

이산화황에 의한 전통직물의 손상 특성

김명남¹ | 임보아 | 신은정* | 이선명

국립문화재연구소 보존과학연구실, *공주대학교 문화재보존과학과

Damage Characteristics of Korean Traditional Textiles by Sulfur Dioxide

Myoung Nam Kim¹ | Bo A Lim | Eun Jeong Shin* | Sun Myung Lee

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

*Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

¹Corresponding Author: kjekjh@naver.com, +82-42-860-9489

초록 본 연구에서는 전통직물 4종(견, 면, 모시, 삼베)을 선정하고, 각 직물의 원직물을 포함한 염색별 5종으로 구분하여 이산화황 가스(SO₂) 농도에 따른 손상특성을 살펴보기 위해 가스 열화실험을 실시하였으며 각 농도와 손상특성간의 정량적인 상관성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 전통직물 시편을 대상으로 가스부식시험기를 이용하여 SO₂ 0.01, 0.12, 1, 10, 100, 1000, 5000ppm의 농도로 24시간 노출 실험을 하였으며 노출 전·후의 광학적, 물리적, 화학적 손상도를 평가하였다. 이 결과, 가스 농도의 증가에 따른 전통직물의 색차 증가와 변퇴색 등급 저하 등 광학적 변화를 확인한 반면 물리적 변화는 뚜렷하지 않음을 알 수 있었다. 또한 가스 농도증가에 따른 직물시편 내 잔류 황산이온 농도의 증가 및 pH 감소에 의한 직물 재질의 산성화를 통해 화학적 손상을 확인하였다. 이 같은 손상도 변화를 종합한 결과 이산화황 가스에 의한 전통직물의 손상농도는 1ppm/day임을 도출하였다.

중심어: 이산화황, 전통직물, 광학적 손상, 화학적 손상, 손상농도

ABSTRACT A SO₂ gas acceleration test was carried out on four textile groups (silk, cotton, ramie cloth, hemp cloth) which were categorized in five categories by the dyeing materials (undyed, red, yellow, blue, black) and the relation between the concentration of SO₂ and deterioration rate was evaluated. The textiles were exposed to 0.01, 0.12, 1, 10, 100, 1000, and 5000 ppm of SO₂ for 24 hours and the optical, physical, and chemical deterioration rates were studied. An optical change was identified as the color difference and grey scale rating (colorfastness) enhanced with the increase of gas concentration while there was little physical change. Chemical damage was caused by the acidification of the textile material due to the trapped sulfate ion concentration. The result of optical, physical, and chemical deterioration rates shows that 1 ppm/day SO₂ is a critical level of deterioration of traditional textiles.

Key Words: Sulfur dioxide (SO₂), Traditional textiles, Optical deterioration, Chemical deterioration, Critical level

1. 서론

SO₂는 대기 및 실내공기오염물질로 규제되는 환경인자로, 자체 또는 황산(H₂SO₄)의 형태로 변환되어 유기질의 셀룰로오스 물질, 염료 및 안료, 금속류, 대리석 등의 손상을 일으킨다. 손상의 주요 사례로는 종이류의 경화와 변색, 섬유류의 인장강도 저하와 얼룩, 가죽류의 물성악화, 염료 및 안료의 변색과 얼룩, 금속류의 부식, 사진류의 얼룩 등이 보고되었다. 특히 SO₂는 70% 이상의 높은 습도환경에서 반응 촉진과 손상의 가중을 초래하며 비휘발성에 기인하여 재질 내 잔류성이 높다^{1,2,3,4}.

우리나라는 최근 SO₂의 연평균 농도가 10ppb 이하로 나타나 전반적으로 대기질이 개선된 모습을 보인다⁵. 또한 박물관 및 미술관과 같은 보존시설 내 환경제어가 양호한 전시실, 수장고의 경우 3.6ppb 이하를 보이고 그 밖에 유물이 수장 및 전시되는 공간에서는 3~19ppb의 농도 범위로 보고되었다^{1,6,7}. 그러나 보존시설의 내외부 환경 모니터링에 따른 일부 사례에서는 SO₂의 농도가 대체로 모두 낮은 반면 범위 I/O비(내외부 농도비)는 0.89로 비교적 높은 수준으로 보고되었다⁸. 이는 산업 및 인구밀집지대의 SO₂ 농도가 상대적으로 높고 이 같은 대기오염물질이 기상환경에 따라 주변 인근으로 이동, 확산될 수 있다는 점과 보존시설의 위치 및 공조여건에 따라 실내로 유입될 수 있는 점, 보존시설내 다양한 발생원이 존재한다는 점 등에서 농도 증가 요인이 존재하고 있음을 유념할 필요가 있다^{9,10}.

현재 국립중앙박물관과 국립민속박물관 소장유물 중 섬유류는 전체 소장유물의 11~12%를 차지하고, 견, 면, 모시, 삼베는 전체 섬유류의 50~83%에 이른다^{11,12}. 환경변화에 민감한 전통직물 문화재의 체계적인 보존관리 지침을 마련하기 위해서는 공기오염물질에 의한 전통직물 문화재 재질의 손상유형과 손상정도 등 과학적 근거자료가 구축되어야 한다. 그러나 SO₂에 의한 직물류 손상에 대한 기존연구^{3,13-16}를 살펴볼 때, 연구대상에 있어서는 우리나라 문화재 재질에 대한 대표성과 적용 관점에서 한계가 있으며, 연구방법에 있어서는 다수가 총 노출량(단일농도×노출시간)에 따른 손상에 한정되어 SO₂ 농도에 따른 정량적인 손상 관계에 대한 충분한 검토가 미흡한 상태이다.

이 연구에서는 우리나라의 전통직물을 대표할 수 있는 직물시편을 재질별 및 염색별로 제작하고 SO₂ 농도에 따른 손상도를 평가하여 가스 농도와 손상도 간의 정량적인 상관성을 검토하고자 하였다. 이 자료는 문화재 보존에 영향

을 미칠 수 있는 다양한 가스상 오염물질에 의한 동산문화재 재질 손상 평가 연구의 일환으로 수행되는 것으로, SO₂에 의한 전통직물의 손상 및 예방보존 실험연구, 손상메커니즘 해석, 허용농도 및 가이드라인 설정을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험 재료

시편 선정에 앞서 박물관 소장 유물의 통계자료를 살펴본 결과 섬유 및 직물의 주요 재질이 견, 면, 모시, 삼베로 확인되어 전통직물의 시편으로 선정하였다. 또한 각 원직물에 대한 염색시편은 오방색을 기준하여 적색(소목), 황색(치자), 청색(쪽), 흑색(오배자+신나무)으로 염색처리를 하였고 매염제는 적색, 황색은 Aluminium Potassium Sulfate(KAl(SO₄)₂·12H₂O, 삼전순약공업(주)), 청색은 Sodium Hydrosulfite(Na₂S₂O₄, 삼전순약공업(주)), 흑색염색은 Iron(II) sulfate heptahydrate(FeSO₄·7H₂O, 삼전순약공업(주))를 사용하였으며 각각 5회 염색을 실시하였다. 천연염색 직물은 하늘물빛 전통천연염색연구소(서울 종로구 소재)를 통해 제작하였다. 직물시편은 가로×세로를 50×150mm로 절취한 후 2매 1조로 준비하였다. 일부 강연도, 방추도 평가를 위한 직물시편은 원직물을 대상으로 가로×세로를 25×250mm, 15×40mm로 각각 1매씩 절취하였다(Table 1).

2.2. 실험 조건

실험기기는 가스부식시험기(GS-UV, Suga, Japan)를 사용하였고 시험기 챔버내부(217L)의 온도는 20°C, 습도는 50%, 환기횟수는 문화재 보존시설 전시실 및 진열장의 공기교환율을 반영하여 1회/hr로 설정하였다^{17,18}. 챔버 내부의 SO₂ 농도는 0.01, 0.12, 1, 10, 100, 1000, 5000ppm으로 조성하였으며, 직물시편을 각 농도별로 24시간 노출시킨 후 노출 전·후의 광학적, 물리적, 화학적 변화를 조사하였다.

실험에 사용된 SO₂ 표준가스(N₂ balance, Air korea, Korea)는 20, 200, 20000, 50000ppm을 사용하였으며, 총유량은 3.6L/min으로 고정하고, 공기유량은 2.6~3.6L/min, 가스유량은 0~2L/min 범위내에서 공기유량 조절기(MODEL 3655, Kofloc, Japan)와 별도의 가스유량 조절기(SEC-E40, Horiba stec, Japan)를 이용하여 조절하였다. 챔

Table 1. Specimens of Korean traditional textile.

Fabric (Initial-Symbol)	Weave	Thickness (mm)	Fabric count (threads/5cm)		Dye (color-materials-Initial)	Specimen size (mm×mm)
			Warp	Weft		
Silk (S, △)	Plain	0.182	254.9	125.0	Undyed- X: (u) Red- Sappan wood: (r) Yellow- Gardenia: (y) Blue- Polygonum indigo: (b) Black- Gallnut+acer ginnala: (bk)	50×150, 25×250, 15×40
Cotton (C, □)	Plain	0.533	103.3	100.4		
Ramie cloth (R, ○)	Plain	0.316	109.3	116.1		
Hemp cloth (H, ◇)	Plain	0.734	61.0	49.2		

Table 2. Condition of gas acceleration test.

Parameter	Condition
SO ₂ (ppm)	0.01, 0.12, 1, 10, 100, 1000, 5000
Temperature (°C)	20
Relative Humidity (%)	50
Air exchange rate (hr ⁻¹)	1
Exposure time (day)	1

Table 3. Damage evaluation items of Korean traditional textile.

Damage classification	Evaluation items	Test standard
Optical	Color difference	KS K 0205, KS K 0063
	Grey scale rating	KS K ISO 105-A05
Physical	Length, Width, Thickness	KS K 0507, KS K 0505, KS K 0506
	Tensile strength	KS K 0520
	Stiffness	KS K 0538
	Crease resistance	KS K 0550
Chemical	Sulfate ion (SO ₄ ²⁻) concentration	KS I 3206
	pH	KS K ISO 3071
	FT-IR	KS K 0210-1

버네 가스 농도 모니터링은 0.01, 0.12ppm 농도범위에서는 가스분석기(SF- 2000G, Seres, France)를, 1~5000ppm 농도 범위에서는 검지관식 기체측정기(GV-100S, Gastec, Japan)를 사용하였다(Table 2).

2.3. 손상도 평가 방법

SO₂ 농도에 따른 직물시편의 상태변화를 파악하기 위해 광학적, 물리적, 화학적 평가항목을 선정하여 손상도를 평가하였으며, 모두 KS 시험규격에 준하여 측정하였다(Table 3). 광학적 손상도를 평가하기 위해 BYK Gardner사의 분광 색차계를 이용하여 색차를 측정하고 색도 측정값으로 변퇴색 등급을 산출하였으며 표면관찰을 실시하였다. 물리

적 손상도를 평가하기 위해 스틸자를 이용하여 직물시편의 경사 방향과 위사 방향의 표시점 간 길이와 나비를 측정하였고 Mitutoyo사의 두께측정기로 시편의 두께를 측정하였다. 인장강도는 인장강도시험기(3365, Instron, U.S.A)를 이용하여 그래브법으로 측정하였다. 또한 직물의 유연성 변화를 평가하기 위해 하트루프법으로 강연도를 측정하였고 주름회복성을 측정하기 위해 개각도법으로 방추도를 측정하였다. 화학적 손상도 평가에서는 SO₂ 농도에 따른 직물 시편내 잔류 황산이온농도를 살펴보기 위해 이온크로마토그래피(ICS- 3000, Dionex, U.S.A)를 이용하여 황산이온 분석을 실시하였다. 이를 위해 직물시편의 표면적 및 중량을 측정한 후 50ml 용량 팔콘튜브에 삽입하고 탈이온수 50 ml를 주입한 다음 초음파세척기를 이용하여 60분간 용출

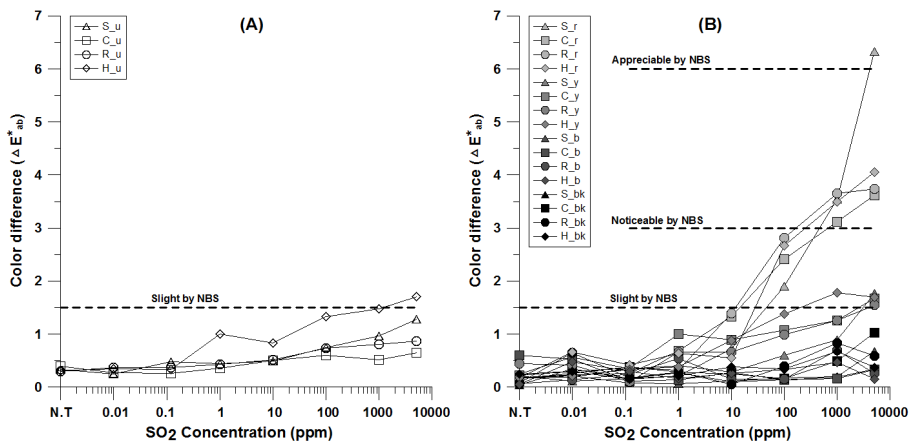


Figure 1. Change of color difference by SO₂ concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed textile.

하였으며, 용출액 중 10ml를 0.45 μ m 필터로 여과한 후 여과액 5ml에 대하여 음이온 분석을 실시하였다. 또한 잔여 용출액은 pH 측정기(F-35, Horiba, Japan)를 이용하여 수소이온 농도를 측정하였다. 직물구조내 화학적인 정성변화를 확인하기 위해 적외선분광분석기(Vertex70, Bruker, Germany)를 이용하여 전반사측정방법으로 32스캔, 분해능 4cm⁻¹의 조건에서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 광학적 손상도

SO₂ 농도에 따른 4종의 원직물 시편의 색차는 0.5~1.5의 범위를 보이는 반면, 염색직물 시편의 색차는 0~6.3의 범위로 크게 증가하였다. 색변화를 재질별로 살펴본 결과, 평균 색차 기준 삼베(0.91)>견(0.62)>모시(0.55)>면(0.44) 순으로 확인되었으며 염색별로는 적색(1.57)>황색(0.77)>원직물(0.63)>흑색(0.32)>청색(0.26) 순으로 나타났다(Figure 1). 또한 SO₂ 농도 1ppm 조건에서 원직물 시편, 염색직물 시편 모두 광학적 손상이 발생하기 시작하였으며, 특히 염색직물 중 적색직물군의 색변화가 크게 나타났다. 이는 적색(소목)의 색소성분인 브라질레인이 산성 조건에서 황변하는 특성 때문으로 판단되었다¹⁹(Figure 2).

각 직물시편의 변퇴색 등급 변화를 살펴보기 위해 측정된 표색계의 색값을 CIE Lab에서 Lch로 변환하고 변퇴색 값(ΔE_l)을 산출하였다. 이는 직물의 변퇴색을 판정하는 기준으로, 1~5등급까지 있으며 5등급의 경우가 색변화에 있어

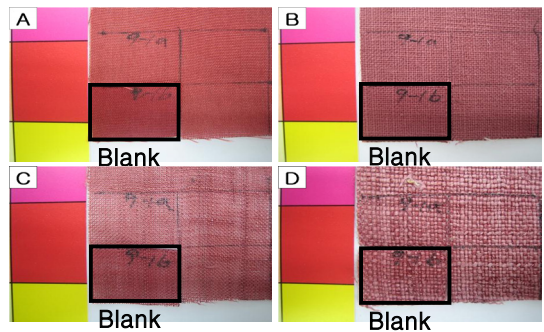


Figure 2. Surface observation of textiles by SO₂ concentration. (A) Silk-red (blank/5000ppm), (B) Cotton-red (blank/5000ppm), (C) Ramie cloth-red (blank/5000ppm), (D) Hemp cloth-red (blank/5000ppm).

가장 양호한 것을 나타낸다. SO₂ 농도에 따른 각 직물의 변퇴색 등급 변화를 살펴본 결과, 원직물 시편은 4등급까지 저하되었고 염색직물 시편은 2등급까지 저하되어 원직물에 비해 염색직물의 견뢰도가 낮은 것을 알 수 있었다. 변퇴색 등급의 변화에서도 SO₂ 농도가 1ppm인 시점에서 다수 시편에서 광학적 손상변화를 확인하였다(Figure 3).

3.2. 물리적 손상도

SO₂ 농도에 따른 직물시편의 길이(-0.50~+0.33mm), 나비(-1~+1mm), 두께(-0.06~+0.04mm)의 치수 변화는 1일 노출 전·후의 증가 또는 감소의 경향이 나타나지 않았다. 또한 인장강도(194.7~535.5kN), 강연도(-7.0~8.5mm), 방추도(23~-3°)에서도 1일 노출 전·후의 증가 또는 감소의

경향이 나타나지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 SO₂ 농도에 따른 전통직물의 물리적 손상변화가 나타나지 않는 것으로 판단되었다(Figure 4).

3.3. 화학적 손상도

SO₂ 농도에 따른 전통직물의 잔류 황산이온(SO₄²⁻)농도

는 노출 전 원직물(견, 면, 모시, 삼베)은 4~6 μ g/100cm²/day로 매우 낮은 농도로 나타났으며 0.01ppm의 농도에서는 삼베 내 황산이온 농도가 45 μ g/100cm²/day로 상대적으로 높게 나타나기 시작하였고 0.12, 1, 10ppm의 농도에서는 면, 삼베, 모시, 견 순으로 황산이온 농도가 증가하였다. 특히, 1ppm의 농도에서 전반적으로 직물시편 내 황산이온 농도가 급격히 증가하였으며 100, 1000, 5000ppm의 농도에서는 면의 황산이온

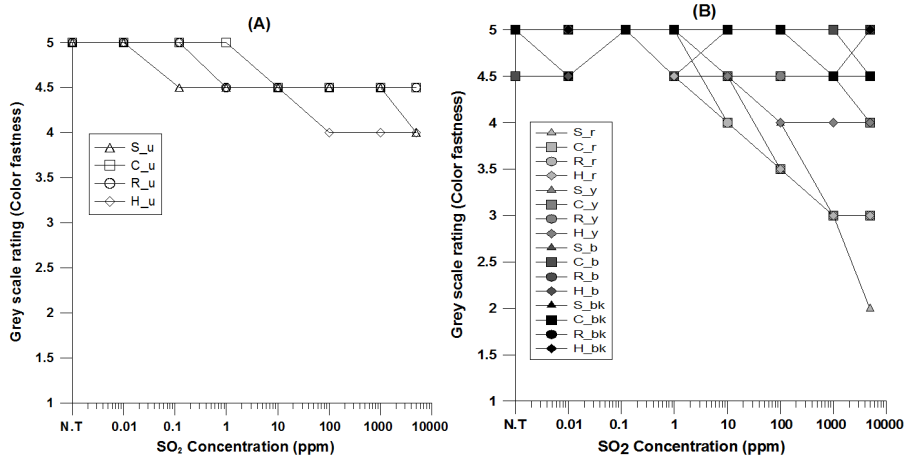


Figure 3. Grey scale rating(Colorfastness) of textiles by SO₂ concentration. (A) Undyed, (B) Natural dyed.

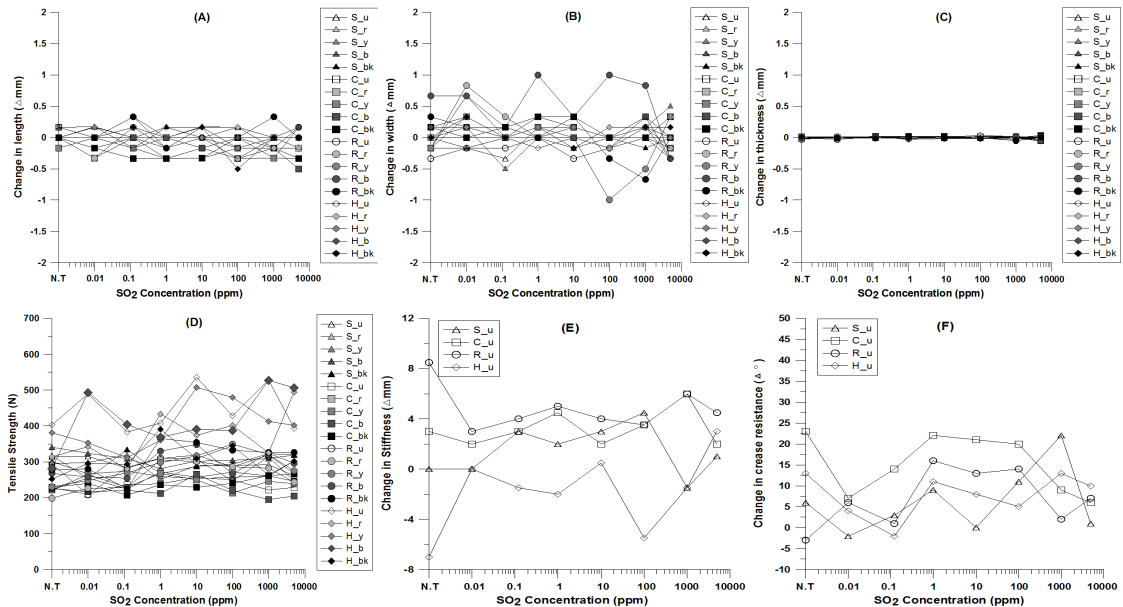


Figure 4. Change of physical properties by SO₂ concentration. (A) Change in length of total textile, (B) Change in width of total textile, (C) Change in thickness of total textile, (D) Tensile strength of total textile, (E) Change in stiffness of undyed textile, (F) Change in crease resistance of undyed textile.

이 일정 농도를 유지하는 반면 삼베, 모시에서의 황산이온 농도가 증가하는 모습을 나타냈다. 최고 농도인 5000ppm의 농도에서는 각 원직물 시편 내 황산이온 농도가 604~1041 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ 범위를 보여 노출 전에 비해 151~174배 농축된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 저농도의 SO_2 라 하더라도 직물 시편 내 황산이온 농축되는 것을 알 수 있었다.

원직물의 재질별 황산이온 평균농도는 삼베(408 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>면(352 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>모시(239 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>견(148 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$) 순으로 나타나 식물성 섬유(삼베, 면, 모시)가 동물성 섬유(견)보다 높은 농도를 보였다. 염색직물의 염색별 황산이온 평균농도는 원직물(287 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>흑색(222 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>적색(152 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>청색(94 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)>황색(71 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$) 순으로 나타나 원직물이 염색직물보다 높은 경향이 확인되었다(Figure 5). 또한, 원직물과 흑색직물의 황산이온 농도가 높은 경향은

매염제를 사용하지 않은 원직물과 철매염을 한 흑색직물이라는 점에서 매염제의 사용유무와 매염제의 종류에 따라 영향을 받는 것으로 판단되었다.

SO_2 농도에 따른 직물시편의 pH 변화는 원직물의 경우, 0.01~100ppm의 가스 농도 범위에서 일정한 경향을 보이다가 1000ppm(직물 시편 내 황산이온 농도 400~977 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)의 농도에서 다수 시편의 pH가 감소 경향이 나타났다. 염색직물의 경우, 특히 흑색 및 적색직물에서 초기 0.01ppm 농도부터 지속적인 pH 감소경향이 뚜렷하게 나타났다. 재질별로는 견(1.00)>모시(0.79)>삼베(0.73)>면(0.70) 순으로 pH 감소변화가 나타났으며, 염색별로는 흑색(1.18)>적색(0.93)>무염색(0.78)>황색(0.50)>청색(0.43) 순으로 pH 감소변화가 나타났다(Figure 6).

SO_2 5000ppm 농도에 노출된 적색직물 시편의 노출 전후의 FT-IR 측정결과, 직물재질의 화학구조에 정성적인 변

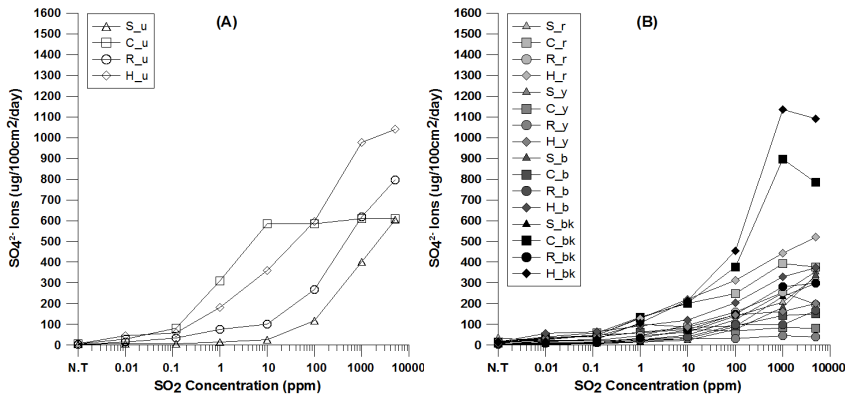


Figure 5. Sulfate ion concentration change by SO_2 concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed.

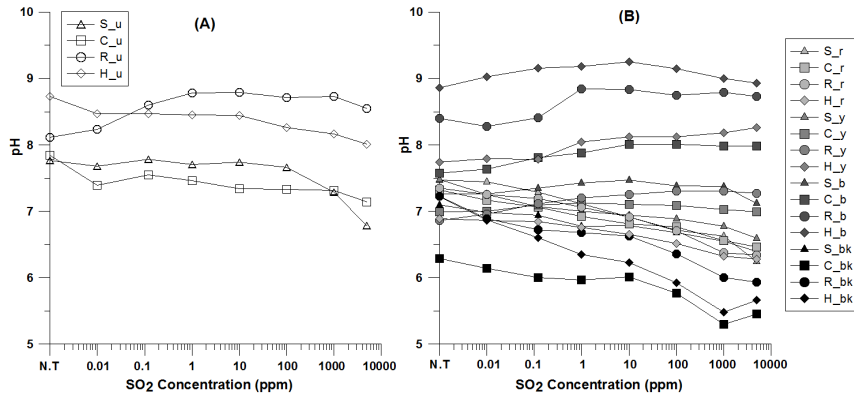


Figure 6. pH change by SO_2 concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed.

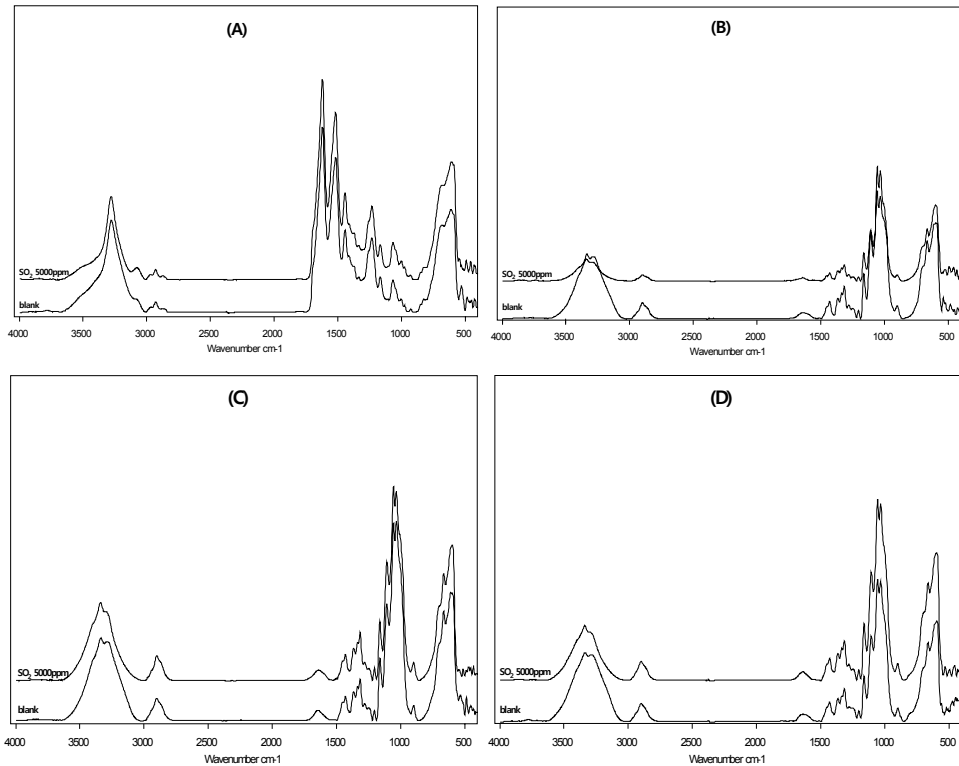


Figure 7. FT-IR result. (A) Silk-red(blank/5000ppm), (B) Cotton-red(blank/5000ppm), (C) Ramie cloth-red(blank/5000ppm), (D) Hemp cloth-red(blank/5000ppm).

화는 없는 것으로 나타났다. 동물성 섬유인 견 열화에 있어서 대표적인 변화는 카르보닐그룹(IR영역 1700~1775 cm^{-1})의 증가와 티로신그룹(IR영역 800~865 cm^{-1})의 감소이고²⁰ 식물성 섬유인 면, 모시, 삼베의 열화에 있어서 대표적인 변화는 메틸렌기(IR영역 2820~3020 cm^{-1})의 감소와 카르보닐 그룹(IR영역 1580~1775 cm^{-1})의 증가이지만 본 FT-IR 결과에서는 그러한 열화경향을 확인할 수 없었다(Figure 7).

4. 결론

SO₂ 농도에 따른 전통직물 시편의 광학적 손상 변화는 1ppm 농도조건에서 색차 1.0을 상회하는 변화가 시작되었다. 이후로 농도가 높아질수록 색차가 증가되고 변퇴색 등급이 저하되었으며 색변화가 가장 큰 적색직물 시편의 경우, 5000ppm의 농도에서 색차 6.3, 변퇴색 등급이 2등급 수준으로 저하되는 광학적 변화가 나타났다. 재질별로는 삼베와 견이, 염색별로는 적색, 황색직물에서 광학적 손상변화가 크게 나타났다.

반면 SO₂ 농도에 따른 전통직물 시편의 물리적 손상 변화는 노출 전후 증가 또는 감소 경향이 나타나지 않아 본 연구에서는 SO₂가 직물의 물리적 손상에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 다만, 추가실험을 통해 화학적 손상 평가항목인 잔류 황산이온농도 및 pH 변화정도에 따른 물리적 손상과 손상시점 확인이 필요할 것으로 판단된다.

SO₂ 농도에 따른 전통직물 시편의 화학적 손상 변화는 1ppm의 농도에서 직물시편 내 황산이온 농도가 급격히 증가하는 것을 확인하였다. 이는 농도 증가에 따른 재질 내 잔류황산이온의 농도 증가 및 pH 감소를 의미하며, SO₂ 노출에 따라 흡습성인 직물 시편 내 황산이 잔류하여 농축되고 이로 인해 재질 내부가 산성화 되는 것을 의미한다.

또한 0.01ppm의 실내수준 농도, 0.12ppm의 저농도 SO₂에 노출되었다 하더라도 직물 내 황산이온농도가 증가되고 농축됨을 확인할 수 있었다. 한편 동물성 섬유(견)보다는 식물성 섬유(면, 모시, 삼베)에서 황산이온 농축 경향이 높은 것으로, 재질별로는 삼베와 면이, 염색별로는 원직물, 흑색 직물의 잔류 황산이온 농도가 상대적으로 높았다.

SO₂에 대하여 전통직물은 광학적 및 화학적 변화와 잠재적 손상 가능성이 확인되었다. 이는 전통직물의 재질별 및 염색별로 살펴 볼 때 각 직물의 기본특성(수분함유량, 밀도), 염색염료, 매염제의 사용유무, 매염제의 종류에 따라 손상 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한 전통직물의 광학적 및 화학적 손상 변화를 토대로, SO₂가 전통직물에 영향을 미치는 손상농도를 1 ppm/day 로 도출하였으며, 이는 온도 20℃, 습도 50%, 환기횟수 1/hr 조건에 해당하는 전시 및 수장 공간에서 SO₂가 직물에 미치는 손상 농도(일 평균)로서 제시될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 2011년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(R&D) 사업의 지원을 받아 이루어졌으며 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

참고문헌

1. Lee, S.E. and Roh H.S., "Environmental Measurements of Gallery and Storage Rooms of The New National Museum of Korea", *Conservation Science in Museum*, **7**, p75-87, (2006).
2. Garry, T., "*The Museum Environment*". 2nd Ed., Elsevier, p136-149, (2005).
3. Ministry of Culture & Sports, "*A Research on HVAC Guideline of Museum Exhibition & Storage room*". Ministry of Culture & Sports, p96-102, (1996).
4. Eric, M. and Marl, J., "*Conservation Science : Heritage Materials*". RSC publishing, p56-91, (2006).
5. National Institute of Environmental Research, "*Annual Report of Air Quality in Korea 2010*". National Institute of Environmental Research, p7, (2011).
6. Kim, H.T., "Stabilization for Conservation Environment in National Archives Repository". *Conservation of the Archives*, **2**, p67-74, (2009).
7. Industry-University Cooperation Foundation of Pukyong National University, "*Standardization of Analytical Technology for Conservation Environment of Movable Cultural Properties*". National Research Institute of Cultural Heritage, p469-470, (2008).
8. Mohamed, W. M. H., Daniel, G., "Sulfur dioxide, hydrogen sulfide, total reduced sulfur, chlorinated hydrocarbons and photochemical oxidants in southern California museums". *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, **25**, p1497-1505, (1991).
9. Pamela, B.H., "*Pollutants in the Museum Environment*". Archetype publications, p9-32, (2002).
10. National Institute of Environmental Research, "*Annual Report of Air Quality in Korea 2010*". National Institute of Environmental Research, p18-60, (2011).
11. The National Folk Museum of Korea website, "Data info". www.nfm.go.kr, (2012).
12. National Museum of Korea website, "Collection database". www.museum.go.kr, (2012).
13. Brysson, R.S., Trask, B.J., Upham J.B. and Booras, S.G., "The effects of air pollution on exposed cotton fabrics". *J. Air Pollut. Control Assoc.* **17**, p294-298, (1967).
14. Zeronian, S.H., "Reaction of Cellulose Fabrics to Air Contaminated with Sulfur Dioxide". *Textile Research Journal*, **40**, p695-698, (1970).
15. Hackney, S., "The distribution of gaseous air pollution within museums". *Studies in Conservation*, **29**, p105-116, (1984).
16. Billie W., Bhuvanesh G. and Tyrone L.V., "Sorption of Air Pollutants onto Textiles", *Textile Research Journal*, **53**, p354-360, (1983).
17. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Law No.458, "*Ventilation equipment Standard of Multi-unit dwelling & Publicly used Facilities*". Article 11(3-4), (2012).
18. Industry-University Cooperation Foundation of Hanyang University, "*Development of conservation system for protection of movable cultural properties*". National Research Institute of Cultural Heritage, p146-151, (2007).
19. Sky blue natural dye Institute, "Comprehension of Natural dye". p93-94, (2009).
20. Johanna N., Francisco V., Sigbritt K., Jonny B., Tommy I., "The Validation of Artificial Ageing Method for Silk Textiles Using Markers for Chemical and Physical Properties of Seventeenth-Century Silk". *Studies in Conservation*, **55**, p55-65, (2010).