

# 아세트알데하이드에 의한 전통직물의 손상 특성

김명남<sup>1</sup> | 임보아 | 이선명  
국립문화재연구소 보존과학연구실

## Damage Characteristics of Korean Traditional Textiles by Acetaldehyde

Myoung Nam Kim<sup>1</sup> | Bo A Lim | Sun Myung Lee

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: [compassion4@korea.kr](mailto:compassion4@korea.kr), +82-42-860-9489

**초 록** 아세트알데하이드가 직물에 미치는 손상여부, 손상정도는 다른 재질에 비해 명확하지 않다. 본 연구는 견, 면, 모시, 삼베의 무염색, 천연염색시편을 대상으로 아세트알데하이드 0.1, 0.5, 1, 10, 100, 500, 1000 ppm 농도에서의 손상, 손상농도에서 온·습도 조건에 따른 손상 가중, 손상농도에서 열화직물시편의 손상을 광학적, 화학적, 물리적 측정방법으로 평가하였다. 이 결과, 아세트알데하이드 농도 1000 ppm/day에서 면\_황색시편의 색차가 증가하였고, 고습조건(25℃, 80%), 고온조건(30℃, 50%), 고온·고습조건(30℃, 80%)에서 황색시편들의 색차 증가와 변퇴색등급 감소가 뚜렷하였으며, 고온·고습조건(30℃, 80%)에서 면\_무염색시편의 아세트산이온 농도 증가, 견\_무염색시편의 pH 감소가 나타났다. 열화직물의 경우, 흑색시편들의 아세트산이온 농도가 증가하였다. 이를 통해 아세트알데하이드가 전통직물에 미치는 손상은 크지 않으나 황색직물의 탈색과 열화된 흑색직물의 아세트산이온 농도 증가가 예상된다.

**중심어:** 아세트알데하이드, 전통직물, 손상특성, 색차, 아세트산이온 농도

**ABSTRACT** Textiles damage caused by acetaldehyde(CH<sub>3</sub>CHO) is not clear as compared to other materials. Total 20 specimens were prepared using 4 different materials (silk, cotton, ramie, hemp) after dyed with 4 colors (undyed, red, yellow, blue, black). The specimens were exposed to CH<sub>3</sub>CHO gas in the test chamber. First, textile specimens' damage by different concentration of acetaldehyde(0.1, 0.5, 1, 10, 100, 500, 1000 ppm) was tested. Second, accelerated damage to the textile specimens were tested according to the temperature and humidity conditions at the damage levels. Third, damage of deliberately degraded textile specimens were examined at the damage levels. After the exposure, optical, chemical, and physical evaluation was carried out. As a result, at 1000 ppm/day, the color difference of cotton\_yellow has increased. At the condition of 25℃-80%, 30℃-50%, 30℃-80%, the color difference of yellow specimens has increased and grey scale rating has decreased. At 30℃-80%, acetate of cotton\_undyed increased and the pH of silk\_undyed decreased. In the case of deliberately degraded textile specimens, acetate concentration of black specimens increased. In conclusion, damage to the traditional fabric by acetaldehyde is not impact. However, it is expected that yellow specimens will be bleach and black specimens' acetate concentration will be increase.

**Key Words:** Acetaldehyde, Korean traditional textiles, Damage characteristics, Color difference, Acetate(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

## 1. 서론

문화재보존시설 내 알데하이드류, 휘발성유기화합물 등 실내공기오염물질의 농도는 외기보다 높은 것으로 보고 되고 있다(Kim *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2009). 이는 실내 건축내장재, 목질(목재)제품, 도료, 접착제 등에서 발생되므로 전시실, 진열장, 수장고에서도 모두 검출되고 있다(Hatchfield, 2002; Kim, 2002; Kim, 2004).

알데하이드류 중 아세트알데하이드는 실내공간에서 폼알데하이드와 함께 높은 농도 분포를 차지하고 있다. 신축 박물관에서는 전시실  $36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 수장고  $82.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 146.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로(Cha *et al.*, 2005), 개관 3년된 기념관에서는 전시실  $27.5 \sim 177.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2014). 또한, 전시실보다 기밀성이 높은 진열장과 목재수납장, 수납선반이 많은 수장시설에서의 농도가 더 높은 경향을 보였고, 계절별로는 여름, 가을, 봄, 겨울 순으로 높게 나타났다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2014). 아세트알데하이드는 휘발성이 강한 무색 액체로, 자극적인 냄새가 나며 물, 에탄올, 에테르와 잘 섞인다. 분자식은  $\text{CH}_3\text{CHO}$ 이며, 끓는점은  $20.2^\circ\text{C}$ 로 상온에서 기체 상태로 존재한다. 아세트알데하이드는 산화되어 아세트산이 되기 쉬우며, 아세트산은 금속류, 석회질(조개질), 광물시편, 지류, 식물, 안료 손상을 주며, 변색, 부식, 염형성, 부스러짐, 흑화 등의 손상을 입히는 것으로 보고되었다(Hatchfield, 2002). 국내외 아세트알데하이드 실내공기질 규제기준은 미국, 일본이  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (미국 환경청, 일본 후생노동성)로 제시하고 있고, 문화재보존시설에서의 아세트알데하이드 규제기준은 동경 국립박물관이  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb) 이하로 제시하고 있다. 국

내는 아세트알데하이드 단일 물질에 대한 실내공기질 규제기준이 제정되어있지 않으며, 국립문화재연구소(National Research Institute of Cultural Heritage, 2007)에서 박물관의 실내공기질조사 결과를 토대로 수장고와 전시실의 아세트알데하이드 농도를  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5.5 ppb) 이하로 기준(안)을 제시한 바 있다.

아세트알데하이드, 아세트산에 의한 재질 손상 실험연구는 국외의 경우, 금속, 지류, 석회질, 세라믹, 염료 등의 순으로 연구 빈도가 높았으며, 금속류의 부식, 지류의 중합도 저하, 셀룰로오스와 낮은 반응성, 사진염료 농도변화, 세라믹타일의 아세트산 풍해가 확인되었다(Chiavari *et al.*, 2008; Ryhl-Svendsen, 2008; Fenech *et al.*, 2010; Gibson and Watt, 2010; Menart *et al.*, 2011; Strlič *et al.*, 2011; Te'treault *et al.*, 2013). 국내의 경우, 금속, 안료를 대상으로 연구되었으며, 철과 납의 부식, 철시편의 중량증가, 철-청동시편의 색차증가, 무기안료 석록의 색상변화가 확인되었다(Kim, 2004; Kang, 2008; National Research Institute of Cultural Heritage, 2008). 앞서 Hatchfield(2002)가 아세트산에 의한 직물손상을 언급하였으나 이상의 연구들에서는 직물손상 사례를 찾아볼 수 없었고, 대체로 회분식 실험하에 아세트산이 사용된 점에서 아세트알데하이드 단독 또는 산화가 혼재된 조건을 참고하기가 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라의 전통직물을 대표할 수 있는 직물시편을 재질별 및 염색별로 제작하고 연속식 실험을 기초로 아세트알데하이드에 의한 전통직물 재질 손상 평가 연구를 진행하여 손상농도, 손상유형과 정도, 온습도 조건에 따른 가중 손상, 가속열화직물(의사 고직물시편)의 손상도를 평가하고 아세트알데하이드와 전통직물간의 손상관계, 손상정도를 정립하고자 하였다.

**Table 1.** Specimens of Korean traditional textile.

Fabric (Initial, Symbol)	Weave	Thickness (mm)	Fabric count (Threads/5 cm)		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		

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험 재료

전통식품 시편(직물시편)은 견, 면, 모시, 삼베의 무염색 시편과 천연염색(적색, 황색, 청색, 흑색)시편으로 구성된 20종류이며, 시편크기와 시편수는 50×150 mm(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( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , 삼전순약공업(주)), 청색에 Sodium Hydrosulfite ( $Na_2S_2O_4$ , 삼전순약공업(주)), 흑색에 Iron(II) sulfate heptahydrate( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , 삼전순약공업(주))를 사용하였다. 천연염색 직물은 하늘빛물 전통천염색연구소에 제작을 의뢰하였다.

### 2.2. 실험 장치

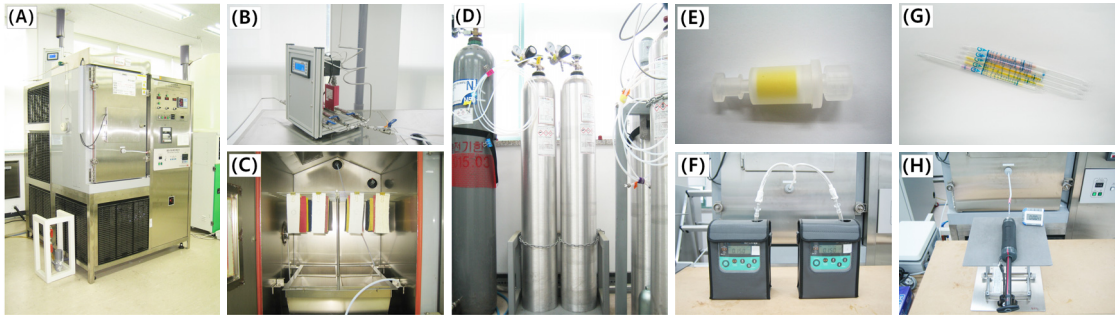
아세트알데하이드( $CH_3CHO$ )에 의한 전통식품의 손상도 평가를 위해 가스부식시험기(217L, GS-UV, SUGA,

Japan)를 사용하여 노출시험을 실시하였다(Figure 1). 아세트알데하이드 농도 0.1, 0.5, 1, 10, 100, 500, 1000 ppm 조성을 위해  $CH_3CHO$  표준가스(N2 balance) 20, 200, 20000, 50000 ppm을 사용하였다. 공기유량과 가스유량은 MFC를 이용하여 총유량은 3.6 L/min, 공기유량 3.5~3.6 L/min, 가스유량 4.5~107 mL/min 범위로 설정하였다. 농도 모니터링은 2,4-DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프법에 따라 농도분석을 실시하였고, 검지관식 기체측정기(GV-100S, Gastec, Japan)를 병용하였다(Table 2).

### 2.3. 실험 조건

#### 2.3.1. 아세트알데하이드의 농도 조건에 따른 전통식품 손상도 평가 (Step 1)

$CH_3CHO$ 에 의한 전통식품의 손상 여부 확인 및 손상농도 도출을 위하여 전통식품을 대상으로 온도  $25 \pm 2^\circ C$ , 습도  $50 \pm 5\%$ , 환기횟수 1/h(전시설 및 전시케이스의 공기교환율 고려)로 조성한 다음,  $CH_3CHO$  0.1, 0.5, 1, 10, 100, 500, 1000 ppm 농도 조건에 각각 24시간 노출을 실시하였다(Table 3).



**Figure 1.** Experimental apparatus. (A) Gas corrosion tester, (B) MFC, (C) Specimens, (D)  $CH_3CHO$  standard gas, (E) 2,4-DNPH Cartridge, (F) Pump, (G) Detector tube, (H) Gas sampling pump.

**Table 2.** Condition for making acetaldehyde concentrations.

Air exchange rate	$CH_3CHO$ concentration (ppm)	Total flow (mL/min)	Standard gas (ppm)	Gas flow (mL/min)	Air flow (mL/min)
1/h	0.1	3604.5	20	4.5	3600
	0.5	3651	20	51	3600
	1	3602	20	102	3500
	10	3607	200	107	3500
	100	3612	20000	12	3600
	500	3625	50000	25	3600
	1000	3650	50000	50	3600

**Table 3.** Experimental conditions of step 1.

Parameter	Conditions
Temperature (°C)	25±2
Humidity (%)	50±5
CH <sub>3</sub> CHO (ppm)	0.1, 0.5, 1, 10, 100, 500, 1000
Air change rate	1/h
Exposure Time (h)	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
CH <sub>3</sub> CHO (ppm)	Damage concentration (LOAEL)			
Air exchange rate	1/h			
Exposure time (h)	24			

**Table 5.** Experimental conditions of step 3.

Parameter	Conditions
Temperature (°C)	25±2
Humidity (%)	50±5
CH <sub>3</sub> CHO (ppm)	Damage concentration (LOAEL)
Air exchange rate	1/h
Exposure time (h)	24

**Table 6.** Damage evaluation items of Korean traditional textile.

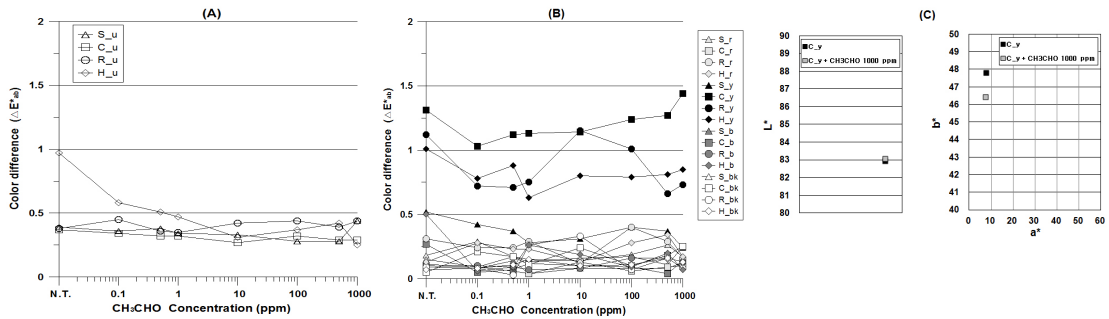
Damage classification	Evaluation items	Test standard
Optical	Color difference	KS K 0205, KS K 0063
	Grey scale rating	KS K ISO 105-A05
Chemical	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> - concentration	KS I 3206
	pH	KS K ISO 3071
	FT-IR	KS K 0210-1
Physical	Tensile strength	KS K 0520

**2.3.2. 손상농도에서 온-습도 조건에 따른 영향 평가(Step 2)**  
 2.3.1.의 결과에서 손상관찰 최저농도(LOAEL: lowest-observed-adverse-effect level)를 손상농도로 도출한 후, 손상농도에서 온-습도 조건에 의한 전통직물의 손상 가중 영향을 평가하였다. 전통직물을 대상으로 온-습도를 기본 조건(온도 25°C, 습도 50%), 고온조건(온도 30°C, 습도 50%), 고습조건(온도 25°C, 습도 80%), 고온고습조건(온

도 30°C, 습도 80%)으로 각각 조성하고, 환기횟수 1/h로 설정한 다음, 손상농도에 24시간 노출을 실시하였다(Table 4).

### 2.3.3. 열화직물의 손상도 평가 (Step 3)

가속열화 직물시편을 대상으로 온도 25°C, 습도 50%, 환기횟수 1/h로 조성한 다음 손상농도에 24시간 노출을 실시하였다(Table 5). 가속열화 직물시편은 건조기(OF-22,



**Figure 2.** Color difference of textiles according to CH<sub>3</sub>CHO concentration. (A) Undyed textiles, (B) Natural dyed textiles, (C) L\*, a\*, b\* of C<sub>y</sub>. N.T.: Not treated.

Jeio tech, Korea)를 이용하여 직물시편을 온도 125°C에서 56일간 건식열화(Nilsson *et al.*, 2010)시켜 얻었다. 열화정도는 견을 기준할 때 17세기 의복 견샘플에 해당된다.

## 2.4. 손상도 평가 방법

CH<sub>3</sub>CHO에 의한 전통직물의 손상 여부 및 손상정도를 평가하기 위해 광학적, 화학적, 물리적 평가항목을 선정하였다(Table 6). 광학적 평가는 색차, 변퇴색등급, 화학적 평가는 아세트산이온 농도, pH, 작용기분석(FT-IR), 물리적 평가는 인장강도를 수행하였다. 색차, 변퇴색등급은 분광색차계(Spectro-guide, BYK Gardner, Germany)를 사용하여 시편 중앙의 측정구획을 측정하였으며, 얻어진 색도값을 통해 각각 색차, 변퇴색등급을 산출하였다. 아세트산이온 농도(Acetate, CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 분석은 이온크로마토그래피(ICS-3000, Dionex, USA)를 이용하였다. 이를 위해 직물시편 1매(50 mm×150 mm)의 표면적, 중량 측정후 팔콘튜브(50 mL)에 삽입하고 탈이온수 50 mL를 주입하였다. 이후 초음파세척기(SD-D300H, S-D Ultra sonic cleaner co., ltd., Korea)를 이용하여 초음파강도 50%, 온도 40°C, 추출시간 60분으로 용출액을 얻었으며, 용출액 중 10 mL를 0.45 μm 필터로 여과한 후 여과액 5 mL에 대하여 Acetate 분석을 실시하였다. pH는 잔여 용출액(40 mL)에 대하여 pH 측정기(Orion4star, Thermo scientific institute, USA)를 사용하여 측정하였다. FT-IR분석은 적외선분광분석기(iS5, Thermo scientific, USA)를 이용하였으며, 전반사측정법, 32스캔, 분해능 4 cm<sup>-1</sup> 조건으로 분석하였다. 인장강도는 그래브법을 기준으로 인장강도시험기(3365, Instron, USA)를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과

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

#### 3.1.1. 광학적 손상도

##### 색차

CH<sub>3</sub>CHO 농도 조건에 따른 전통직물의 색차(ΔE\*<sub>ab</sub>)는 아세트알데하이드 1000 ppm 농도에서 면\_황색(C<sub>y</sub>)의 색차가 1.44로 미세한 색차 증가가 확인되었으며, 기타시편들은 0.1~1000 ppm의 농도 범위에서 1.0 미만으로 재질별, 염색별 뚜렷한 색변화가 나타나지 않았다(Figure 2A, 2B). C<sub>y</sub>의 색도 변화를 살펴보면, L\*값의 증가(0.12), a\*값의 감소(-0.34), b\*값의 감소(-1.39)가 나타났다(Figure 2C).

##### 변퇴색 등급

CH<sub>3</sub>CHO 농도 조건에 따른 전통직물의 변퇴색 등급은 0.1~1000 ppm의 농도 범위에서 전체시편 모두 5~4.5 범위로 재질별, 염색별 변퇴색 등급의 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다.

#### 3.1.2. 화학적 손상도

##### 아세트산이온 농도

CH<sub>3</sub>CHO 농도 조건에 따른 전통직물의 아세트산이온 농도는 0.1~1000 ppm의 농도 범위에서 모두 100 μg/100 cm<sup>2</sup>/day 미만(오차범위 내)으로 증감 변화를 보이지 않았다.

##### pH

CH<sub>3</sub>CHO 농도 조건에 따른 전통직물의 pH는 0.1~1000 ppm의 농도 범위에서 모두 변화없이 일정하였다.

### 3.1.3. 물리적 손상도

#### 인장강도

CH<sub>3</sub>CHO 농도 조건에 따른 전통직물의 인장강도는 0.1~1000 ppm의 농도 범위에서 뚜렷한 변화를 확인할 수 없었다.

### 3.2. 손상농도에서 온·습도 조건에 따른 영향 평가 (Step 2)

#### 3.2.1. 광학적 손상도

##### 색차

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따

른 전통직물의 색차( $\Delta E^*_{ab}$ )는 황색시편들의 경우, 기본조건(25°C, 50%)대비 고습조건(25°C, 80%), 고온조건(30°C, 50%), 고온·고습조건(30°C, 80%)에서 증가 경향이 나타났으며, 기타시편들에서는 증가, 감소 경향이 미미하였다. 황색시편중 면\_황색시편의 증가가 뚜렷하였다(Figure 3A).

##### 변퇴색 등급

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따른 전통직물의 변퇴색등급은 면\_황색시편의 경우, 기본조건(25°C, 50%)대비 고습조건(25°C, 80%), 고온조건(30°C, 50%), 고온·고습조건(30°C, 80%) 모두에서 뚜렷한 증가 경향이 나타났다. 기타시편들에서는 증가, 감소 경향이 미

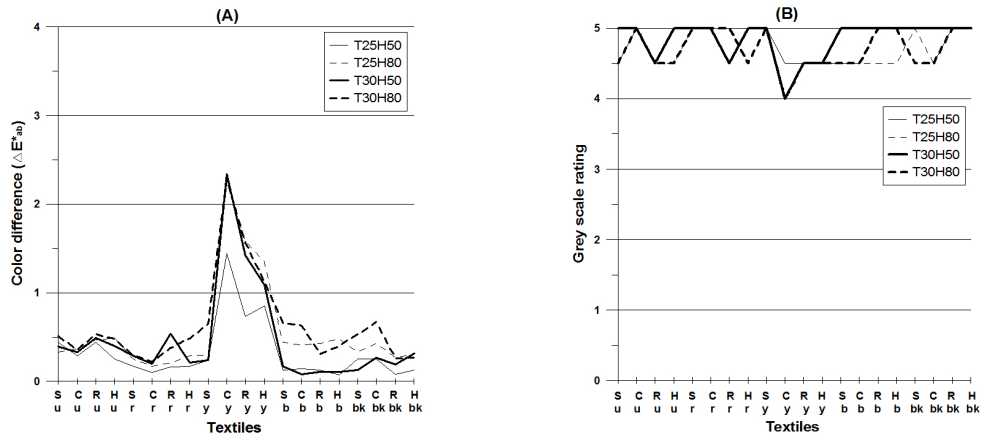


Figure 3. Damage characteristics of textiles according to temperature\_humidity condition at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. (A) Color difference, (B) Grey scale rating.

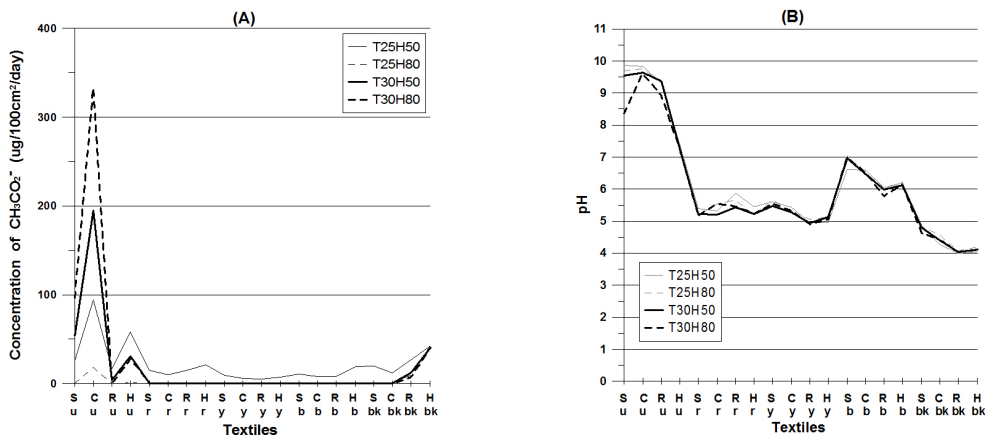


Figure 4. Damage characteristics of textiles according to temperature-humidity condition at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. (A) CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup> concentration, (B) pH.

미하였다(Figure 3B).

### 3.2.2. 화학적 손상도

#### 아세트산이온 농도

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따른 전통직물의 아세트산이온 농도( $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ )는 면\_무염색시편의 경우, 기본조건(25°C, 50%)대비 고온조건(30°C, 50%), 고온-고습조건(30°C, 80%)에서 아세트산이온 농도가 각각 195  $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ , 333  $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ 로 2.1배, 3.6배 증가하였다. 기타 시편에서는 온습도 조건에 따른 영향이 나타나지 않았다(Figure 4A).

#### pH

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따른 전통직물의 수소이온농도는 견\_무염색시편의 경우, 기본조건(25°C, 50%) 대비 고온-고습조건(30°C, 80%)에서 1.51의 감소변화가 나타났다. 기타 시편에서는 온습도 조건에 따른 영향이 나타나지 않았다(Figure 4B).

#### 작용기 분석

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따른 무염색시편(견, 면, 모시, 삼베)의 FT-IR을 분석한 결과, 열화로 확인되는 변화를 확인할 수 없었으며, 반응이 예상되었던 -CHO(2700~2900  $\text{cm}^{-1}$ ), -COOH(2900~3100  $\text{cm}^{-1}$ ) 작용기도 관찰되지 않아 반응여부를 확인할 수 없었다.

### 3.2.3. 물리적 손상도

#### 인장강도

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에서 온습도 조건에 따른 전통직물의 수소이온농도는 기본조건(25°C, 50%)대비 고습조건(25°C, 80%), 고온조건(30°C, 50%), 고온-고습조건(30°C, 80%) 모두에서 뚜렷한 증가, 감소 경향이 나타나지 않았다.

## 3.3. 열화직물의 손상도 평가 (Step 3)

### 3.3.1. 광학적 손상도

#### 색차

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 직물시편의 색차( $\Delta E^*_{ab}$ )는 노출전(Aging) 전체시편 1.83~34.97, 무염색시편 16.37~34.97, 천연염색시편 1.83~32.73으로 나타났으며, 노출후(Aging+CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm) 전체시편 1.81~34.80, 무염색시편 16.52~34.80, 천연염색시편 1.81~33.04로 나타났다. 가속열화 직물시편의 노출전·후 색차변화량은 전체시편 -0.91~0.40, 무염색시편 -0.91~0.15, 천연염색시편 -0.73~0.40으로 나타났다. 견\_무염색시편(-0.91), 모시\_흑색시편(-0.73)에서 다소 변화가 확인되었으며 기타 직물에서 색차변화는 0.4미만으로 미미한 것으로 확인되었다(Figure 5A).

#### 변퇴색등급

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 직

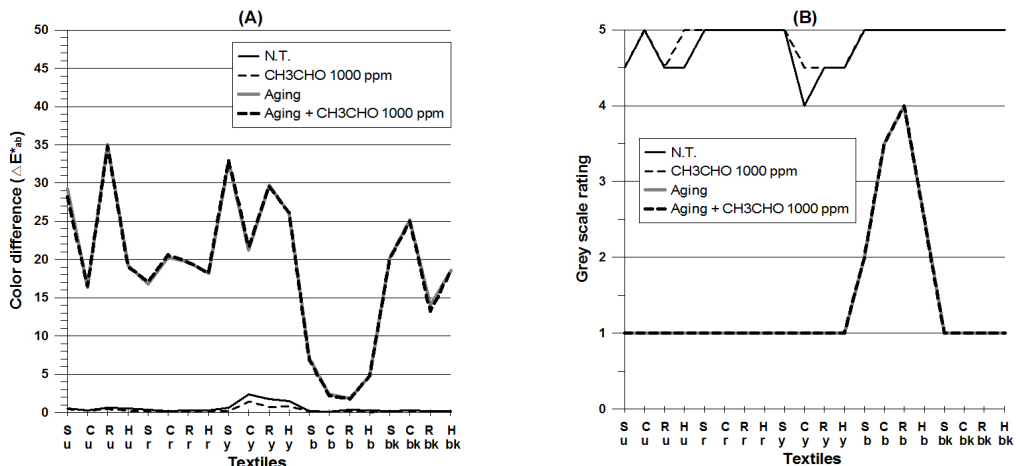


Figure 5. Damage characteristics of accelerated degradation textiles at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. (A) Color difference, (B) Grey scale rating. N.T.: Not treated.

물시편의 변색등급은 노출전·후 전체시편 4등급~1등급, 무염색시편 1등급, 천연염색시편 4등급~1등급으로 변화없이 동일하였다(Figure 5B).

3.3.2. 화학적 손상도

아세트산이온 농도

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 직

물시편의 아세트산이온 농도( $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2/\text{day}$ )는 노출전 (Aging) 전체시편 34 ~ 978, 무염색시편 100 ~ 408, 천연염색시편 34 ~ 978로 나타났으며, 노출후(Aging+CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm) 전체시편 38 ~ 903, 무염색시편 76 ~ 450, 천연염색시편 38 ~ 903 으로 나타났다. 노출전·후 아세트산이온 농도 차를 살펴보면, 노출후 삼베\_후색시편, 면\_후색시편은 각각  $\Delta 370$ ,  $\Delta 75$  증가하였고, 삼베\_무염색시편은  $\Delta$

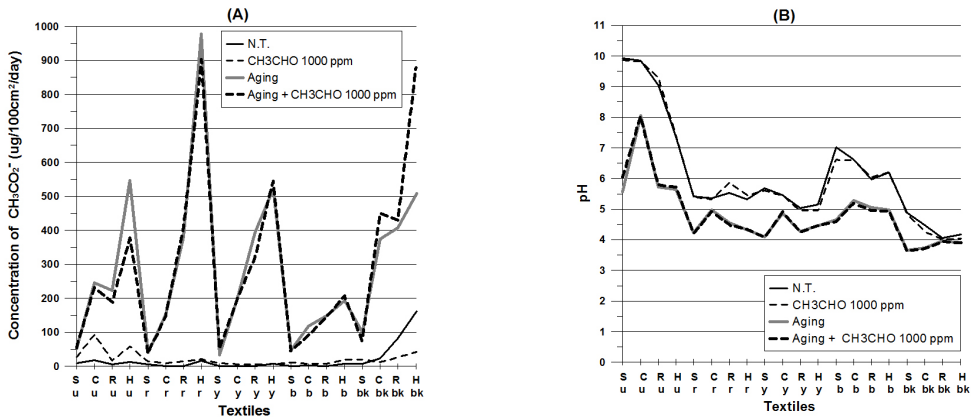


Figure 6. Damage characteristics of accelerated degradation textiles at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. (A) CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (B) pH. N.T.: Not treated.

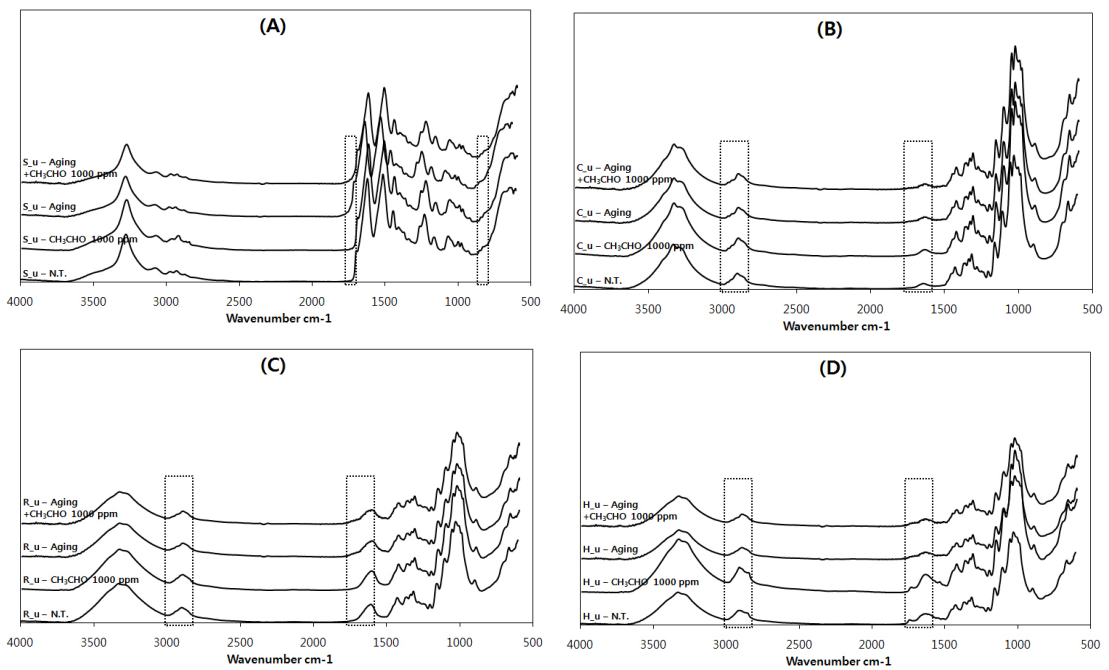


Figure 7. FT-IR results of accelerated degradation textiles at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. (A) Silk\_undyed, (B) Cotton\_undyed, (C) Ramie\_undyed, (D) Hemp\_undyed. N.T.: Not treated.



168의 감소가 뚜렷하였다. 기타시편들은 대체로 소폭 감소 경향을 보였다(Figure 6A).

#### pH

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 직물시편의 pH는 노출전(Aging) 전체시편 3.66~8.06, 무염색시편 5.57~8.06, 천연염색시편 3.66~5.29로 나타났으며, 노출후(Aging+CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm) 전체시편 3.64~8.03, 무염색시편 5.72~8.03, 천연염색시편 3.64~5.19로 나타났다. 노출전·후 pH 차를 살펴보면, 견\_무염색시편 Δ0.47 증가를 제외하면 기타시편들은 ΔpH가 -0.11~0.08로 미미하였다(Figure 6B).

#### 작용기 분석

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 무염색시편의 FT-IR 분석 결과, 노출전(Aging) 견\_무염색시편에서는 티로신그룹(800~865 cm<sup>-1</sup>)의 감소와 카르보닐그룹(1700~1775 cm<sup>-1</sup>)의 증가가 나타났고, 면, 모시, 삼베\_무염색시편에서는 메틸렌기(2820~3020 cm<sup>-1</sup>)의 감소와 카르보닐그룹(1580~1775 cm<sup>-1</sup>)의 증가를 확인할 수 있었다. 그러나 노출후(Aging+CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm) 무염색시편 모두에서 -CHO(2700~2900 cm<sup>-1</sup>), -COOH(2900~3100 cm<sup>-1</sup>) 작용기는 관찰되지 않아 아세트알데하이드에 의한 추가적인 열화 영향과 반응은 나타나지 않은 것으로 판단되었다(Figure 7).

#### 3.3.3. 물리적 손상도

##### 인장강도

손상농도(CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm)에 노출된 가속열화 직물시편의 인장강도(N)는 노출전(Aging) 전체시편 6~120, 무염색시편 19~89, 천연염색시편 6~120으로 나타났으며, 노출후(Aging+CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm) 전체시편 5~133, 무염색시편 17~118, 천연염색시편 5~133으로 나타났다. 노출전·후 인장강도 차를 살펴보면, 노출후 변화량(ΔN)이 전체시편 -6~30, 무염색시편 -3~30, 천연염색시편 -6~13으로 나타났다. 측정오차가 10 N임을 감안할 때, 노출후 삼베\_무염색(30), 삼베\_청색(13)에서 인장강도 증가가 나타났으나 이는 아세트알데하이드에 의한 영향보다는 시편재질, 개별시편별 인장강도 차로 판단되었다. 따라서 아세트알데하이드에 의한 인장강도 감소는 확인되지 않았다(Figure 8).

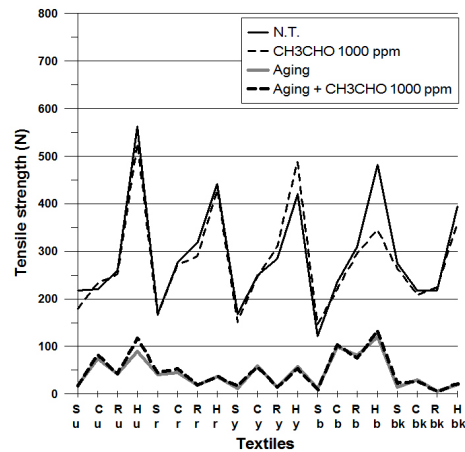


Figure 8. Tensile strength of accelerated degradation textiles at CH<sub>3</sub>CHO 1000 ppm. N.T.: Not treated.

## 4. 고찰

### 4.1. 아세트알데하이드의 농도 조건에 따른 전통직물 손상도 평가 (Step 1)

아세트알데하이드 농도 조건에 따른 재질 손상도 평가 결과, 색차에서는 1000 ppm/day 농도에서 면\_황색시편의 미세한 증가가 확인되었으며, 기타 직물시편에서는 색변화가 확인되지 않았다. 또한, 변퇴색등급, 아세트산이온 농도, pH, 작용기분석, 인장강도에서도 손상변화가 나타나지 않았다. 이러한 결과를 통해 아세트알데하이드가 일부 직물의 광학적 손상변화를 일으켰으나, 대체로 직물의 광학적, 화학적, 물리적 손상에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단되었다. 이는 습도가 50%로 아세트알데하이드에서 아세트산으로의 전환이 적어 아세트알데하이드 단독으로서의 직물재질 손상은 미약했던 것으로 판단된다. CH<sub>3</sub>CHO 농도 1000 ppm에서 면\_황색시편에서만 색차변화가 나타난 이유는 황색의 색소성분 크로신이 산성조건에서 색소가 파괴, 탈색된 점(Kim and Lee, 2003)과 선행연구(Kim et al., 2012; 2013)를 통해 황색시편 중 면이 견, 모시, 삼베 보다 산성조건에서 먼저 색변화를 보이는 점에서 설명할 수 있다.

### 4.2. 손상농도에서 온·습도 조건에 따른 영향 평가 (Step 2)

손상농도에서 온습도 조건에 따른 영향 평가 결과, 색

차에서는 황색시편들이 기본조건(25°C, 50%)대비 고습조건(25°C, 80%), 고온조건(30°C, 50%), 고온·고습조건(30°C, 80%)에서 증가 경향이 나타났다. 즉, 황색의 탈색이 가중되었으며, 그중 면\_황색시편의 색차 증가와 변퇴색등급 감소가 뚜렷하였다. 아세트산이온 농도에서는 면\_무염색시편이 기본조건 대비 고온조건, 고온·고습조건에서 각각 2.1배, 3.6배 증가하였고 pH의 경우, 견\_무염색시편에서만 기본조건 대비 고온·고습조건에서 1.51의 감소변화가 나타났다. 이러한 결과는 일부 시편이지만 고온·고습조건에서 색차, 변퇴색등급, 아세트산이온 농도, pH 변화가 확인되어 온습도 조건에 따라 직물시편은 광학적 손상, 화학적 손상까지 확대되는 것으로 나타났다. 면\_무염색시편의 아세트산이온 농도 증가, 견\_무염색시편의 pH 감소는 폼알데하이드에 의한 전통직물의 손상 특성과 동일하게 나타나 알데하이드류의 공통 손상특성으로 판단되었다(Kim *et al.*, 2014).

#### 4.3. 열화직물의 손상도 평가 (Step 3)

손상농도에 노출된 가속열화 직물시편의 손상도 평가 결과, 가속열화시편에 대한 아세트알데하이드의 손상변화는 색차, 변퇴색등급, pH, 작용기분석, 인장강도에서 뚜렷한 증감이 확인되지 않았다. 다만, 아세트산이온 농도는 흑색직물시편(H\_bk, C\_bk, R\_bk)에서 증가하였고, 기타 직물시편에서는 대체로 소폭 감소경향이 나타났다.

본 실험에서 가속열화+손상농도시편의 색차변화가 미미한 수준으로 나타난 이유는 가속열화를 통해 직물의 상당한 색 변화가 진행되었기 때문으로 판단되었다. 또한, 아세트알데하이드 노출시 열화직물 내 아세트산이온 추가 유입 및 농도 축적이 없었던 이유는 가속열화과정을 통해 내부적으로 증가한 점과 직물시편의 흡방습능력 상실 등 외부와의 반응력 감소로 판단되었다. 내부증가의 경우, 가속열화과정에서 경과시간별 시료내 Formate, Acetate 농도를 분석한 결과, 견시편은 대체로 포름산이온만 내부 발생하여 경과시간별 일정한 농도를 보였던 반면, 면, 모시, 삼베시편은 포름산이온과 아세트산이온이 동시 발생하여 증가하였으며, 열화과정 초기(1, 2주)엔 포름산이온 농도의 구성비가 아세트산이온 농도보다 높다가 열화과정 말기(3, 4주)에는 아세트산이온 농도의 구성비가 더 높은 것으로 설명할 수 있다. 특히, 삼베\_흑색시편을 포함한 흑색 직물시편의 아세트산이온 농도 증가는 흑색직물의 매염제로 쓰인 황산제일철7수화물의 철이온이 가속열화과정을

통해 산화철로 변하여 흑색직물 표면에서 아세트알데하이드 가스와의 높은 반응성을 가졌기 때문으로 판단되었다. 폼알데하이드가 열화직물에 대하여 표백, 탈색작용을 일으켰던 반면, 아세트알데하이드는 열화직물에 대하여 표백, 탈색작용이 나타나지 않았다.

## 5. 결론

1. 아세트알데하이드의 농도 조건에 따른 전통직물 손상도 평가를 통해 1000 ppm 농도에서 일부 직물시편(면\_황색)의 광학적 손상변화가 약하게 확인되었으나 화학적 손상변화, 물리적 손상변화는 나타나지 않았다. 전통직물에 대한 아세트알데하이드 손상농도는 1000 ppm/day 이상으로 잠정 도출하였다.

2. 손상농도에서 온습도 조건에 따른 전통직물 영향 평가를 통해 기본조건 대비 고습조건에서 색변화, 아세트산이온 농도, pH 변화가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 일부 직물시편에서 소폭의 색차증가, 변퇴색등급 감소, 아세트산이온 농도의 증가와 pH 감소가 확인되었으며, 기타시편에서는 온습도 조건에 따른 전통직물의 손상 가중, 감소 경향은 나타나지 않았다.

3. 열화직물의 손상도 평가를 통해 가속열화+손상농도시편에 대한 아세트알데하이드의 손상 영향은 광학적, 물리적 손상변화에서는 대체로 미미하거나 나타나지 않았으며, 화학적 손상 변화에 있어 일부 직물에서 아세트산이온 농도 변화가 확인되었다. 이러한 가속열화+손상농도시편은 손상농도시편과의 손상을 비교하였을 때, 전반적으로 손상농도시편 대비 광학적, 물리적 손상 변화는 상대적으로 더 적었으나 화학적 손상 변화는 더 증가하는 것으로 나타났다.

## REFERENCES

- Cha, Y.H., Lee, J.J., Lee, H.K. and Kim, S.D., 2005, The characteristics of aldehydes and TVOC emission from IAQ of new museum. Korean Society for Atmospheric Environment, Proceeding of the 39th Meeting of KOSAE, 174-175. (in Korean)
- 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.
- Fenech, A., Strlič, M., Cigić, I.K., Levart, A., Gibson, L.T., Bruin, G.D., Ntanos, K., Kolar, J. and Cassar, M., 2010, Volatile aldehydes in libraries and archives. *Atmospheric Environment*, 44, 2067-2073.
- Gibson, L.T. and Watt, C.M., 2010, Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments. *Corrosion Science*, 52, 172-178.
- Hatchfield, P., 2002, *Pollutants in the museum environment*. Archetype publications. London, 21.
- 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, I.K., Seo, Y.S. and Lee, J.H., 2009, Study on environmental factors for movable cultural properties in museum. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 31(9), 811-816. (in Korean with English abstract)
- Kim J.P. and Lee J.J., 2003, *Natural dyes in Korea*. Seoul National University Press, Seoul, 58-59. (in Korean)
- 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, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.N., Lim B.A., Shin, E.J. and Lee, S.M., 2012, Damage characteristics of Korean traditional textiles by sulfur dioxide. *Journal of Conservation Science*, 28(4), 321-328. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.N., Lim B.A., Kim, S.J. and Lee, S.M., 2013, Damage characteristics of Korean traditional textiles by nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) concentrations. *Journal of Conservation Science*, 29(3), 197-207. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.N., Lim B.A. and Lee, S.M., 2014, Damage characteristics of Korean traditional textiles by formaldehyde. *Journal of Conservation Science*, 30(4), 353-364. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.D., 2002, Volatile organic compounds(vocs) and formaldehyde emit from building materials. *Journal of the KGBC*, 3, 16-20. (in Korean)
- Kim, Y.S., Roh, Y.M., Yoon, Y.H., Lee, C.M., Kim K.Y., Kim, J.C., Jeon, H.J. and Sim, I.S., 2007, A survey on characteristics of distribution for indoor air pollutants in museum environments. *Conservation Studies*, 28, 91-104. (in Korean with English abstract)
- Menart, E., Bruin, G.D. and Strlic, M., 2011, Dose-response functions for historic paper. *Polymer Degradation and Stability*, 96, 2029-2039.
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2007, Development of conservation system for protection of movable cultural properties. 170-173. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2008, Standard of analytical technology for conservation environment of movable cultural properties. 569-728. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2014, Evaluation on material damages of movable cultural properties caused by acetaldehyde. 76-88. (in Korean with English abstract)
- Nilsson, J., Vilaplana, F., Karlsson, S., Bjurman, J. and 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.
- 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.
- Tétreault, J., Dupont, A.-L., Begin, P. and Paris, S., 2013, The impact of volatile compounds released by papers on cellulose degradation in ambient hygrothermal conditions. *Polymer degradation and Stability*, 98, 1827-1837.