

종이 기록물의 대기 중 유해물질에 의한 가속 열화 특성 연구

박미선 · 정소윤 · 황지현¹ · 김형진[†] · 김신도²

접수일(2014년 8월 15일), 수정일(2014년 8월 22일), 채택일(2014년 8월 25일)

Study on Accelerated Aging Characteristics of Paper-Records by Air Pollutants

Mi-Seon Park, So-Yoon Jeong, Ji-Hyun Hwang¹, Hyoung-Jin Kim[†] and Shin-Do Kim²

Received August 15, 2014; Received in revised form August 22, 2014; Accepted August 25, 2014

ABSTRACT

Preventive conservation is one of most important issues in the field of conservation for paper-records. Many researchers have been studied environmental factors such as effects of humidity, temperature, biological attack and air pollutants. Air pollutants strongly associated with oxidative and hydrolytic degradation of cellulose. It is important to control air pollutants in storage environment to improve stabilities of conservation environment.

Four paper samples have been analyzed for their accelerated aging characteristics by air pollutants, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ozone, carbon monoxide. Physical and optical properties and weight molar masses(Mw) showed that interactions between air pollutants and paper sample. Nitrogen dioxide, ozone caused severe damage to cellulose in paper by hydrolytic and oxidative decompositions during aging.

Keywords: Accelerated aging, air pollutants, paper-record, environmental condition, long-term custody, storage environment

1. 서론

공공기록물관리법의 제정 및 개정, 대통령기록물관

리법의 제정 등에 따라 국가기록물의 대상 범위가 확대
되었고, 이로 인해 종이기록물의 보관량은 급속히 증
대되고 있다. 이에 향후 지속적으로 증가될 것으로 예

• 국민대학교 대학원 문화재보존학과 (Dept. of Conservation of Cultural Heritage, Kookmin University, Seoul, Korea)

1 국민대학교 대학원 임산생명공학과 (Dept. of Forest Products & Biotech., Kookmin University, Seoul, Korea)

2 서울시립대학교 환경공학과 (School of Environmental Engineering, The University of Seoul, Seoul, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: hyjikim@kookmin.ac.kr

측되는 종이기록물의 효율적 관리를 위한 전문 인력의 양성은 지속적으로 이루어지고 있지만, 종이기록물의 보관 환경 및 안정성에 대한 연구는 여전히 미비한 실정이다. 최근 들어 열화 인자를 사전에 차단하여 종이 기록물의 보존수명을 연장시킴으로써 보존 및 복원 처리를 최소화하는 예방적 보존 관리 방안에 대한 요구가 나날이 증가하고 있다.

공기 중 이산화황 및 이산화질소 등의 유해물질은 온도 및 습도 요인과 함께 종이기록물의 열화에 기여하는 환경적 요인으로서 보관환경에서 장기적인 종이 기록물의 열화를 유발할 수 있다는 점에서 예방적 보존의 대상으로 간주할 수 있다. 따라서 각국의 박물관, 미술관, 도서관, 기록관리소 등의 종이기록물 보관처에서는 전시 환경 및 보관 환경 내 공기 중 유해물질을 지속적으로 모니터링 하고 있으며 이러한 유해물질이 유발시키는 셀룰로오스 재질의 열화특성에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

가속열화는 장기간에 걸쳐 발생하는 자연적인 열화 특성을 빠른 시간 내에 모사하기 위한 것으로서 온도, 습도, 미생물, 유해가스 등 다양한 열화 인자들에 대상물들을 인위적으로 노출시키는 것이다. 본 연구에서는 급격한 산업화 및 지구환경 변화로 인한 NO₂, SO₂ 등과 같은 대기환경 변화에 따른 유해물질의 발생 증가에 따라 종이기록물의 열화 특성을 분석하기 위해 가속열화 시 온도와 습도 조건의 변화와 함께 대기 중 유해가스 농도에 의한 종이기록물의 열화 특성을 평가하고자 하였다. 공기 중 유해물질에 의한 종이기록물의 가속 열화 특성에 주로 영향을 미치는 인자에는 평가 범위 및 방법에 따라 가속 열화 챔버의 구성, 유해 물질의 종류 및 농도, 평가 대상 종이기록물의 종류 등이 있으며, 이와 같은 영향 인자들에 대한 체계적인 접근이 요구된다.

최근에는 특정 지중 및 특정 유해물질의 열화 특성에 접근했던 기존 연구에 비해 지중 및 유해물질을 다

양화하는 연구가 수행되었으며, 공기 중 유해물질에 의한 열화 연구의 대상 범위도 점차 확대되어 왔다. Arnold¹⁾는 미국재료시험협회(ASTM, The American Society for Testing Materials)에서 인쇄매체 및 서사 재료로 활용되는 종이의 열화에 대한 연구의 일환으로 광 및 오염물질에 의한 가속열화를 수행한 결과, 종이 기록물의 열화 특성이 종이의 원료, 표백 공정, 첨가제 등의 인자에 영향을 받는다는 결과를 보고한 바 있다. Jeong 등²⁾은 미량시료의 분자량 분석과 공기 중 산 농도에 의한 종이기록물의 열화와 보존 수명에 대한 연구 결과를 보고한 바 있다. 그러나 국내에서의 지중 및 공기 중 유해물질에 관한 연구는 제한적으로 이루어져 왔으며, 관련법에 의거한 유해물질과 종이기록물의 열화 특성 간의 상관관계에 대한 접근 역시 미진한 실정이다.

본 연구에서는 종이기록물에 대한 현재 공기 중 유해물질 기준이 적합한지를 검토하고 보다 효율적인 보관 환경 기준안을 마련하기 위해 공기 중 주요 유해물질들에 의한 종이기록물의 열화 특성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 국가기록원, 도서관 등 공공기관 내 종이 기록물의 구성 및 시대에 따른 기록물의 변화를 반영하여 한지, 산성인쇄용지, 중성지 등 3개 지종을 선별하고, 셀룰로오스의 열화 특성을 지시 자료로 활용하고자 여과지를 추가로 선별한 후, 공공기록물관리법의 관리 기준에 의거, 공기 중 주요 유해물질의 종류와 농도를 선정하여 가속 인공열화를 실시하고 열화 전후 물리적, 광학적 특성 등을 비교분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국가기관 등에서 제작 또는 보관 중인 근·현대 종이 기록물의 대표 지중으로 비목질계 섬유와 목질계 섬유

Table 1. Basic information of paper samples

Sample	Basis weight, g/m ²	Thickness, mm	pH, cold water extraction	Remarks
Hanji	54.88	0.11	6.27	Production
Acidic paper	68.66	0.11	4.50	Document
Printing paper	79.66	0.10	9.26	Commercial
Filter paper	123.35	0.26	6.77	Commercial

로 제조된 종이(산성지, 중성지)를 고려하여 3개 지종을 선정하였다.³⁾ 비목질계 섬유로 제조된 종이 시료로서 한지를 선정하였으며, 국내 전통수목 한지 공방에서 초지한 한지를 J 사로부터 분양 받았으며, 한지의 열화특성에 대한 기존 연구 결과를 고려하여 평량이 낮은 것을 사용하였다. 목질계 섬유로 제조된 종이 중 산성 인쇄용지는 현재 국내·외에서 인쇄용으로 생산되고 있는 제품이 없어, K 대학 박물관에서 소장하고 있던 1980년대 이전 서적 중 보관 상태가 양호한 서적을 분양받아 대상 시료로 사용하였다. 중성인쇄용지로서는 국내 H 사로부터 제조한 종이를 분양받아 사용하였다. 또한 셀룰로오스계 섬유의 열화 특성을 연구하기 위한 지시적 시료로 활용하고자 Whatman No.1 여과지를 대표 지종으로 사용하였다. 각각의 시료 특성을 Table 1에 나타냈다.

2.2 실험방법

2.2.1 주요 유해가스 물질에 의한 가속 인공열화

현재 국내의 서고 환경 기준인 공공기록물 관리에 관한 법률 시행령 제 60조 1항은 온도 및 습도, 그 외의 환경 인자인 SO₂, NO_x, O₃, HCHO, 미세먼지, CO, VOCs 등을 관리하도록 권고하고 있다. 현재의 국내 기준을 참고하여 공기 중 주요 유해물질로서 SO₂, NO₂, O₃, CO를 가속 열화 물질로 선정하였으며, 온도 및 습도는 서고 관리 기준인 20°C, RH 50%를 기준으로 설정하였다. 가속 열화 조건을 Table 2에 나타냈다.

2.2.2 물리적, 광학적, 화학적 특성 분석

공기 중 주요 유해물질에 의한 지종별 열화 특성을

분석하기 위해 열화 전후 종이의 물리적, 광학적, 화학적 특성 변화를 비교분석하였다. 종이의 물리적 특성으로 KS M ISO 5626에 의거 하중 1 kg에서의 내절도 (Tinus Olsen MIT-folding tester, USA)를 측정하였으며, KS M ISO 153561에 의거 zero-span 인장강도 (Pulmac zero-span tester, USA)를 측정하였다. 종이의 광학적 특성으로 KS M ISO 11476에 의거 분광분석기 (Lorentze-Wettre Elrepho spectrophotometer, Sweden)를 이용하여 색도(L*, a*, b*) 및 백색도를 측정하였다. 또한 KS M ISO 6588에 의거 열화 전후 종이 시료의 pH를 측정하였다.

2.2.3 GPC에 의한 분자량 분석

겔여과크로마토그래피(Gel permeation chromatography, GPC) 분석을 실시하여 열화 전후 종이 시료 내 셀룰로오스의 절대 분자량 함량을 측정하였다. GPC 분석은 Micro-destructive 방법으로 종이 시료의 분자량 함량을 정량하기 위해 5 mg 이하의 시료를 샘플링한 후 시료를 증류수에 activation 시킨 후 CCOA를 이용하여 라벨링 한 다음 9% LiCl/DMAc에 용해시켰다.²⁾

Table 3. Operating conditions of GPC analysis

Parameter	Value
Injection volume	100 μ m
Run time	45 min.
Columns	PL gel mixed AALS, 20 μ m (\times 4), 7.5 \times 300 mm
Flow rate	1.00 mL/min
Eluant	DMAc/LiCl (0.9%, w/v)

Table 2. Accelerated aging conditions by 4 type of air pollutants for 6 days

Sample name	Aging condition			Temp. °C	Remarks
	Aging gas	Conc., ppm	RH, %		
Control	-	-	-	-	
a	SO ₂	50			Type of air pollutants
b	CO	10,000	50	20	
c	O ₃	50			
d	NO ₂	50			
e	NO ₂	5	50	20	Concentration of NO ₂ and humidity, temperature
f	NO ₂	50	75	20	
g	NO ₂	50	75	30	
h	NO ₂	50	50	30	

GPC 분석은 GPC(Dionex DG-2410)에 Fluorescence detector(TSP FL2000)와 MALLS(Multiple-angle laser light scattering) detector(Wyatt Dawn DSP) 및 RI(Refractive index) detector(Shodex RI-71)를 부착시켜 용해된 샘플의 분석을 수행하였다. 분석 조건을 Table 3에 나타냈다.^{4,6)}

3. 결과 및 고찰

3.1 유해가스 가속 인공열화에 의한 물리적 특성 변화

종이의 주요 구성 성분인 셀룰로오스의 화학적 열화 시작에는 산촉매 가수분해, 산화분해, 가교결합 등이 있으며, 인공열화 시 종이는 가수분해 및 산화에 의한 셀룰로오스 섬유 분해에 기인하며 종이의 강도적 특성이 감소된다. 반대로 인공 열화에 의해 일시적인 강도 증가 현상이 발생되기도 하는데 이는 열화 시 발생된 분해산물들에 의해 셀룰로오스 섬유간 가교결합이 발생되는 것에 기인한다. 그러나 이러한 가교결합에 의한 강도 증가 현상은 일시적인 현상으로 종이의 유연성을 감소시켜 오히려 강성도(stiffness)와 취성(brittleness)의 증가를 유발하기도 한다.¹⁾ 본 논문에서는 지종별 초기값이 다르므로 각 지종별 열화특성을 비교평가하기 위해 각 시료의 열화 전 초기값을 기준으로 하여 열화 후 각 지종의 강도적 변화율을 환산하여 주었다.

주요 유해가스들에 의해 가속 열화된 종이 시료의

물리적 특성을 측정된 결과 중성인쇄용지, 산성인쇄용지, 여과지 등 3개 지종은 MD, CD의 변화 경향이 동일하게 나타났으나, 한지의 경우 방향에 따라 현저하게 다른 경향을 보여 발 평행방향과 발 직각 방향의 결과를 함께 제시하였다. Fig. 1(A)와 Fig. 2(A)에서 보는 바와 같이 SO₂, CO, O₃, NO₂ 가스 노출에 따라 각 지종의 인장강도 및 zero-span 인장강도 변화가 확인되었으며, 특히 NO₂ 가스노출 시의 변화가 가장 큰 것을 확인하였다. 따라서 농도, 온도 및 습도 조건을 변경하여 NO₂ 가스에 의한 가속열화를 실시한 후 각 조건에 따른 강도적 특성 변화를 비교 분석하였다(Fig. 1(B) 및 Fig. 2(B)).

Fig. 1은 유해 물질의 종류(A) 및 NO₂ 가스의 열화 조건(B)에 따른 종이 기록물의 인장지수 변화를 나타낸 결과이다. 유해 가스 및 지종에 따라 서로 다른 강도적 특성을 나타냈으며, 이중 SO₂ 가스에 의한 열화의 경우 발 직각방향의 한지 및 여과지를 제외하고 모두 증가되는 경향을 나타냈고, 이러한 결과는 CO 가스에 의한 열화에서도 유사한 특성을 나타냈다. 반면 O₃ 및 NO₂ 가스에 의한 열화에서는 발 평행방향의 한지를 제외하고 모두 감소하는 경향을 나타냈으며, 특히 유해 가스 중 NO₂가 종이의 열화에 가장 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과로서 종이 기록물의 재질 및 유해 가스의 종류에 따라 열화 거동은 서로 다른 특성을 지니는 것으로 판단할 수 있다. 특히 탄산칼슘이나 클레이와 같은 무기 충전제가 충전된 지종인 중성인쇄용지와 산성지의 경우 강도적 물성 변화에 보다 안정적

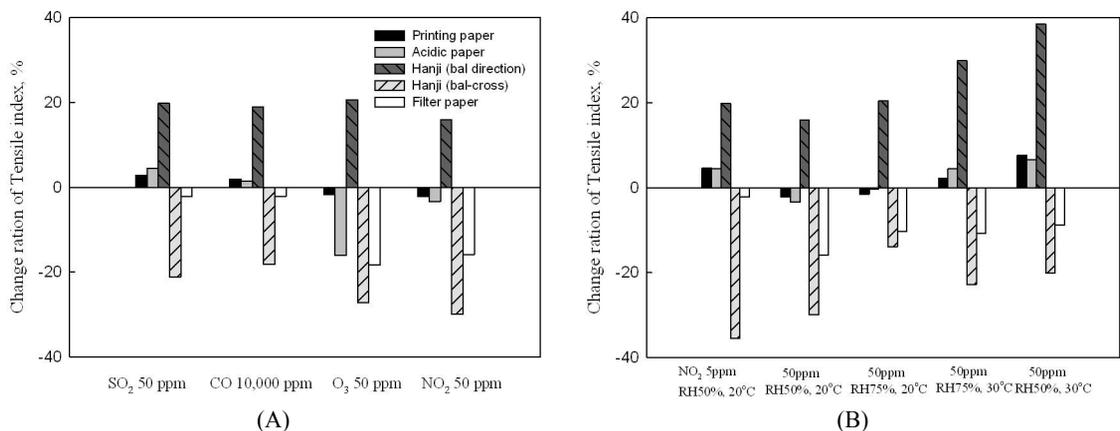


Fig. 1. Changes in tensile index of aged paper samples by air pollutants (A), and aging conditions of NO₂ (B).

인 특성을 나타냈다. 또한 NO₂ 가스에 의한 열화 조건 (Fig. B) 변경 시, 지종에 따라 차이는 있었으나 동일한 온도 조건에서 습도가 높은 경우 보다 동일한 습도 조건에서 온도가 높을 경우 열화에 의한 인장강도 변화가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 유해 물질의 종류(A)와 NO₂ 가스 열화 조건(B)에 따른 zero-span 인장지수 변화율을 나타낸 결과이다. SO₂ 가스에 의한 열화의 경우 발 직각방향의 한지 및 여과지 시료를 제외하고 모두 증가하는 것으로 나타났으며, CO 가스에 의한 열화의 경우에서도 유사한 경향이 나타났으나 증가폭은 상대적으로 낮았다. 또한 O₃ 가스에 의한 열화 시 산성인쇄용지에서는 약간 증가하였고 발 평행방향 한지에서도 증가하는 경향을 나타냈으며, 그 외의 지종에서는 모두 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 NO₂ 가스에 의한 열화 시 발 평행방향의 한지 시료를 제외하고는 모두 감소하였다. NO₂ 가스에 의한 열화 조건을 변경하였을 경우 온도 및 습도 변화에 따른 경향성은 없었으나, 종이기록물의 보관 조건에 근접한 상대습도 50%, 온도 20°C 조건에서는 한지의 발 평행방향 시료를 제외하고 모두 감소하였다. 또한 한지의 발 직각방향 및 여과지에서는 감소 비율이 가장 높게 나타났다.

3.2 유해가스 가속 인공열화에 의한 광학적 특성 변화

종이 셀룰로오스의 산화 및 가수분해 기작은 변색에 밀접한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 주요 유해 가스들에 의해 가속 인공 열화에 따른 종이의 변색 정

도를 평가하기 위해 백색도 및 색차(ΔE)분석 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타냈다.

먼저 유해 가스의 종류(A)와 NO₂ 가스 열화 조건(B)에 따른 색차(ΔE) 변화를 Fig. 3에 나타냈다. 유해 가스물질 중 O₃와 NO₂에 의해 발생하는 변색 정도는 SO₂ 및 CO에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 지종별 차이를 살펴보면, 순수 셀룰로오스만으로 구성된 여과지의 변색이 공기질과 상관없이 가장 낮은 변색 특성을 보였다. SO₂ 및 CO 가스에 의해 열화된 경우에는 한지, 산성인쇄용지, 중성인쇄용지 순으로 변색되어 한지의 변색이 가장 많이 발생되었으며, 반면에 O₃와 NO₂ 가스에 의해 열화된 경우에는 산성 및 중성인쇄용지의 변색이 한지보다 높게 나타났다. NO₂ 가스에 의한 가속 열화 조건을 변경했을 경우, 한지 및 여과지에서는 변색 정도가 높지 않았으나, 중성 인쇄용지 및 산성 인쇄용지에서는 온도 영향 보다는 상대습도 증가에 따른 변색 차이가 크게 나타났다.

Fig. 4는 유해 가스의 종류(A) 및 NO₂ 가스의 가속 열화 조건(B)에 의한 백색도 결과로서 NO₂, O₃, SO₂ 가스가 종이의 백색도 저하에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 NO₂ 가스에 의한 가속 열화 시 백색도는 더욱 급격하게 낮아졌다. 또한 산성 인쇄용지의 경우 NO₂ 가스 농도를 높여 가속 열화 하였을 경우 백색도 저하에 더욱 영향을 미쳤으며, 동시에 상대습도를 높여 가속 열화 하였을 경우 백색도 감소는 더욱 크게 나타났다. 반면 온도에 의한 백색도 변화는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 중성인쇄용지 및 한지에서도 유사한 변화 특성을 보였으나, 한지의

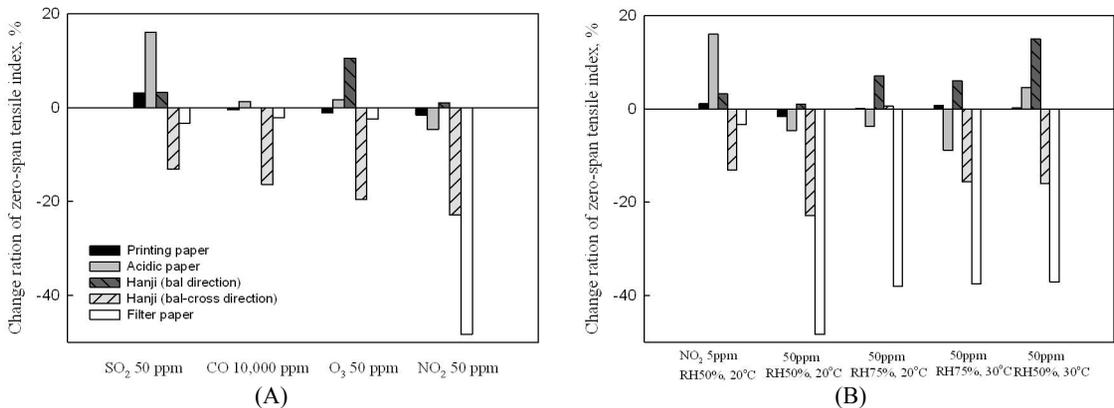


Fig. 2. Changes in zero-span tensile index of aged paper samples by types of air pollutant (A), and aging conditions of NO₂ (B).

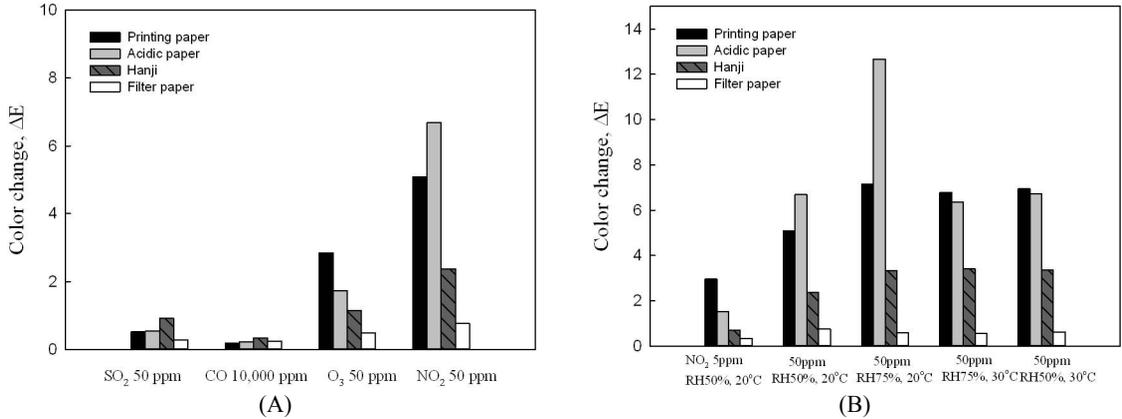


Fig. 3. Color changes of paper calculated from L^* , a^* , b^* values by air pollutants (A), and aging conditions of NO₂ (B).

경우 색차의 차이와 백색도 저하 폭이 상대적으로 낮았다. 종이 기록물을 구성하는 소재 및 제조공정 조건은 종이의 열화 거동에 영향⁷⁾하며, 천연 셀룰로오스로 제조된 여과지의 열화 영향과 비교하였을 경우, 색차 및 백색도 변화가 경시적이었음을 고려한다면 지중에 따른 변색 정도 및 백색도 감소율의 차이는 종이의 섬유 구성 인자와 공정 첨가제 등의 인자가 주로 열화에 기여하는 것으로 사료된다.

3.3 유해가스 가속 인공열화에 의한 종이의 pH 변화

종이의 주요 구성물질인 셀룰로오스가 가수분해 및 산화 거동에 의해 분해되면, 종이의 강도 저하와 동시에 산성 분해산물이 발생되어 pH 특성이 하락하는 것

으로 알려져 있다.²⁾ 가수분해는 셀룰로오스 분자구조의 말단기 혹은 분자구조 자체의 개열을 통해 furfural 등의 알데히드 분해산물을 발생시키며, 산화는 카르복실기 분해산물을 발생시킨다. 결과적으로 이러한 거동에 의해 종이는 산성화되어 pH가 감소된다.⁶⁾ 본 실험에서는 유해가스에 의해 가속 열화된 종이의 pH 변화를 측정하였으며, 유해 물질의 종류(A)와 NO₂ 가스 열화 조건(B)에 따른 pH 거동의 결과를 Fig. 5에 나타냈다.

Fig. 5(A)의 결과에서와 같이 CO를 제외한 SO₂, O₃, NO₂ 가스에 의한 가속 열화에 의해 종이의 pH는 모두 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 NO₂ 가스 열화 조건에 따른 거동(Fig. 5(B))을 살펴보면 NO₂ 가스농도 50 ppm, 20°C, 50% RH에서의 pH 감소가 가장 두드러졌

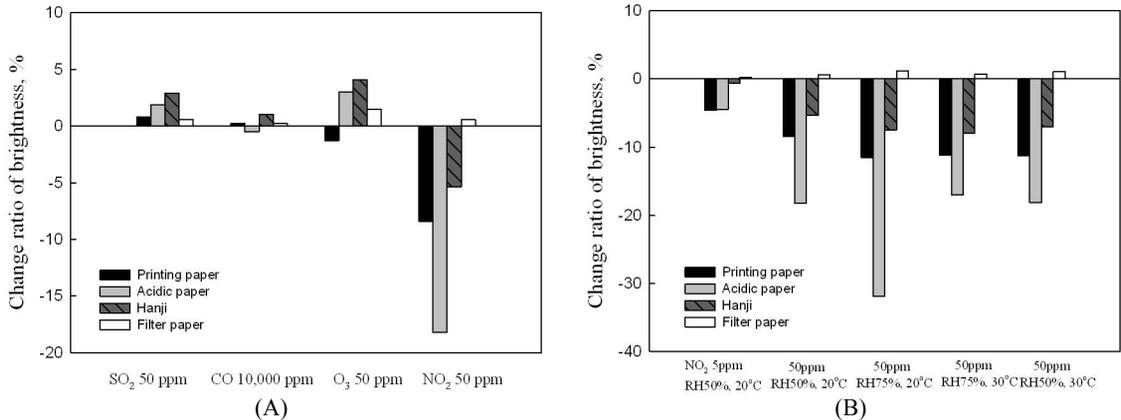


Fig. 4. Changes in brightness by air pollutants (A) and aging conditions of NO₂ (B).

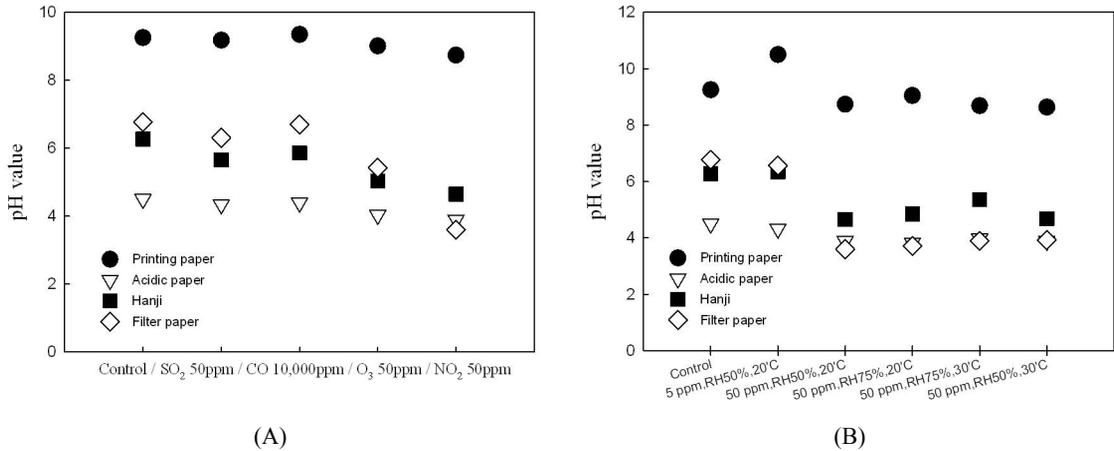


Fig. 5. Changes in pH value by air pollutants (A), and aging conditions of NO₂ (B).

다. 지종별 pH 변화 거동을 살펴보면 중성인쇄용지의 변화가 가장 낮게 나타났는데 이는 중성인쇄용지 내 충전된 탄산칼슘이 종이의 산화에 대한 완충제 역할을 한 것에 기인된 것으로 사료된다.

3.4 유해가스 가속 인공열화에 의한 분자량 변화

Table 4, 5는 가속 열화 시 유해가스의 공기질 및 지종에 따른 중량평균분자량(Mw) 변화율 결과이다. 유해가스 가속 열화 조건(Table 4)에서의 중량평균분자량 변화율은 산성 및 중성 인쇄용지의 경우 CO 가스 10,000 ppm 환경에서 가장 높았으며, 한지 및 여과지의 경우 NO₂ 가스 50 ppm 환경의 열화에서 가장 높은 결과를 나타냈다. 또한 지종별 변화율에서는 NO₂ 가스 50 ppm의 경우에는 한지, CO 가스 10,000 ppm의 경우에는 산성인쇄용지, O₃ 및 NO₂ 가스 50 ppm의 경우에는 여과지의 열화율이 가장 높게 나타났다. 유해가

스 종류 중 종이 기록물의 열화에 가장 큰 영향을 미치는 NO₂ 가스에 의한 분자량 변화(Table 5)에서는 중성 인쇄용지의 경우 분자량 감소 특성은 거의 나타나지 않았으나 여과지의 경우에는 높게 나타났다. 또한 NO₂ 가스의 가속 열화 환경 조건을 비교했을 경우 산성 인쇄용지, 한지, 여과지의 경우 이산화질소 함량이 높을수록 분자량 변화율이 높게 나타나는 것으로 판단되며, 온, 습도 조건은 지종에 따라 편차를 나타냈다.

이와 같은 결과로서 O₃ 가스 가속 열화 시에는 중성 인쇄용지, 산성인쇄용지, 한지의 분자량 감소폭은 10% 이내로 나타났으며, 여과지는 15% 정도 감소한 것으로 나타났다. 또한 NO₂ 50 ppm 환경 조건에서는 여과지의 분자량은 80% 정도 감소하였고, 그 외 지종에서의 감소율은 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 NO₂ 가스에 의한 가속 열화의 경우 농도 인자에 비해 온도와 습도 인자에 의한 영향은 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다. 지종에 따른 경향의 경우, 한지는 전반

Table 4. Changes in weight average molar masses(Mw) by air pollutant for 5 days (20 °C, RH 50%)

Aging condition (RH 50%, Temp. 20 °C)	Rate of change in Mw, %			
	Printing paper	Acidic paper	Hanji	Filter paper
Control	100	100	100	100
SO ₂ 50 ppm	97.60	107.24	96.90	98.80
CO 10,000 ppm	96.51	93.45	100.12	98.39
O ₃ 50 ppm	99.22	98.30	94.20	84.34
NO ₂ 50 ppm	101.79	94.91	93.20	19.00

Table 5. Changes in weight average molar masses(M_w) by aging conditions of NO_2 for 5 days

Aging condition conc. /temp. /RH	Rate of change in M_w , %			
	Printing paper	Acidic paper	Hanji	Filter paper
Control	100	100	100	100
5 / 20 / 50	100	100.59	104.63	98.53
50 / 20 / 50	103	94.91	93.20	19.00
50 / 20 / 75	102	85.93	88.58	22.52
50 / 30 / 75	97	95.11	86.99	24.24
50 / 30 / 50	101	101.07	96.84	24.90

적으로 여과지에 비해 분자량 감소에 안정적인 특성을 보였는데, 이는 순수 셀룰로오스 섬유 의 원료적 특성에서 기인한 것으로 사료되며 특히 목질계 셀룰로오스 섬유의 리그닌 함량이 종이의 열화 인자에 기인한다⁸⁾는 기존 연구 결과와 상관성이 있음을 확인하였다.

을 구성하는 지중에 따라 공기 중 유해가스에 의한 산화 및 가수분해 거동이 상이하게 작용하므로 향후 종이기록물의 보관환경 기준 설정은 유해가스에 의한 환경농도 등을 적극적으로 반영하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 종이기록물의 예방적 보존에 대한 연구의 일환으로 보관 환경 내 유해가스 물질에 따른 종이기록물의 열화 특성 변화를 추적하고자 하였다. 이를 위해 현재의 종이기록물 보관환경 기준에 의거하여 SO_2 , NO_2 , O_3 , CO 등의 유해가스 물질을 선정하여 중성인쇄용지, 산성인쇄용지, 한지, 여과지를 대상으로 가속 열화를 수행하였으며 가속 열화조건 및 지중에 따른 열화 특성을 분석하였다. NO_2 및 O_3 는 셀룰로오스계 섬유의 열화에 직접적으로 작용하며 궁극적으로 종이기록물의 손상에 영향을 미치는 인자로 나타났으며, 저농도 환경조건에서도 장시간 노출 시 종이기록물의 열화를 유발할 것으로 사료된다. 또한 NO_2 가스에 의한 환경조건에서는 가스 농도 및 온도, 습도 등에 의한 종이기록물의 손상정도가 다르게 나타났다. 또한 지중에 따라 열화 정도에 있어 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 분석에 사용한 지중에 따라 셀룰로오스계 섬유의 종류, 리그닌 함량, 무기 첨가제의 충전 등 종이의 열화 거동에 영향을 미치는 인자가 유해가스 환경 조건에 따른 열화 반응 정도에 서로 다르게 작용하였음을 확인할 수 있었다.

따라서 현재 연구 보존서고를 제외한 각 기록관 내 기록물 보존서고의 보관 환경은 온도 및 습도 조건을 우선적으로 고려하여 관리하고 있으나, 종이기록물

사 사

본 논문은 안전행정부 국가기록원 2013년 ‘공기 중 유해성분에 의한 종이기록물의 열화 특성 연구’(과제 번호 : 2013-NAK-4)의 일환으로 수행되었습니다.

Literature Cited

1. Arnold, R. B., ASTM/ISR Paper aging research program, The Abbey Newsletter 20(3):29-30 (1996).
2. Jeong, M. J., Bogolitsyna, A., Jo, B. M., Kang, K. Y., Rosenau, T., and Potthast, A., Deterioration of ancient Korean paper(Hanji), treated with beeswax, Carbohydrate Polymers 101:1249-1254 (2014).
3. Lee, G. B., Hyun, H.W., Jeong, H. S., and Park, S. Y., Fiber analysis collections 2009, The National Library, Seoul, Korea, pp. 27-108 (2009).
4. Röhring, J., Potthast, A., Rosenau, T., Lange, T., Ebner, G., Sixta, T., and Kosma, P., A novel method for the determination of carbonyl groups in cellulose by fluorescence labeling, Biomacromolecules 3:959-968 (2002).
5. Röhring, J., Potthast, A., Rosenau, T., Lange, T., Ebner, G., Sixta, T., and Kosma, P., A novel method for the determination of carbonyl groups in cellulose by fluorescence labeling 2, Biomacromolecules 3:969-975 (2002).

6. Röhring, J., Potthast, A., Rosenau, T., Borgards, A., Sixta, P., and Kosma, P., A novel method for the determination of carbonyl groups in celluloses by fluorescence labeling 3, *Biomacromolecules* 4:743-749 (2003).
7. Letnar, M. C., and Vodopivec, J., Influence of paper raw materials and technological conditions of paper manufacture on paper ageing, *Restaurator* 18:73-91 (1997).
8. Jeong, M.-J., Potthast, A., Ahn, K., and Kang, K.-Y., Evaluation of life expectancy for paper as acidic vapor concentration, *Proceedings of Korea TAPPI Spring Conference*, pp. 23-24 (2014).