색차는 아황산가스와 접촉한 직후부터 점차 증가하는 경향을 보인다. 1000ppm · h에서 1차 실험의 경우 색차는 4.5 정도이었으나, 2차 실험의 경우에는 2정도로 낮게 나타났지만, 한지에 비해서는 색변화가 심함을 알 수 있다. 고서적의 색차는 섬유류의 견, 모시와 비슷한 정도임을 알 수 있다.

Table 6. 아황산가스 노출에 의한 색변화 (1차 실험결과)

유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)				
		250	500	1000	1500	2000
면	△L (명도차)	0.89	0.08	0.23	-0.91	0.90
	△C (채도차)	3.58	3.68	3.66	2.23	2.82
	△E (색 차)	4.13	4.10	4.09	2.97	3.48
	△H (색상차)	1.85	1.82	1.80	1.73	1.82
고서적	△L (명도차)	3.73	2.43	2.48	-0.98	-2.23
	△C (채도차)	3.96	3.47	3.51	3.11	4.88
	△E (색 차)	5.58	4.38	4.49	3.44	5.58
	△H (색상차)	1.50	1.09	1.30	1.08	2.38

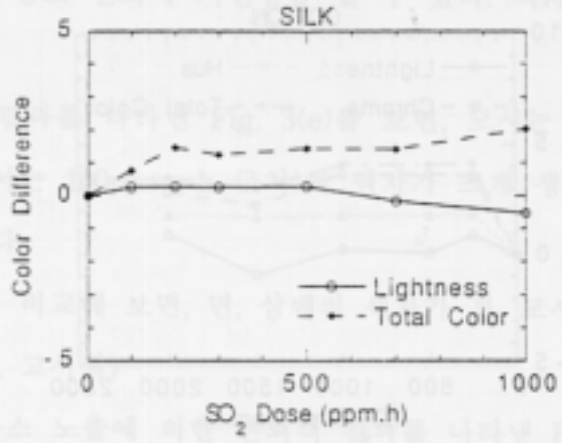


(a) 면 (1차 실험결과)

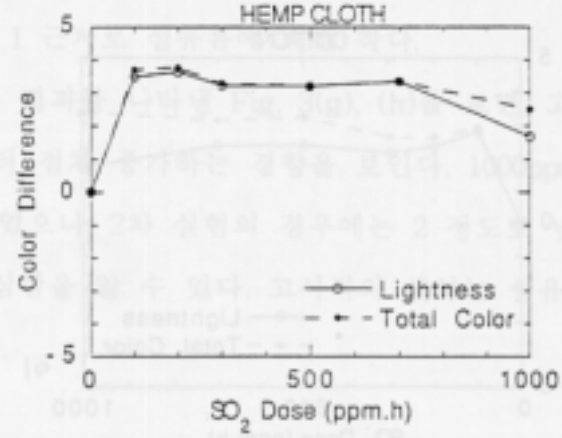


(b) 면 (2차 실험결과)

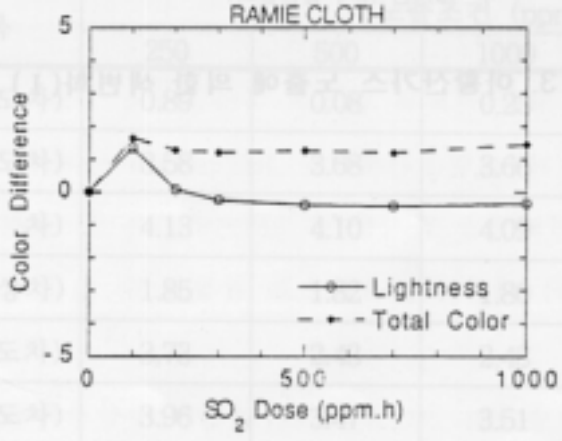
Fig 3. 아황산가스 노출에 의한 색변화(Ⅰ)



(c) 견

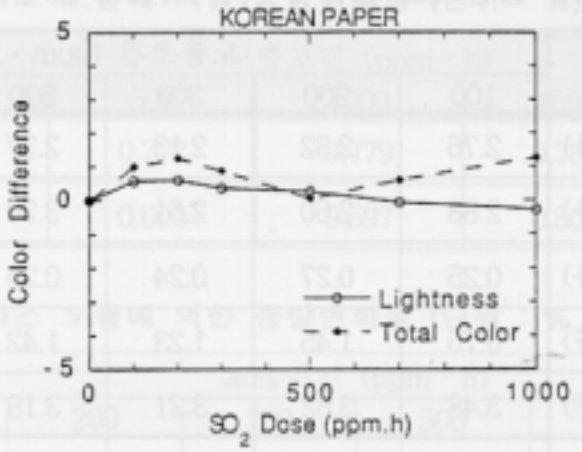


(d) 삼베

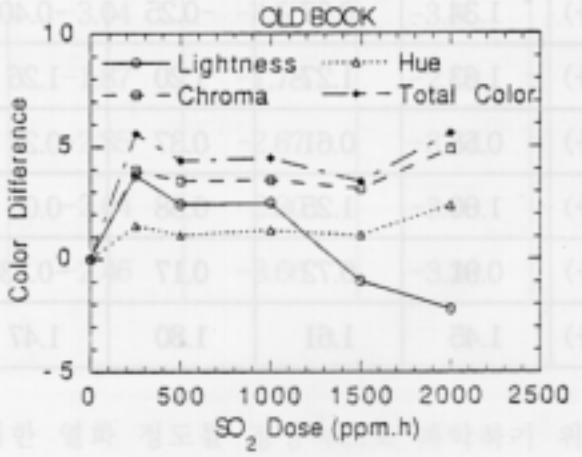


(e) 모시

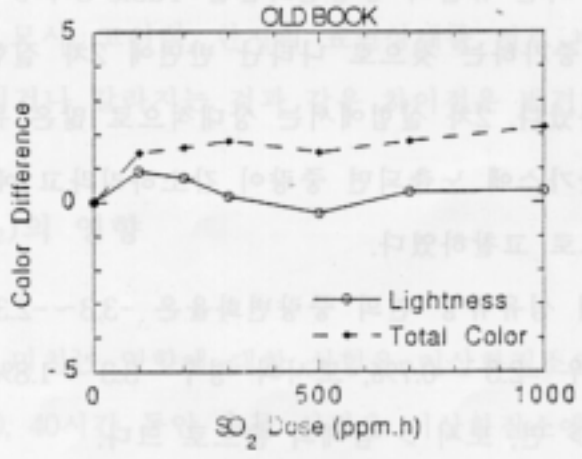
Fig 3. 아황산가스 노출에 의한 색변화(Ⅱ)



(f) 한지



(g) 고서적 (1차 실험결과)



(h) 고서적 (2차 실험결과)

Fig 3. 아황산가스 노출에 의한 색변화(Ⅲ)

Table 7. 황산가스 노출에 의한 색변화 (2차 실험결과)

유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)					
		100	200	300	500	700	1000
면	△L (명도차)	2.76	2.32	2.13	2.37	2.34	1.68
	△E (색 차)	2.88	2.60	2.61	3.20	3.11	3.34
견	△L (명도차)	0.25	0.27	0.24	0.26	-0.18	-0.54
	△E (색 차)	0.76	1.45	1.23	1.42	1.40	2.04
삼베	△L (명도차)	3.48	3.62	3.21	3.19	3.33	1.68
	△E (색 차)	3.69	3.75	3.27	3.20	3.33	2.50
모시	△L (명도차)	1.34	0.07	-0.25	-0.40	-0.44	-0.36
	△E (색 차)	1.63	1.27	1.20	1.26	1.19	1.44
한지	△L (명도차)	0.58	0.61	0.37	0.27	-0.07	-0.27
	△E (색 차)	1.00	1.25	0.88	0.06	0.59	1.27
고서적	△L (명도차)	0.91	0.72	0.17	-0.33	0.32	0.34
	△E (색 차)	1.45	1.61	1.80	1.47	1.80	2.20

다. 중량변화

아황산가스 접촉에 의한 유물의 중량변화율을 Table 8과 9에 나타냈다. 1차

실험에서는 유물의 중량이 증가하는 것으로 나타난 반면에 2차 실험에서는 유물의 중량이 감소하는 것으로 나타났다. 2차 실험에서는 상대적으로 많은 유물 시편을 사용하였고, 대체로 유물이 아황산가스에 노출되면 중량이 감소하리라고 예상되므로 아래에서는 2차 실험결과를 중심으로 고찰하였다.

본 실험범위 내에서 섬유류중 면의 중량변화율은 -3.3~-2.3%이고, 견의 경우 -5.4~-13.0%, 삼베의 경우 -2.3~-0.7%, 모시의 경우 -3.3~-1.8%이다. 섬유류의 중량변화율을 비교하면, 견 > 면, 모시 > 삼베의 순으로 크다.

지류중 한지의 중량변화율은 -3.5~-1.8%이고, 고서적의 경우 -3.7~-2.2%이다. 지류의 중량변화율은 섬유류의 면, 모시와 유사함을 알 수 있다.

라. 재질상태

아황산가스 노출에 의한 열화 정도를 정성적으로 파악하기 위하여 유물 시편의 표면상태를 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 아황산가스 노출전과 1000ppm · h일 때의 면, 견, 삼베, 모시, 고서적, 한지의 표면상태를 서로 비교할 때 유물시편의 재질섬유가 절단, 붕괴되거나 갈라지는 것과 같은 차이점은 발견할 수 없었다.

Table 8. 아황산가스 노출에 의한 중량변화율 (단위 : %, 1차 실험결과)

유물의 종 류	노출조건 (ppm · h)				
	250	500	1000	1500	2000
면	0.659	0.772	0.779	0.754	0.523
고서적	0.602	0.000	0.597	0.508	0.929

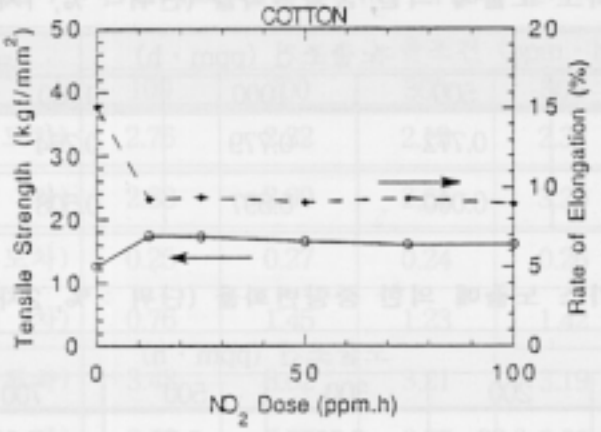
Table 9. 아황산가스 노출에 의한 중량변화율 (단위 : %, 2차 실험결과)

유물의 종 류	노출조건 (ppm · h)					
	100	200	300	500	700	1000
면	-2.31	-3.32	-3.30	-3.24	-3.22	-2.52
견	-3.71	-3.04	-4.55	-3.85	-5.44	-4.13
삼베	-1.90	-1.87	-1.78	-2.19	-2.30	-0.72
모시	-2.80	-2.85	-2.67	-3.34	-3.12	-1.87
한지	-1.78	-2.04	-2.30	-3.48	-2.86	-2.34
고서적	-2.26	-2.46	-3.66	-3.36	-3.63	-3.38

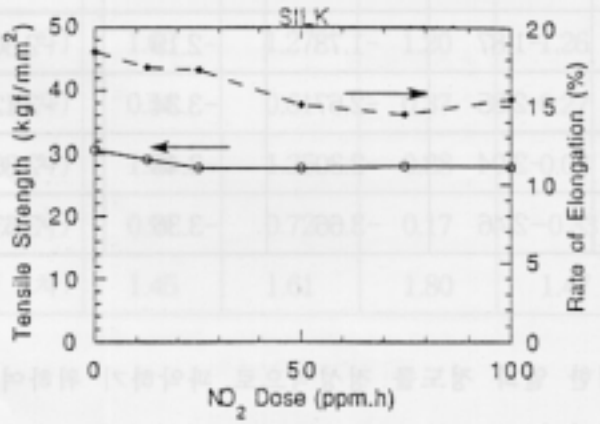
2. 이산화질소(NO_2)의 영향

이산화질소가 유물에 미치는 영향에 대한 실험은 이산화질소의 농도를 2.5ppm

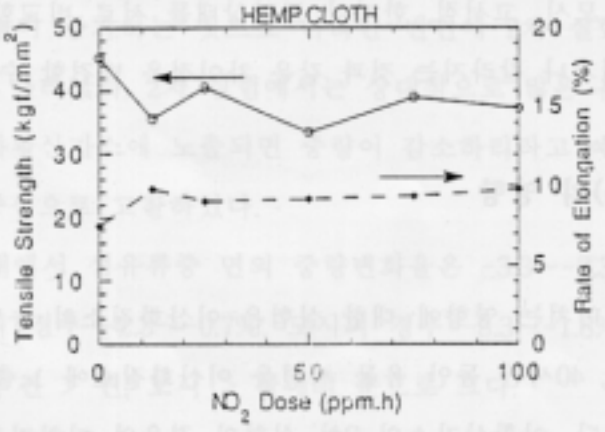
으로 설정한 후 5, 10, 20, 30, 40시간 동안 유물 시편을 이산화질소에 노출시켜 유물 손상도를 상세하게 분석하였다. 아황산가스의 2차 실험의 경우와 마찬가지로 6종류(한지, 고서적, 면, 견, 모시, 삼베)의 유물을 선정하였고, 각 실험조건마다 5개의 시편을 사용하여 손상도 측정값의 평균을 구하여 실험결과를 나타냈다.



(a) 면



(b) 견



(c) 삼베

Fig 4. 이산화질소 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화(Ⅰ)

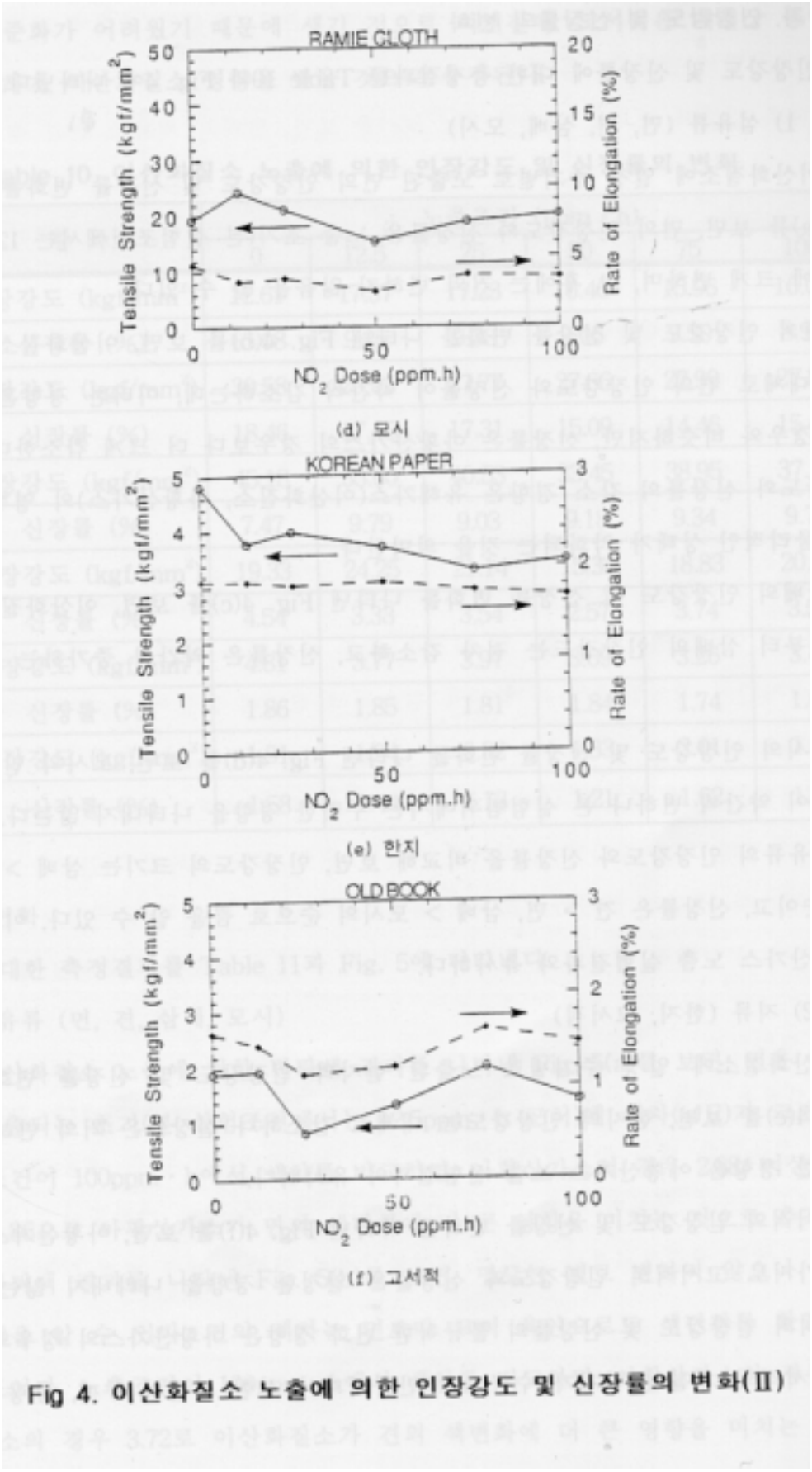


Fig 4. 이산화질소 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화(II)

가. 인장강도 및 신장률의 변화

인장강도 및 신장률에 대한 측정결과를 Table 10과 Fig. 4에 나타냈다.

1) 섬유류(면, 견, 삼베, 모시)

이산화질소에 일정 주기별로 노출된 면의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸

Fig. 4(a)를 보면, 면의 인장강도와 신장률은 노출 초기(본 실험조건에서는 12.5ppm・h 근처)에 크게 변하며, 그 후에는 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

견의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 4(b)를 보면, 이산화질소에 노출되면서 대체로 견의 인장강도와 신장률이 약간씩 감소하는데, 이러한 경향은 아황산가스의 경우와 비슷하지만, 신장률은 아황산가스의 경우보다 더 크게 감소한다. 이러한 인장강도와 신장률의 감소 경향은 유해가스(이산화질소, 아황산가스)의 영향을 받아 견의 물리적인 상태가 약화되는 것을 의미한다.

삼베의 인장강도 및 신장률의 변화를 나타낸 Fig. 4(c)를 보면, 이산화질소와 접촉한 직후부터 삼베의 인장강도는 점차 감소하고, 신장률은 약간씩 증가하는 경향을 보인다.

모시의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 4(d)를 보면, 모시의 인장강도가 신장률이 약간씩 변하나 본 실험범위에서는 뚜렷한 경향을 나타내지 않는다.

섬유류의 인장강도와 신장률을 비교해 보면, 인장강도의 크기는 삼베 > 견 > 면, 모시 순이고, 신장률은 견 > 면, 삼베 > 모시의 순으로 큼을 알 수 있다. 이러한 경향은 아황산가스 노출 실험결과와 유사하다.

2) 지류 (한지, 고서적)

이산화질소에 일정 주기별로 노출된 한지의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 4(e)를 보면, 한지의 인장강도는 대체로 감소하나 신장률은 거의 변하지 않는다. 이러한 경향은 아황산가스 노출 실험결과와 유사하다.

고서적의 인장강도 및 신장률 변화를 나타낸 Fig. 4(f)를 보면, 아황산가스의 경우와 마찬가지로 고서적의 인장강도와 신장률은 일정한 경향을 나타내지 않는다. 이러한 고서적의 인장강도 및 신장률의 불규칙한 변화 경향은 아황산가스의 경우와 마찬가지로 고서적의 재질인 한지가 수공으로 만들어져서 실험 시편의 두께, 중량 등에 대한 일률적인 표준화가 어려웠기 때문에 생긴 것으로 여겨진다. 고서적은 재질상 동일한 한지와 비슷하게 이산화질소 영향을 받을 것으로 추정된다.

나. 색변화

색상에 대한 측정결과를 Table 11과 Fig. 5에 나타냈다.

1) 섬유류 (면, 견, 삼베, 모시)

Table 10. 이산화질소 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화

유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)					
		0	12.5	25	50	75	100
면	인장강도 (kgf/mm²)	12.61	17.37	17.23	16.46	15.96	16.03
	신장률 (%)	15.08	9.25	9.38	9.06	9.30	8.92
견	인장강도 (kgf/mm²)	30.58	29.02	27.77	27.66	27.99	27.85
	신장률 (%)	18.46	17.45	17.31	15.09	14.46	15.47
삼베	인장강도 (kgf/mm²)	45.18	35.60	40.53	33.45	38.95	37.19
	신장률 (%)	7.47	9.79	9.03	9.18	9.34	9.77
모시	인장강도 (kgf/mm²)	19.33	24.25	21.14	15.33	18.83	20.04
	신장률 (%)	4.54	3.33	3.54	2.57	3.74	3.53
한지	인장강도 (kgf/mm²)	4.81	3.77	3.97	3.69	3.26	3.44
	신장률 (%)	1.86	1.85	1.81	1.84	1.74	1.68
고서적	인장강도 (kgf/mm²)	1.91	1.94	0.82	1.33	2.01	1.40
	신장률 (%)	1.58	1.44	1.13	1.21	1.62	1.46

면의 이산화질소 노출에 의한 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(a)를 보면, 면은 이산화질소에 노출되는 초기(본 실험조건에서는 12.5ppm · h 근처)에 색차(ΔE)가 크게 생긴다. 노출조건이 100ppm · h에서 색차를 비교하면, 아황산가스의 경우 2.88, 이산화질소의 경우 1.86으로 아황산가스가 면의 색변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추정된다.

견의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(b)를 보면, 명도는 별로 변하지 않으나 색차는 크게 생김을 알 수 있다. 견의 색차는 면보다 크며 육안으로도 색변화를 확인할 수 있는 정도이다. 노출조건이 100ppm · h에서 색차를 비교하면, 아황산가스의 경우 0.76, 이산화질소의 경우 3.72로 이산화질소가 견의 색변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추정된다. 이러한 경향은 면의 경우와는 상반되므로, 유물의 재질에 따라 유해가스의 영향이 상당히 달라지리라고 예측된다.

삼베의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(c)를 보면, 삼베의 색차는 면의 경우와 유사한 경향을 나타내며, 색차의 크기도 비슷하다. 아황산가스 실험에서도 면과 삼베는 비슷한 색변화를 나타낸 것으로 보아 유해가스가 면과 삼베에 미치는 영향이 비슷하리라고 추정된다.

모시의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(d)를 보면, 모시의 색변화 경향은 면의 경우와 거의 비슷함을 알 수 있다.

섬유류의 색차를 비교해 보면, 면, 삼베, 모시의 색차는 비슷하고 견의 색차가 이것들보다 크다.

2) 지류 (한지, 고서적)

한지의 이산화질소 노출에 의한 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(e)를 보면, 한지의 색차(ΔE)는 이산화질소와 접촉 후 대체로 점차 증가하는 경향을 보

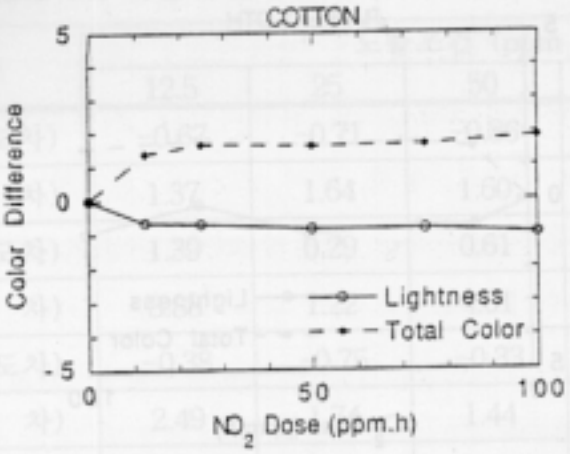
인다. 한지의 명도도 노출시간이 경과됨에 따라 약간씩 감소되어 한지의 표면이 점차 어두워지는 경향이 보인다.

고서적의 변퇴색 결과를 나타낸 Fig. 5(f)를 보면, 고서적의 색차는 이산화질소와 접촉한 직후부터 크게 증가하며, 이러한 색차는 주로 명도 변화에 기인됨을 알 수 있다. 아황산가스의 경우와 마찬가지로 이산화질소에 노출된 고서적의 색차가 한지의 경우보다 크다. 고서적의 색차는 섬유류의 면, 삼베, 모시와 비슷한 정도임을 알 수 있다.

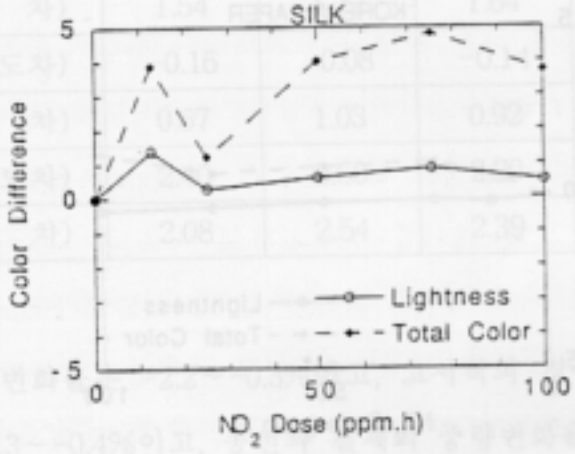
다. 중량변화

이산화질소 접촉에 의한 유물의 중량변화율을 Table 12에 나타냈다. 본 실험 범위내에서 섬유류중 면의 중량변화율은 -0.7～-0.2%이고, 견의 경우 -5.8～0.2%, 삼베의 경우 -1.1～2.5%, 모시의 경우 -18.0～0.4%이다. 모시의 중량 변화폭이 너무 크고 불규칙적인 중량 증감으로부터 모시가 이산화질소의 영향을 별로 받지 않는다고 생각된다.

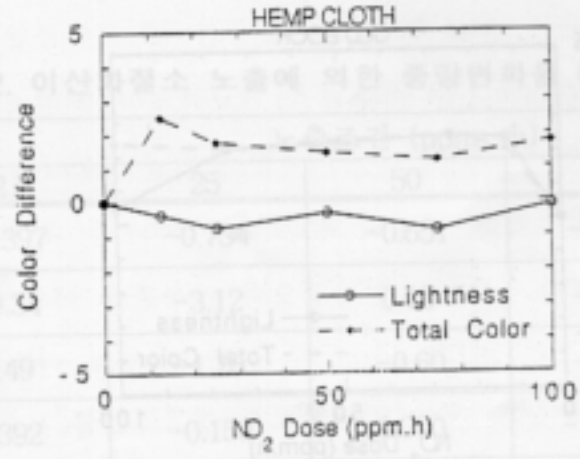
지류중 한지의 중량변화율은 -2.2～-0.3%이고, 고서적의 경우 -2.1～-0.5%이다. 목재의 중량변화율은 -2.3～-0.4%이고, 동전과 철제의 중량변화율은 0.02% 이내이다.



(a) 면

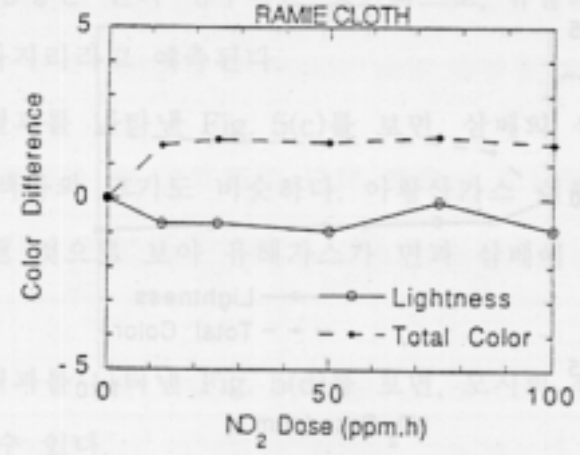


(b) 견

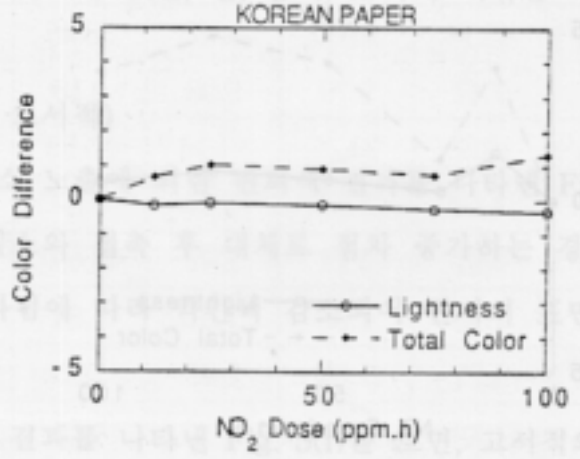


(c) 삼베

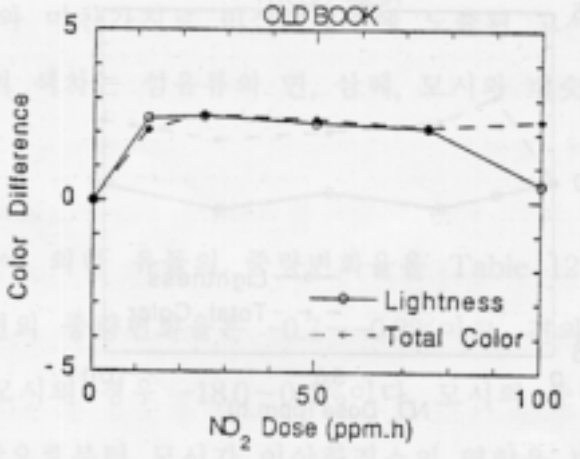
Fig 5. 이산화질소 노출에 의한 색변화(Ⅰ)



(d) 모시



(e) 한지



(f) 고서적

Fig 5. 이산화질소 노출에 의한 색변화(Ⅱ)

Table 11. 이산화질소 노출에 의한 색변화

유물의 종 류	항 목	노출조건 (ppm · h)				
		12.5	25	50	75	100
면	△L (명도차)	-0.67	-0.71	-0.86	-0.84	-1.01
	△E (색 차)	1.37	1.64	1.60	1.64	1.86
견	△L (명도차)	1.39	0.29	0.61	0.86	0.51
	△E (색 차)	3.88	1.22	4.01	4.80	3.72
삼베	△L (명도차)	-0.38	-0.75	-0.33	-0.83	-0.11
	△E (색 차)	2.49	1.74	1.44	1.23	1.76
모시	△L (명도차)	-0.73	-0.72	-0.95	-0.09	-0.90
	△E (색 차)	1.54	1.72	1.64	1.81	1.59
한지	△L (명도차)	-0.16	-0.08	-0.14	-0.26	-0.33
	△E (색 차)	0.67	1.03	0.92	0.75	1.33

Table 12. 이산화질소 노출에 의한 중량변화율 (단위 : %)

유물의 종 류	노출조건 (ppm · h)				
	12.5	25	50	75	100
면	-0.397	-0.734	-0.651	-0.589	-0.254
견	-0.34	-3.12	0.15	-2.19	-5.75
삼베	2.49	-1.10	-0.60	-0.60	0.03
모시	0.392	-0.158	0.000	-17.997	0.350
한지	-0.916	-0.337	-0.415	-0.492	-2.176
고서적	-0.54	-2.08	-1.29	-1.41	-1.72

라. 재질상태

이산화질소 노출에 의한 열화 정도를 정성적으로 파악하기 위하여 유물 시편의 표면상태를 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 이산화질소 노출후 12.5, 100ppm · h일 때의 이산화질소 면, 견, 삼베, 모시, 고서적, 한지의 표면상태를 관찰할 때 아황산가스의 경우와 마찬가지로 유물 시편의 섬유가 절단, 붕괴되거나 갈라지는 것과 같은 차이점은 발견할 수 없었다.

3. 유해가스의 영향 비교

유해가스에 따른 차이점 등을 규명하기 위하여 아황산 가스와 이산화질소가 각 유물시편에 미치는 영향을 종합적으로 비교하였다. 원칙적으로 유해가스 영향을 비교하기 위해서는 아황산가스 노출 실험을 최종적으로 1000ppm · h까지 하였으므로 이산화질소 실험도 동일한 조건으로 실시한 실험결과로 비교하는 것이 좋으나, 실험 여건상 이산화질소 노출 실험을 아황산가스 실험의 1/10 수준인

100ppm・h까지만 실시하였으므로, 유해가스에 100ppm・h 동안 노출시킨 시편들의 명도, 색상, 중량, 인장강도 및 신장률 등을 측정한 자료를 사용하여 유해가스에 의한 영향을 비교하였다.

가. 면에 대한 영향

면의 명도를 보면 아황산가스는 명도를 증가시키지만, 이산화질소는 감소시키는 경향을 나타낸다. 색차의 경우 이산화질소는 1.9 정도를 변화시켰지만, 아황산가스는 이보다 큰 2.9정도를 변화시켰다. 중량의 경우 아황산가스는 2.3% 감소시킨 반면, 이산화질소는 0.3% 감소시켰다. 그리고, 인장강도와 신장률은 아황산가스가 15.46㎏f/㎟와 8.89%이고, 이산화질소는 16.03㎏f/㎟와 8.92%로 서로 비슷하다.

아황산가스와 이산화질소가 면에 미치는 영향을 비교해 보면, 인장강도의 증가와 신장률의 감소는 거의 유사한 경향을 나타내고 있으나, 명도의 경우 정반대의 변화경향을 나타낸다. 그리고, 색차는 약간 차이가 있었지만 육안으로 구별할 수 없는 범위 내에서 발생했으며, 아황산가스에 의한 중량변화가 더 크게 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면, 면은 이산화질소보다 아황산가스에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

나. 견에 대한 영향

견의 명도를 보면 아황산가스와 이산화질소에 노출되었던 견들은 명도가 약간씩 밝아지는 경향을 보인다. 그러나, 색차의 경우 이산화질소에서는 3.7로 아황산가스의 0.8보다는 큰 색차를 나타냈다. 중량변화율은 아황산가스보다는 이산화질소에 의한 감소변화율이 조금 크다. 그리고, 인장강도와 신장률을 보면, 아황산가스의 경우는 변화가 거의 없으나 이산화질소의 경우 인장강도와 신장률이 약간씩 감소된다.

이상의 결과로부터 견은 명도를 제외한 색차, 중량, 인장강도 등 여러 측면에서 아황산가스보다는 이산화질소에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

다. 삼베에 대한 영향

삼베의 명도를 보면, 아황산가스는 명도를 크게 증가시키나, 이산화질소는 명도를 약간 낮게 하는 경향이 있다. 그리고, 색차의 경우 아황산가스가 일으키는 변화가 이산화질소보다 크게 나타났다. 중량의 경우 아황산가스는 중량을 감소시키는 결과를 보이고 있으나, 이산화질소는 중량을 증가시키는 결과를 보이는 등 상반되는 변화 경향을 나타내고 있다. 인장강도 및 신장률을 비교해 보면, 아황산가스와 이산화질소는 인장강도를 감소시키는 경향을 보이지만 신장률은 약간 증가되는 경향을 나타냈다.

이상의 결과를 종합해 보면, 삼베의 명도, 색차 및 중량은 이산화질소보다는 아황산가스에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

라. 모시의 대한 영향

모시의 명도를 보면, 아황산가스는 명도를 증가시키지만, 이산화질소는 명도를 감소시키는 변화를 일으킨다. 그러나, 색차는 둘다 1.6으로 거의 비슷한 정

도의 변화가 생겼다. 중량의 경우 이산화질소는 중량변화를 거의 일으키지 않지만, 아황산가스는 2.8%의 감소를 나타내었다. 그리고, 신장률을 보면, 아황산가스와 이산화질소는 모시에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 모시의 중량은 아황산가스의 영향이 이산화질소에 비하여 약간 크게 나타나고, 색차 및 신장률에 대한 영향은 거의 유사한 것으로 판단된다.

마. 한지에 대한 영향

한지의 명도를 보면 아황산가스는 명도를 증가시키지만, 이산화질소는 약간 감소시키는 변화를 일으킨다. 색차에 대한 영향은 아황산가스나 이산화질소가 거의 비슷하다. 중량의 경우 두 종류의 가스에 의하여 중량이 감소되는 경향을 보였으나, 그 감소경향은 이산화질소가 더 컸다. 두 유해가스에 의한 한지의 인장강도와 신장률의 변화는 거의 비슷하다.

이상의 결과를 종합해 보면, 한지에 대한 아황산가스와 이산화질소의 영향은 거의 비슷하다고 판단된다.

바. 고서적에 대한 영향

고서적의 명도를 보면 아황산가스와 이산화질소 모두 명도를 약간 밝게 하는 경향을 보이고 있으나, 색차는 이산화질소에 의한 변화가 아황산가스보다 약간 크게 나타났다. 중량의 경우 아황산가스와 이산화질소는 중량을 감소시키는데, 아황산가스가 일으키는 중량변화가 약간 더 크게 나타났다. 고서의 인장강도 및 신장률은 아황산가스에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 이산화질소에 대해서는 신장률의 변화가 없고 인장강도만이 약간 감소된 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 색차 및 인장강도의 경우 이산화질소의 경향이 약간 더 크며, 중량의 경우에는 아황산가스의 경향이 약간 더 큰 것으로 판단된다.

Ⅶ. 고 찰

본 연구에서는 대기오염물질이 유물에 미치는 영향을 규명하기 위하여 6종류의 지류·섬유질유물 시편을 대상으로 유해가스(아황산가스, 이산화질소)에 의한 유물 손상도 실험을 수행하였다.

대표적인 유물 시편(섬유류, 지류)을 일정조건(아황산가스의 경우 0~2000ppm·h, 이산화질소의 경우 0~100pm·h)의 유해가스에 노출시켜 색도, 인장강도 및 신장률, 압축강도, 중량, SEM 사진 등의 측정을 통하여 유물의 손상 여부를 파악하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 아황산가스 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화를 보면, 섬유류의 경우 인장강도 삼베 > 견 > 모시 > 면 순이고, 신장률은 견 > 면 > 삼베 > 모시 순이다. 지류의 인장강도와 신장률은 섬유류에 비해 매우 작다.

둘째, 아황산가스 노출에 의한 색변화를 보면, 섬유류의 경우 면, 삼베의 색차가 견, 모시보다 크다. 지류 중에서 한지의 색차는 섬유류에 비해 작으나, 고서적의 색차는 섬유류의 견, 모시와 비슷한 정도이다. 목재의 색차는 고서적의 경우와 비슷하

다.

셋째, 아황산가스 노출에 의한 중량변화율은 섬유류의 경우 견 > 면, 모시 > 삼베의 순이고, 지류의 경우 섬유류의 면, 모시와 비슷하다.

넷째, 이산화질소 노출에 의한 인장강도 및 신장률의 변화를 보면, 섬유류의 경우 인장강도는 삼베 > 견 > 모시, 면 순이고, 신장률은 견 > 면, 삼베 > 모시의 순으로 아황산가스를 노출시킨 경우와 유사하다.

다섯째, 이산화질소 노출에 의한 색변화를 보면, 섬유류의 경우 면, 삼베, 모시 색차는 비슷하고 견의 색차가 이것들보다 크다. 고서적의 색차는 한지보다 크고, 섬유류의 면, 삼베, 모시와 비슷하다.

여섯째, 노출조건이 100ppm·h일 때 실험결과의 비교에 의하면, 면, 모시, 삼베의 경우 아황산가스의 영향이 더 크고, 견의 경우 이산화질소의 영향이 더 크며, 한지, 고서적, 목재는 아황산가스와 이산화질소의 영향이 거의 비슷하다.

□ 參考文獻 □

1. Garry Thomson, 1986, The Museum Environment, 2nd ed., Butterworth & Co (Publishers) Ltd.
2. 田邊三郎助, 登石健三 監修, 1994, 美術工藝品の保存と保管, (株)フシ・テクノシステム, 東京.
3. 공업진흥청, 1977, 시험용지의 전처리, 한국공업규격(KS M 7012-1977).
4. 공업진흥청, 1980, 종이 및 판지의 인장강도 시험 방법, 한국공업규격(KS M 7014-1980).
5. 공업진흥청, 1980, 종이 및 판지의 신장률 시험 방법, 한국공업규격(KS M 7015-1980).
6. 공업진흥청, 1981, 색차 표시 방법, 한국공업규격(KS A 0063-1981).
7. 공업진흥청, 1981, $L^*a^*b^*$ 표색계 및 $L^*u^*v^*$ 표색계에 의한 물체색의 표시 방법(KS A 0067-1981).
8. 공업진흥청, 1990, 직물의 인장강도 및 신도 시험 방법, 한국공업규격(KS K 0520-1990).

9. 齊藤昌子, 芳住邦雄, 栢木希介, 門倉武夫, 1991, “NO2, SO2 カスによる天然纖維の劣化と天然染料染色布の變退色”, 古文化財之科學, 第36號, pp.8-17.
10. 齊藤昌子, 後藤純子, 栢木希介, 1993, “植物色素染色布の變退色にほす NO2 カス濃度の影響”, 古文化財之科學, 第38號, pp.1-9.
11. 半澤重信, 1994, “美術館・博物館の收藏・展示資料の室內保存環境”, 建築設備と配管工事, pp.51-64.