포름알데히드에 의한 전통직물의 손상 특성

김명남¹ | 임보아 | 이선명
국립문화재연구소 보존과학연구실

Damage Characteristics of Korean Traditional Textiles by Formaldehyde

Myoung Nam Kim¹ | Bo A Lim | Sun Myung Lee

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

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

초 록 포름알데히드는 전시·수장 공간에서 농도와 발생빈도가 높아 전통직물(천연염색)에 대한 손상 개연성이 있다. 본 연구는 견, 면, 모시, 삼베의 무염색, 천연염색(적색, 황색, 청색, 흑색) 시편을 대상으로 포름알데히드 0.5, 1, 10, 100, 500ppm 농도에서의 손상, 손상농도 500ppm에서 온습도 조건에 따른 손상과 열화상태에서의 손상을 광학적, 화학적, 물리적 측정방법으로 평가하였다. 이 결과, 포름알데히드 농도 500ppm에서 일부 직물의 색차, 변퇴색등급, 포름산이온 농도, pH가 변화하였으며, 고온·고습조건(30℃, 80%), 고습조건(25℃, 80%)에서는 색차, 변퇴색등급, 포름산이온 농도가 2배 가증되었다. 그러나, 열화직물은 열화정도, 열화 생성물질로 인해 포름알데히드에 의한 손상변화가 미미하였다. 이를 통해 포름알데히드에 의한 전통직물의 손상, 손상농도, 손상가중 조건, 열화상태에서의 손상을 확인하였으며, 포름알데히드는 적색직물의 황변, 열화직물의 황변 탈색, 포름산은 전체직물의 탈색에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

중심어: 포름알데히드, 전통직물, 손상농도, 색차, 포름산이온 농도, pH

ABSTRACT Formaldehyde(HCHO) may have a damage effect on Korean traditional textiles, because concentration is high and occurrence frequency is frequent at the exhibition room and storage area. Total 20 specimens were prepared using 4 different materials (silk, cotton, ramie, hemp) after dyeing with 5 colors (undyed, red, yellow, blue, black). The specimens were exposed to HCHO gas in the test chamber. The gas acceleration test was conducted to identify the deterioration of Korean traditional textiles according to HCHO concentration(0.5, 1, 10, 100, 500ppm), to temperature-humidity condition at HCHO 500ppm, and deterioration conditions at HCHO 500ppm. Optical, chemical, and physical evaluation was carried out after the exposure. The results, color difference, grey scale rating, formate(HCO_2^-) of some textiles increased at 500ppm, while pH decreased at 500ppm. Also, color difference, grey scale rating, formate(HCO_2^-) of some textiles increased double damage at high temperatures & humidity, high humidity condition. But, damages of accelerated degradation textiles were slight, because of degradation degree and degradation products. The results suggest that determined the damage to the korean traditional textile, damage level, damage-weighted condition, damage to accelerated degradation textiles. In addition, formaldehyde damaged to yellowing of red textiles, bleaching of accelerated degradation textiles, formic acid damaged to bleaching of total 20 specimens.

Key Words: Formaldehyde, Korean traditional textiles, Damage level, Color difference, HCO_2^- concentration, pH

1. 서론

포름알데히드는 연소(목재, 석탄, 가스)의 부산물과 합성제품(건축바닥재, 도장마감재, 합성목재, 접착제 등)에서 발생하는 주요 실내공간 오염물질로 문화재 보존시설의 전시실, 수장고, 진열장 공간에서 농도와 발생빈도가 높다(Hatchfield, 2002; Industry-University Cooperation Foundation of Hanyang University, 2007; Ministry of environment, 2014). 이는 전시, 수장공간내 다양한 건축 내장재의 사용과 고기밀화 때문이며 직원, 관람자의 인체 유해성은 물론 동산문화재 손상에도 영향을 미친다. 이러한 포름알데히드는 극성을 띄어 높은 친수성을 가지며, 다른 물질과 매우 쉽게 반응하는 강한 환원제로써, 단백질재질에 대한 손상이 알려져 있다. 또한, 가수분해를 통해 형성된 포름산은 금속류의 변색과 부식, 광물재질의 염형성, 지류, 직물, 안료의 취화와 퇴색 등 더 광범위한 손상을 일으킨다(Hatchfield, 2002; National Research Institute of Cultural Heritage conservation science division, 2013).

문헌상 포름알데히드의 인체자극 농도, 문화재 손상 농도를 각각 0.1~3ppm(Hays *et al.*, 1995), 0.03ppm(Druzik, 1991)으로 제시하는 가운데, 환경부, 국립중앙박물관, 국가기록원, 동경국립박물관은 각각 0.08ppm, 0.1ppm, 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1ppm), 0.05ppm(포름산 0.1ppm) 이하로 가이드라인을 제시하고 있다(Lee and Roh, 2006; Industry-University Cooperation Foundation of Hanyang University, 2007; Kim, 2009; Ministry of Environment, 2014). 그러나, 보존시설에서의 포름알데히드 농도는 국내의 경우, 전시실 0.01~0.06ppm, 수장고 0.009~0.08ppm, 진열장 0.009~0.34ppm, 국외의 경우, 전시실 0.009~0.037ppm, 수장고 0.005~0.38ppm, 진열장 0.005~0.38ppm으로 그 기준을 초과하는 것으로 측정되었으며, 최근 현장측정을 통해 일부 보존시설에서 상설전시실 0.15~0.52ppm, 기획전시실 0.20~1.1ppm, 동산문화재 다량 보관처에서 전시실 1.3ppm, 수장고 1.5ppm, 진열장 22.8ppm 등 기준을 훨씬 상회하는 농도가 확인되고 있다(National Research Institute of Cultural Heritage conservation science division, 2013). 따라서, 포름알데히드의 제어 대책과 함께 포름알데히드에 의한 동산문화재 재질별 손상 여부, 손상 정도를 명확히 파악할 필요가 있다.

현재까지 포름알데히드에 의한 재질 손상 연구는 국내의 경우 금속, 국외의 경우 금속, 지류, 컬러사진을 대상으로 진행되었다. 금속의 경우, 납, 구리, 아연, 철의 부식과

변색이 나타나고, 상대습도가 납부식에 선형적 영향이 있음을 밝혔으며, 지류의 경우, 산성지, 신문지의 색차 증가 및 중합도 저하가 나타남을 보고하였다. 그러나, 컬러사진 염료에는 영향이 없음을 보고하였다. 이상의 연구들은 주로 금속 재질에 편중되었으며, 시험장치 및 시험조건의 상이, 손상인자로서의 포름알데히드, 포름산 구분 모호, 일부 재질에 대한 단편적 손상 기준값 제시 등으로 인해 다양한 재질의 손상 여부와 손상 예측에 참고하기 어려운 실정이다(Striegel, 1991; Te'treault, 2003; Kim, 2004; Kang, 2008; Chiavari *et al.*, 2008; Ryhl-Svendsen, 2008; Fenech *et al.*, 2010; Strlič *et al.*, 2011; Menart *et al.*, 2011). 이러한 점에서 향후 직물, 기타 재질에 대한 손상 연구 확대는 물론 손상주체로서의 포름알데히드, 포름산 구분도 명확히 해야 한다.

국립중앙박물관과 국립민속박물관 소장유물 통계를 살펴보면, 섬유류는 전체 소장유물의 11~12%를 차지하고, 그 중 견, 면, 모시, 삼베는 전체 섬유류의 50~83%에 이른다(National Museum of Korea, 2012; The National Folk Museum of Korea, 2012). 전시 수장 공간에서의 포름알데히드 농도가 높은 경향을 감안할 때, 포름알데히드에 의한 전통직물의 손상 개연성이 있어 이를 확인하고자 하였다. 그에 따라 포름알데히드 농도 조건에 따른 직물의 손상, 손상농도에서 온습도 조건에 의한 직물의 손상, 열화직물의 손상을 평가하여 포름알데히드의 직물 손상 여부, 손상 정도를 종합적으로 확인하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험 재료

전통직물 시편(직물시편)은 견, 면, 모시, 삼베의 무염색 시편과 천연염색(적색, 황색, 청색, 흑색)시편으로 구성된 20종류이며, 시편크기와 시편수는 50×150mm(가로×세로), 종류별 2매 1조로 준비하였다(Table 1). 천연염색시편은 오방색을 기준하여 적색(소목), 황색(치자), 청색(쪽), 흑색(오배자+신나무)으로 천연염색을 5회 실시하였으며, 매염제는 적색, 황색에 Aluminium Potassium Sulfate ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 삼전순약공업(주)), 청색에 Sodium Hydrosulfite($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, 삼전순약공업(주)), 흑색에 Iron(II) sulfate heptahydrate($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 삼전순약공업(주))를 사용하였다. 천연염색 직물은 하늘물빛 전통천연염색연구소에 제작을 의뢰하였다.

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
Cotton (C, □)	Plain	0.533	103.3	100.4		
Ramie (R, ○)	Plain	0.316	109.3	116.1		
Hemp (H, ◇)	Plain	0.734	61.0	49.2		

Table 2. Condition for making formaldehyde concentrations.

HCHO Concentration (ppm)	Air exchange rate (n/hr)	Total flow (mL/min)	Standard gas (ppm)	Gas flow (mL/min)	Air flow (mL/min)
0.5	1	3610	10	10	3600
1		3600	10	100	3500
10		3650	100	350	3300
100		3600	HCHO Solution (37wt. %) 70ml	Ventilation area φ3.1mm×1ea (petri dish φ150mm×25mm)	3600
500		3600	HCHO Solution (37wt. %) 100ml	Ventilation area φ150mm×5ea (petri dish φ150mm×25mm)	3600

2.2. 실험 장치

포름알데히드(HCHO)에 의한 전통직물의 손상도 평가를 위해 가스부식시험기(217L, GS-UV, SUGA, JP)를 사용하여 노출시험을 실시하였다. 가스 농도 조성은 HCHO 표준가스(N₂ balance, RIGAS, Korea) 10, 100ppm과 HCHO 용액(37wt.%, Sigma-aldrich, USA)을 사용하였으며, 질량 유량계(Mass flow controller)를 이용하여 총유량 3.6L/min, 공기유량 3.3~3.6L/min, 가스유량 0~350mL/min으로 제어하였다(Table 2).

챔버내부 가스 농도 확인을 위해 실내공기질 공정시험 기준 ES 02601.1(실내 및 건축자재에서 방출되는 포름알데하이드 측정방법 - 2,4 DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프법)에 의거하여 농도분석을 실시하였으며, 감지관식 기체측정기(GV-100S, Gastec, Japan)도 병용하여 농도를 모니터링하였다.

2.3. 실험 조건

2.3.1. 포름알데히드의 농도 조건에 따른 전통직물 손상도 평가(Step 1)

HCHO에 의한 전통직물의 손상 여부 확인 및 손상농도 도출을 위하여 직물시편을 대상으로 온도 25±2℃, 습도 50±5%, 환기횟수 1/hr(전시실 및 전시케이스의 공기교환율 고려)로 조성한 다음, HCHO 0.5, 1, 10, 100, 500ppm 농도 조건에 각각 24시간 노출을 실시하였다(Table 3).

2.3.2. 손상농도에서 온습도 조건에 따른 영향 평가(Step 2)

2.3.1.의 결과에서 최저관찰 영향농도(LOAEL: lowest-observed-adverse-effect level)를 손상농도로 도출한 후, 손상농도에서 온습도 조건에 의한 전통직물의 손상 가중 영향을 평가하였다. 직물시편을 대상으로 온습도를 기본 조건(온도 25℃, 습도 50%), 고온조건(온도 30℃, 습도 50%), 고습조건(온도 25℃, 습도 80%), 고온·고습조건

Table 3. Experimental conditions of step 1.

Parameter	Conditions
Temperature (°C)	25±2
Humidity (%)	50±5
HCHO (ppm)	0.5, 1, 10, 100, 500
Air change rate (1/hr)	1
Exposure Time (hr)	24

Table 4. Experimental conditions of step 2.

Parameter	Conditions			
Temperature (°C)	25±2		30±2	
Humidity (%)	50±5	80±5	50±5	80±5
HCHO (ppm)	Damage concentration (LOAEL)			
Air exchange rate (1/hr)	1			
Exposure time (hr)	24			

Table 5. Experimental conditions of step 3.

Parameter	Conditions
Temperature (°C)	25±2
Humidity (%)	50±5
HCHO (ppm)	Damage concentration (LOAEL)
Air exchange rate (1/hr)	1
Exposure time (hr)	24

(온도 30℃, 습도 80%)으로 각각 조성하고, 환기횟수 1/hr로 설정한 다음, 손상농도에 24시간 노출을 실시하였다 (Table 4).

2.3.3. 열화직물의 손상도 평가(Step 3)

가속열화 직물시편을 대상으로 온도 25℃, 습도 50%, 환기횟수 1/hr로 조성한 다음 손상농도에 24시간 노출을 실시하였다(Table 5). 가속열화 직물시편은 건조기(OF-22, Jeio tech, KOREA)를 이용하여 직물시편을 온도 125℃에서 56일간 건식열화(Nilsson *et al.*, 2010)시켜 얻었다. 열화정도는 견을 기준할 때 17C 의복 견샘플에 해당된다.

2.4. 손상도 평가 방법

HCHO에 의한 전통직물의 손상 여부 및 손상정도를 평가하기 위해 광학적, 화학적, 물리적 평가항목을 선정하였

다(Table 6). 광학적 평가는 색차, 변퇴색등급, 화학적 평가는 포름산이온 농도, pH, FT-IR(ATR), 물리적 평가는 인장강도를 수행하였다. 색차, 변퇴색등급은 분광 색차계(Spectro-guide, BYK Gardner, Germany)를 사용하여 시편 중앙의 측정구획을 측정하였으며, 얻어진 색도값을 통해 각각 색차, 변퇴색등급을 산출하였다. 포름산이온 농도(Formate, HCO₂⁻) 분석은 이온크로마토그래피(ICS-3000, Dionex, USA)를 이용하였다. 이를 위해 직물시편 1매(50mm×150mm)의 표면적, 중량 측정후 팔콘튜브(50ml)에 삽입하고 탈이온수 50ml를 주입하였다. 이후 초음파세척기(SD-D300H, S-D Ultra sonic cleaner co., ltd., Korea)를 이용하여 초음파강도 50%, 온도 40℃, 추출시간 60분으로 용출액을 얻었으며, 용출액 중 10ml를 0.45μm 필터로 여과한 후 여과액 5ml에 대하여 Formate 분석을 실시하였다. pH는 잔여 용출액(40ml)에 대하여 pH 측정기(Orion4star, Thermo scientific institute, USA)를 사용하

Table 6. 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
	HCO ₂ ⁻ concentration	KS I 3206
Chemical	pH	KS K ISO 3071
	FT-IR	KS K 0210-1
Physical	Tensile strength	KS K 0520

Figure 1. Color difference of textiles according to HCHO concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed textile. N.T.: Not treated.

여 측정하였다. FT-IR분석은 적외선분광분석기(Vertex70, Bruker, Germany)를 이용하였으며, 전반사측정법, 32스캔, 분해능 4cm⁻¹ 조건으로 분석하였다. 인장강도는 그래브법을 기준으로 인장강도시험기(3365, Instron, USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 결 과

3.1. 포름알데히드의 농도 조건에 따른 전통직물 손상도 평가(Step 1)

3.1.1. 광학적 손상도

3.1.1.1. 색차

HCHO 농도 조건에 따른 직물시편의 색차(ΔE^*_{ab})는 0.5~500ppm의 농도 범위에서 대부분 1.0 미만으로 재질

별, 염색별 뚜렷한 색변화가 나타나지 않았으나 500ppm 농도에서 건-적색(S_r)의 색차(1.37)가 뚜렷히 증가하였고 나머지 적색직물군에서도 미세한 색차 증가가 확인되었다 (Figure 1). S_r은 b*값, L*값이 증가하였다.

3.1.1.2. 변퇴색등급

HCHO 농도 조건에 따른 직물시편의 변퇴색등급은 0.5~500ppm의 농도 범위에서 대부분 5~4.5 범위로 재질 별, 염색별 변퇴색등급의 뚜렷한 변화가 나타나지 않았으나 500ppm 농도에서 적색직물군의 변퇴색등급이 모두 4.5로 감소하였다.

3.1.2. 화학적 손상도

3.1.2.1. 포름산이온 농도

HCHO 농도 조건에 따른 직물시편의 포름산이온 농도

($\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$)는 0.5~100ppm의 농도 범위에서 대부분 100 미만으로 변화를 보이지 않다가 500ppm에서 급격히 증가하였다. 무염색시편에서는 $C_u(466\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day})$, $H_u(431\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day})$, 천연염색시편에서는 $H_y(368\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day})$, $H_b(336\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day})$ 의 포름산이온 농도가 급격히 증가하였다(Figure 6). 전체적으로 무염색시편이 천연염색시편에 비해 포름산이온 농도가 높은 것으로, 재질별로는 면, 삼베, 모시, 견 순으로, 염색별로는 무염색, 청색, 황색, 적색, 흑색 순으로 포름산이온 농도가 높은 것으로 나타났다(Figure 2).

3.1.2.2. pH

HCHO 농도 조건에 따른 직물시편의 pH는 0.5~10

ppm의 농도 범위에서 변화 없이 일정하다가 100ppm 농도에서 S_u , 청색직물군에서 미세한 감소가 나타나고, 500ppm 농도에서 전체직물의 pH 감소가 뚜렷히 확인되었다. 무처리(N.T.) 대비 500ppm 농도에서의 직물시편 ΔpH 는 재질별로는 $S_u(1.1)$, $H_u(0.48)$, $C_u(0.33)$, $R_u(0.13)$ 순으로, 염색별로는 청색(0.86), 황색(0.59), 무염색(0.51), 적색(0.43), 흑색(0.43) 순으로 나타났다(Figure 3).

3.1.2.3. 작용기 분석

HCHO 500ppm 농도에 노출된 무염색시편의 작용기 분석결과, 견, 면, 모시, 삼베에서 열화에 의한 변화를 확인할 수 없었으며, 반응이 예상되었던 -CHO작용기($2700\sim 2900\text{cm}^{-1}$)도 관찰되지 않았다.

Figure 2. HCO_3^- concentration of textiles according to HCHO concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed textile. N.T.: Not treated.

Figure 3. pH of textiles according to HCHO concentration. (A) Undyed textile, (B) Natural dyed textile. N.T.: Not treated.

농도는 C_u, C_b, H_u, H_b, R_u, R_b에서 높게 나타났다(Figure 5).

3.2.2.2. pH

손상농도(HCHO 500ppm)에서 온습도 조건에 따른 직물시편의 pH는 대체로 기본조건(25℃, 50%)대비 고습조건(25℃, 80%), 고온조건(30℃, 50%), 고온고습조건(30℃, 80%) 모두에서 뚜렷한 증가, 감소 경향이 나타나지 않았다. 다만, 일부 시편(S_u, R_b)이 고습조건에서 추가 감소하였다.

3.2.2.3. 작용기 분석

손상농도(HCHO 500ppm)에서 온습도 조건에 따른 무염색시편의 FT-IR을 분석한 결과, 열화로 확인되는 변화를 확인할 수 없었으며, 반응이 예상되었던 -CHO작용기 ($2700\sim2900\text{cm}^{-1}$)도 관찰되지 않았다.

3.2.3. 물리적 손상도

3.2.3.1. 인장강도

손상농도(HCHO 500 ppm)에서 온습도 조건에 따른 식물시편의 인장강도는 기본조건(25℃, 50%)대비 고습조건(25℃, 80%), 고온조건(30℃, 50%), 고온고습조건(30℃, 80%) 모두에서 뚜렷한 증가, 감소 경향이 나타나지 않았다.

3.3. 열화직물의 손상도 평가(Step 3)

3.3.1. 광학적 손상도

3.3.1.1. 색차

손상농도(HCHO 500ppm)에 노출된 가옥설화 직물시편의 색차(ΔE^*_{ab})는 노출전 전체시편(Aging) 1.23~36.98, 무염색시편 17.73~36.98, 천연염색시편 1.23~36.93으로 나타났으며 노출후 전체시편(Aging+HCHO 500ppm) 0.99~37.24, 무염색시편 17.39~36.77, 천연염색시편 0.99~37.24로 나타났다. 가옥설화 직물시편의 노출전·후 색차변화량은 전체시편 -0.68~0.32, 무염색시편 -0.68~0.20, 천연염색시편 -0.34~0.32로 소폭의 증감 변화가 확인되었다 (Figure 6A). 이러한 증감변화는 노출후 적색직물시편에서는 b*값, L*값의 증가로, 기타직물시편에서는 b*값의 감소, L*값의 증가로 나타났다.

3.3.1.2. 변퇴색등급

손상농도(HCHO 500ppm)에 노출된 가솔연화 직물시편의 변퇴색등급은 노출전·후 전체시편 4.5등급~1등급, 무염색시편 1등급, 천연염색시편 4.5등급~1등급으로 변화 없이 동일하였다(Figure 6B).

3.3.2. 화학적 손상도

3.3.2.1. 포름산이온 농도(HCO_2^-)

손상농도(HCHO 500ppm)에 노출된 가속열화 직물시

Figure 6. Damage characteristics of accelerated degradation textiles at HCHO 500ppm. (A) Color difference, (B) Grey scale rating. N.T.: Not treated.

려 감소하였다. 또한, 직물시편은 가속열화과정을 통해 포름산이온 농도가 내부적으로 증가하는 것으로 나타났다 (Figure 7A).

손상농도(HCHO 500ppm)에 노출된 가속열화 직물시

건 대비 고습조건, 고온조건, 고온고습조건 모두에서 뚜렷한 증가, 감소 또는 산화, 열화 변화를 확인할 수 없었다. 색차는 견(무염색, 적색), 삼베(무염색, 적색)에서 가장 높게 나타났으며 포름산 이온농도는 면(무염색, 청색), 삼베(무염색, 청색), 모시(무염색, 청색)에서 높게 나타났다.

색차의 경우, 고온-고습조건, 고습조건에서 무염색시편은 b^* 값, L^* 값 감소폭이 더 커졌으며, 적색직물(특히, 견-적색)은 b^* 값, L^* 값의 증가가 아닌 a^* 값 감소, L^* 값 증가가 나타나 포름산(HCOOH)에 의한 탈색이 발생한 것으로 판단되었다.

이상의 결과를 통해 HCHO 존재 하에서 고습조건이 직물의 색차 증가(탈색), 포름산이온 농도 증가에 영향을 크게 미치는 것으로 확인되었다.

4.3. 열화직물의 손상도 평가(Step 3)

손상농도에 노출된 가속열화 직물시편의 손상도 평가 결과, 노출후는 노출전 대비 색차, 변퇴색등급, pH에서 추가적인 증감 변화는 미미하였고, 작용기 분석에서도 추가적인 열화 및 -CHO 작용기는 관찰되지 않았으나 포름산 이온 농도, 인장강도에서 추가적인 감소가 확인되었다.

본 실험에서 노출후의 색차가 미미한 수준으로 나타난 이유는 가속열화를 통해 직물의 상당한 색변화가 이미 진행된 점과 HCHO의 탈색작용으로 판단되었다. HCHO는 가속열화 적색직물에도 여전히 적색색소의 황변을 일으켰으며, 기타시편에는 가속열화에 의해 발생한 황변을 탈색시켰다. 노출후 포름산이온 농도의 감소는 가속열화를 통해 직물시편 내부적으로 포름산이온의 발생 및 농도 증가와 면적당 함유수분량의 감소(수분흡습능력 저하)가 나타난 상태에서 손상농도 노출에 의한 열화직물내 추가적인 포름산이온의 축적이 나타나지 않고 오히려 직물시편 내부의 포름산이온이 방출되면서 감소한 것으로 추정되었다. 노출후 인장강도의 감소는 포름산이온 농도의 감소를 고려하였을 때 HCHO에 의한 것으로 판단되지 않고, 가속열화과정에서 생성된 다양한 내부 생성물질에 의한 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통해 전통직물의 열화인자, 열화정도, 열화과정 생성물질 등에 따라 광학적, 물리적, 화학적 손상변화가 다르게 나타날 것으로 예상된다. 다만, 열산화로 얻어진 가속열화시편이 전반적인 고고직물 물성과 유사하다고 가정할 때, HCHO에 의하여 고고직물의 황변(적색계열) 또는 탈색이 예상되며 외부로부터의 포름산이온 농축은

나타나지 않을 것으로 예상된다.

5. 결 론

1. HCHO 농도에 따른 전통직물 재질 손상 평가를 통해 500ppm/day 농도에서 광학적 손상변화와 화학적 손상변화가 확인되었으며, 적색(소목)직물군의 색변화와 삼베, 면 재질의 포름산이온 농도 농축, 견(무염색)의 pH 감소가 뚜렷하였다.

2. 손상농도에서 온습도 조건에 따른 전통직물의 영향 평가를 통해 고습조건이 광학적 손상변화와 화학적 손상변화를 2배 가중시키는 것으로 확인되었으며, 색차, 포름산이온 농도에서 나타났다.

3. 열화직물의 손상도 평가를 통해 노출전·후 추가적인 손상변화가 미미하였다. 가속열화 정도, 가속열화 과정 생성물질에 따라 손상 정도와 양상이 달라질 것으로 예상되었다.

4. 포름알데히드는 적색직물의 황변과 열화직물의 황변 탈색에, 포름산은 전체직물의 탈색에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 2013년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(R&D) 사업의 지원을 받아 이루어졌으며 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

REFERENCES

- Chiavari, C., Martini, C., Prandstraller, D., Niklasson, A., Johansson, L. G., Svensson, J. E., Åslund, A. and Bergsten, C. J., 2008, Atmospheric corrosion of historical organ pipes: The influence of environment and materials. Corrosion Science, 50, 2444-2455.
- Druzik, C., 1991, Formaldehyde: detection and mitigation. 1990 WAAC Annual Meeting: Presentation summaries, Western Association for Art Conservation Newsletter, 13, 3-8. (in English)
- Fenech, A., Strlič, M., Degano, I. and Cassar, M., 2010, Stability of chromogenic colour prints in polluted indoor environments. Polymer Degradation and Stability, 95, 2481-2485.

- Hatchfield, P, 2002, Pollutants in the Museum Environment. Archetype publications. London, 14-21. (in English)
 - Hays, S. M., Gobbell, R. V. and Ganick, N. R., 1995, Indoor air quality: solution and strategies. Newyork: Mcgraw-Hill, 66, 69. (in English)
 - Industry-University Cooperation Foundation of Hanyang University, 2007, Development of conservation system for protection of movable cultural properties. National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 27, 178-183. (in Korean with English abstract)
 - Kang, D. I., 2008, The metal corrosion caused by museum indoor air pollutants. Journal of Conservation Science, 22, 5-14. (in Korean with English abstract)
 - Kim, H. T., 2009, Stabilization for Conservation Environment in National Achives Repository. Conservation of the Archives, 2, 67-74.
 - Kim, M. N., 2004, Emission Characteristics of Aldehydes from Wood Products Used by Museum and Effect of Aldehydes on Metal Corrosion. Master's Thesis, The University of Seoul. (in Korean with English abstract)
 - Lee, S.E., and Roh, H.S., 2006, Environmental Measurements of Gallery and Storage Rooms of The New National Museum of Korea. Conservation Science in Museum, 7, 75-87. (in Korean with English abstract)
 - Menart, E., Bruin, G. D. and Strlič, M., 2011, Dose-response functions for historic paper. Polymer Degradation and Stability, 96, 2029-2039.
 - Ministry of Environment, 2014, Indoor air quality control in public use facilities, etc. Enforcement Regulations, appendix 1, 2. (in Korean)
 - National Museum of Korea, 2012, website(www.museum.go.kr), Collection database. (in Korean)
 - National Research Institute of Cultural Heritage conservation science division, 2013, Evaluation on material damages of movable cultural properties caused by formaldehyde. National Research Institute of Cultural Heritage, Dajeon, 3-5, 20-22. (in Korean with English abstract)
 - Nilsson, J., Vilaplana, F., Karlsson, S., Bjurman, J., Iversen, T., 2010, The Validation of Artificial Ageing Method for Silk Textiles Using Markers for Chemical and Physical Properties of Seventeenth-Century Silk. Studies in Conservation, 55, 55-65.
 - Ryhl-Svendsen, M., 2008, Corrosivity measurements of indoor museum environments using lead coupons as dosimeters. Journal of Cultural Heritage, 9, 285-293.
 - Striegel, M.F., 1991, The effects of gas phase formaldehyde on selected inorganic materials found in museums. in P. Hatchfield(ed.) Objects Specialty Group Postprints 1991, Abstracts Presented at the Annual meeting, Albuquerque, New Mexico 3-8 June, Washington, DC: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1-12.
 - Strlič, M., Cigić, I. K., Možir, A., Bruin, G. D., Kolar, J. and Cassar, M., 2011, The effect of volatile organic compounds and hypoxia on paper degradation. Polymer Degradation and Stability, 96, 608-615.
 - Te'treault, J., 2003, Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives : Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management. Canadian Conservation Institute, Ottawa, 8-32.
 - The National Folk Musuem of Korea, 2012, website (www.nfm.go.kr), Data info. (in Korean)
-