안개 발생에 따른 문화재 표면의 색 변화 예측 연구

한예빈 | 박상현 | 유지아 | 정용재¹
한국전통문화대학교 문화유산융합대학원 수리복원학과

Study on the Prediction of Surface Color Change of Cultural Properties Materials by Fog Occurrence

Ye Bin Han | Sang Hyeon Park | Ji A Yu | Yong Jae Chung¹

Department of Heritage Conservation & Restoration, Graduate School of Convergence Cultural Heritage,
Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

¹Corresponding Author: iamchung@nuch.ac.kr, +82-41-830-7365

초록 안개는 매우 작은 물방울이 대기 중에 떠다니는 현상으로 주변의 온도, 습도, 바람, 지형 등에 따라 안개의 형태나 발생 여부 등이 달라진다. 특히 안개는 수분을 함유하는 수원(水源) 근처에서 온습도 차이로 인해 발생하기 쉬우며, 오늘날 기후 변화는 안개 발생에 더욱 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 다양한 기후요인 중 안개가 문화재에 미치는 영향을 알아보고자 각 재질에 대해 옥외폭로 및 인공열화를 실시하였으며 지속적인 안개 발생으로 인한 재질의 손상 정도를 예측하기 위해 색변화를 중심으로 회귀분석을 실시하였다. 금속 표준시편에 대한 옥외폭로 및 인공열화 결과, 표면 변화가 크게 발생하였으며 화건 및 단청류의 경우 표면상 열화된 모습은 관찰되었으나 색차의 경우 일정한 경향성은 확인되지 않았다. 안개 발생빈도에 따라 유의적인 색변화가 발생한 금속 표준시편을 대상으로 안개 발생빈도에 따른 색 변화 예측식을 작성하였으며, 실제 옥외폭로를 통한 색차값의 비교를 통해 색 변화 예측식의 적용 가능성을 확인하였다. 이를 바탕으로 향후 보다 종합적인 손상 예측식을 수립한다면 실제 현장에서 보존환경에 따른 재질의 손상도 예측이 가능할 것으로 기대된다.

중심어: 안개, 문화재 표면, 표면 변화, 손상예측

ABSTRACT Fog is atmospheric in which tiny drops of water vapor are suspended in the air near the ground. Its form, occurrence, etc., change according to the temperature, relative humidity, wind and geographical features of the space around it. In particular, fog tends to occur near a source of water because of temperature and relative humidity difference. These days, climate change is increasingly affecting the occurrence of fog. Therefore the purpose of this study was to investigate how fog affects materials that are part of our cultural properties through outdoor exposure tests and artificial degradation. The degradation evaluation of materials as a function of fog occurrence frequency, showed that the color of metals changed noticeably, whereas dyed silk and Dancheong showed degradation on the surface and color differences but no particular tendencies. Therefore, damage prediction by color differences as a function of fog occurrence frequency was based on metal samples, which showed constant color differences. Through a comparison of the predictive value and color difference by outdoor exposure, the accuracy and applicability of the damage prediction formula was confirmed.

If a more complex damage prediction formula is created, it is expected that prediction of the degree of material damage in the field would be possible.

Key Words: Fog, Surface of cultural heritage, Surface change, Damage prediction

1. 서 론

안개는 매우 작은 물방울이 대기 중에 떠다니는 현상으로 수평 시정이 1 km 미만인 경우를 말한다. 주변의 온도, 바람, 지형 등에 따라 안개의 형태 및 발생 여부 등이 변하게 된다. 특히 안개는 국지적인 기상현상으로 안개 발생 및 소멸 과정의 원인은 지역 특성에 따라 달라지며, 본래의 지역 특성뿐만 아니라 지형 및 환경변화는 안개 발생에 영향을 미치게 된다(Moon, 2013). 일반적으로 안개는 강수로 지면이나 대기 중에서 많은 증발이 발생하거나 냉기류가 온난한 수면 위를 지날 때 수면에서 강한 증발이 일어나는 경우와 같이 기온과 노점온도의 변화로 인해 발생하게 된다(Kim *et al.*, 2016). 이는 수분을 함유하는 수원(水源) 근처에서 온도 및 습도 차이로 인해 발생하기 쉬우며, 수원 근처 또는 안개 발생이 잦은 지역에 문화재가 위치할 경우 문화재는 안개에 직·간접적으로 노출된다. 안개로 인한 주변 환경의 변화, 특히 안개와 밀접한 관련이 있는 수분환경은 재질에 영향을 미치는 요인이 될 수 있다.

안개와 관련된 연구는 주로 안개 발생원인 및 특성 분석, 발생 예측 등 안개의 기상학적인 부분(Lee and Heo, 2003; Lee and Seo, 2011)에 중점을 두었으며, 안개와 문화재 간 상관관계에 대한 연구는 최근 산성 안개에 의한 석재의 손상 연구(Do *et al.*, 2015)가 수행되었을 뿐 안개가 문화재를 구성하는 재질에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 문화재를 구성하는 재질의 열화와 관련된 연구는 주로 지류나 섬유, 합성수지 등 대상으로 온도, 대기오염물질 등과 같은 환경조건에 따른 열화에 대해

이루어졌으며, 자연적 또는 인위적 열화에 대한 각각의 평가가 진행되었다(Gwak, 2008; Kim *et al.*, 2014; Jeong *et al.*, 2015). 그러나 이를 상호 비교하고 검증한 연구는 미흡한 단계로 특히 야외 환경에 노출된 문화재의 경우 보다 복합적인 환경요인에 대한 실질적인 연구가 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 문화재가 안개에 직·간접적으로 노출될 경우 안개 발생이 재질에 미치는 영향을 알아보고자 문화재를 구성하는 표준 재료를 선정하여 인공열화 및 옥외폭로를 실시하였다. 안개에 의한 재질의 표면 변화를 평가하였으며, 이를 바탕으로 안개 발생 빈도에 따른 재질의 색 변화 예측식을 작성하였다. 예측식을 통해 도출한 예측값과 실제 옥외폭로 결과를 비교함으로써 실제 안개 발생에 따른 재질의 색 변화를 예측하였으며, 표면 변화를 통한 재질의 열화 예측 가능성을 확인하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 연구 재료

표준시편으로는 금속류(구리, 철), 화견류(석록, 주사 및 연지), 단청류(석간주, 황토)를 각 2종씩 선정하였다. 금속시편의 경우 순수한 구리와 철 시편의 표면을 고르게 연마한 뒤 아세톤에 세척하여 사용하였다. 화견은 아교를 사용하여 광물성 및 식물성 안료를 견에 채색한 염색견을 사용하였으며, 단청류는 옥송 판재에 공업용 접착제와 혼합하여 채색하였다. 시편은 모두 동일한 크기(3 cm × 3 cm)로 제작하여 실험을 진행하였다.

Figure 1. Location of Sillesa temple and fog status around Sillesa temple.

2.2. 표준시편 열화

2.2.1. 옥외폭로

옥외폭로 대상지로 남한강 인근에 위치한 여주 신록사를 선정하였다. 여주 신록사는 남한강에서 약 100 m 거리에 위치하며, 목조문화재 및 석조문화재를 다수 보유하고 있다. 강변과 인접하여 평소 안개 발생이 잦은 지역으로 최근에는 지형변화로 인해 안개 발생 증가가 우려되고 있어 본 연구의 대상지로 선정하였다(Jeong *et al.*, 2016).

실제 안개 발생에 의한 시편의 열화정도를 평가하기 위해 신록사 내 수계(水界) 근처에서 옥외폭로를 실시하였다. 표준 시편은 백엽상 내부에 설치하여 안개 이외의 다른 환경 요인에 의한 영향을 최소화하였다(Figure 1). 2012년 9월부터 2014년 9월까지 약 2년간 옥외폭로를 진행하였으며, 옥외폭로 기간 동안 온습도, 현천 자료는 선행 연구 자

료를 참고하였다(Jeong *et al.*, 2016). 옥외에 폭로한 표준 시편은 1년마다 변화를 평가하였다. 옥외폭로의 대조군으로써 동일한 종류의 표준시편은 충남 부여 한국전통문화대학교 연구실 내부에서 보관 및 평가를 진행하였다.

2.2.2. 인공열화

옥외폭로와의 비교를 위한 실내 모의실험은 안개 발생 장치를 제작하여 표준시편의 인공열화를 실시하였다. 안개 발생 모의실험 장치는 대형 챔버 내에 초음파 분무기와 온풍기를 설치하였으며, 초음파 분무기를 통해 일정 시간 동안 수증기를 공급하고 이후 온풍기를 작동시켜 안개를 소산시키는 과정을 반복하였다(Figure 2). 모의실험의 환경 조건은 신록사 주변 기상환경과 유사하도록 제작하였다. 실제 신록사 주변의 환경 데이터를 활용하여 안개 발생 일수를 비교한 결과, 안개는 여름철에 가장 많이 발생한 것

Figure 2. Fog occurrence mimetic diagram(A: fog generator, B: hot blast heater, C: thermo-hygrometer, D: samples) and image of fog generation.

Table 1. Comparison of monthly and seasonal foggy day.

	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Total
'12~'13	18	12	9	24	7	10	10	17	16	25	20	-	168
'13~'14	16	17	21	15	12	18	11	5	24	13	20	13	172
Sep.~Nov.(Autumn)				Dec.~Feb.(Winter)			Mar.~May.(Spring)			Jun.~Aug.(Summer)			
'12~'13	30			40			37			61			
'13~'14	46			48			34			57			

Table 2. Environment condition(temperature, relative humidity) by fog occurrence.

		Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Fog occurrence day	Occurrence time (hours)
Summer	Jun.	15.92	88.97	16	45
	Jul.	22.99	93.43	25	97
	Aug.	23.74	92.78	20	92
Average		22.55	92.09	60	3.9

Table 3. Microscope observation of metal samples(x40).

Iron			Copper		
Outdoor exposure					
Before	1 year	2 years	Before	1 year	2 years

Artificial aging					
0 cycle	20 cycle	40 cycle	0 cycle	20 cycle	40 cycle

60 cycle	80 cycle	100 cycle	60 cycle	80 cycle	100 cycle

으로 확인됨에 따라 신록사 지역의 여름철 환경(온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $93 \pm 2\%$) 범위로 설정하였다(Jeong *et al.*, 2016). 안개 발생 1회(cycle)는 여름철 평균 안개 지속시간(3.9시간)을 바탕으로 ‘안개 발생 및 지속(4시간) - 안개 소산(3시간)’으로 고정하였으며, 모의실험을 통한 안개 발생 1회를 실제 야외 환경에서의 1일로 가정하였다(Table 1, 2). 안개 발생 모의실험은 총 100회 실시하였으며, 실내 모의실험 시편은 옥외폭로 시편과 동일하게 적용하였다.

2.3. 표면 변화 평가

안개 발생에 따른 각 시편의 표면 변화를 관찰하고자 영상현미경(AHBS3, Olympus, Japan)을 사용하여 육안 및 표면관찰을 실시하였으며, 표면의 색 변화를 비교하기 위해 분광측색계(BYK, A-6800, USA)로 색도 측정을 진행하였다. 각 시편의 평가 주기는 옥외폭로의 경우 1년마다 측정하여 총 2년간 열화를 평가하였으며, 실내 모의실험은 안개 발생 10회마다 측정하여, 총 100회 동안 변화양상을 확인하였다.

2.4. 색 변화 예측식 작성 및 교차검증

실내 모의실험을 통해 안개 발생 10회마다 측정된 표준

시편의 색도값을 바탕으로 안개 발생일수에 따른 재질의 표면 색 변화 예측식을 작성하였다. 표준시편 중 색 변화 경향성이 확인된 재질을 선정하였으며, 통계 프로그램(SPSS, IBM)을 사용하여 로그-곡선추정 회귀분석을 실시하였다. 정립된 색 변화 예측식을 통해 안개 발생 빈도에 따른 색 변화 예측값을 도출하였으며, 현장에서 옥외폭로를 실시한 시편의 결과와 비교 분석하여 예측식의 교차 검증을 진행하였다.

3. 연구결과

3.1. 표면 변화 관찰

3.1.1. 금속 시편

현장의 옥외폭로 및 실내 모의실험에 따른 시편의 표면 변화 관찰 결과, 금속 시편은 시간이 경과함에 따라 부식 정도가 증가하였다. 인공열화의 경우 안개 발생 20회까지는 눈에 띄는 변화가 없으나 60회부터 부분적으로 표면의 부식이 관찰되었다.

철은 옥외폭로를 통해 붉은색 부식화합물이 표면을 덮는 형태의 열화가 발생하였다. 인공열화에서는 60회 이후에서 부분적으로 부식물이 관찰되었으며, 80회 이후에는 부식된 모습이 확연히 나타났다. 그러나 옥외폭로와 인공

Table 4. Microscope observation of dyed silk samples(x40).

Seokrok			Jusa, Yeonji		
Outdoor exposure					
Before	1 year	2 years	Before	1 year	2 years

Artificial aging					
0 cycle	20 cycle	40 cycle	0 cycle	20 cycle	40 cycle

60 cycle	80 cycle	100 cycle	60 cycle	80 cycle	100 cycle

Table 5. Microscope observation of Dancheong samples(x40).

Seokganju			Hwangto		
Outdoor exposure					
Before	1 year	2 years	Before	1 year	2 years

Artificial aging					
0 cycle	20 cycle	40 cycle	0 cycle	20 cycle	40 cycle

60 cycle	80 cycle	100 cycle	60 cycle	80 cycle	100 cycle

열화 간 부식 양상에는 차이가 확인되었다.

구리는 옥외폭로의 경우 표면에 반점 형태의 부식이 발생하였으며, 열화 기간이 증가될수록 표면이 어둡게 나타났다. 인공열화의 경우 60회부터 육안상 부식이 관찰되었으며, 점차 부식 형태가 넓어지는 모습이 확인되었다. 구리

의 경우 자연열화 및 인공열화 시편에서 부식 양상이 유사한 것으로 보인다(Table 3).

3.1.2. 화건 시편

화건의 경우 옥외폭로 후 시편에서 안료가 박락되는 모

습이 관찰되었다. 석록은 부분적으로 안료의 박락이 발생한 반면 주사는 건 섬유 주변으로만 안료가 남아있는 모습이 확인되었다. 석록의 경우 주사 및 연지에 비하여 박락되는 정도가 적은 것으로 보아 상대적으로 안개 발생 환경에 안정한 것으로 보인다. 인공열화를 실시한 연지의 경우 안개 발생 40회부터 표면에서 오염물이 관찰되었으며 60회 이후로는 표면에 미생물이 발생함을 확인하였다(Table 4).

3.1.3. 단청 시편

단청 시편은 열화 조건에 관계없이 큰 변화 없는 것으로 나타났다. 현장열화의 경우 표면에 이물질이 증가할 뿐 특이적인 변화는 관찰되지 않았으며, 인공열화 시편 역시 안개 발생 증가에 따른 변화는 확인되지 않았다(Table 5).

3.2. 색차 변화

3.2.1. 옥외폭로

2년간의 옥외폭로를 통해 대조군 대비 수계 근처에 설치한 시편의 색상 변화가 매우 크게 발생하였다. 특히 금속 시편의 경우 색차 15이상으로 변색이 심하였으며, 구리의 경우 색차 30이상으로 가장 큰 변화를 보였다. 화건은 색차 12이상으로 확인한 차이가 발생하였으며 단청의 경우 황토는 색차 6이상으로 변색이 확인되었으나 석간주는 상대적으로 큰 변화 없는 것으로 나타났다.

열화 기간에 따른 색차 비교 결과, 열화 2년차에 비하여 열화 1년차에 눈에 띄는 변화가 발생하였다. 이러한 경향은 황토를 제외한 모든 시편에서 확인되었으며, 특히 열화 1년차에 색차가 최소 2 ~ 최대 30으로 높게 측정됨에 따라 초기 열화가 빠르게 진행되는 것으로 보인다(Figure 3).

3.2.2. 인공열화

안개 발생빈도에 따른 각 재질별 색도 변화 결과, 금속 시편에서 뚜렷한 변화가 확인되었다. 철은 안개 발생 30회부터 감지할 수준($\Delta E = 3.0 \sim$)의 색변화가 확인되었으며, 안개 발생빈도가 증가할수록 색차는 지속적으로 증가하였다. 그러나 색차 그래프의 기울기는 감소하는 것으로 보아 색 변화량은 점차 줄어드는 것으로 판단된다(Figure 4A). 구리의 경우, 안개 발생 20회 이후 색차 12이상으로 색변화가 매우 크게 발생하였으며, 안개 발생빈도가 증가할수록 지속적으로 증가하였다. 철과 유사하게 100회까지 색차는 증가하되 색 변화량은 감소하여 초기에 색 변화가 큰 것을 확인하였다(Figure 4B).

화건 시편은 전반적으로 눈에 띄는 정도($\Delta E \approx 3.0$)에서 변동이 나타났으나 안개 발생빈도에 따른 일정한 경향성은 나타나지 않았다(Figure 4C, 4D).

단청 시편은 색차 1이하로 안료의 종류에 관계없이 안개 발생에 따른 표면의 색 변화는 미미한 것으로 판단된다(Figure 4E, 4F).

Figure 3. Color difference of samples by outdoor exposure.

Figure 4. Color difference of samples by artificial degradation.

Figure 5. Prediction formula of color difference by fog occurrence frequency.

Table 6. Comparison with the outdoor degradation and prediction value(left: Iron, right: Copper).

Fog (times)	Degradation		Prediction value
	Outdoor	Artificial	
10		1.43	1.05
20		1.76	3.29
30		4.85	4.61
40		6.48	5.54
50		6.56	6.26
60		7.29	6.85
70		7.29	7.35
80		8.41	7.79
90		7.57	8.17
100		7.84	8.51
120			9.10
140			9.60
168	15.23		10.19
200			10.75

Fog (times)	Degradation		Prediction value
	Outdoor	Artificial	
10		9.65	9.95
20		14.38	15.14
30		18.94	18.18
40		21.22	20.33
50		22.99	22.01
60		23.27	23.38
70		23.81	24.53
80		24.87	25.53
90		26.69	26.41
100		26.92	27.20
120			28.57
140			29.72
168	32.14		31.09
200			32.40

3.3. 인공열화를 통한 색 변화 예측

3.3.1. 색 변화 예측식 작성

실내 모의실험을 통해 색 변화 경향성이 관찰된 금속 시편을 대상으로 안개 발생빈도에 따른 색 변화 예측식을 작성하였다. SPSS 통계 프로그램을 사용하여 회귀분석을 실시한 결과, 금속 시편의 색 변화 예측식은 다음과 같이 확인되었다(Figure 5). 도출된 예측식과 금속 시편의 실제 색 변화 양상은 전반적으로 유사한 모습을 보이며, 상대적으로 철보다 구리에서 예측식의 신뢰도가 더 높은 것으로 확인된다.

3.3.2. 색 변화 예측식의 교차검증

색 변화 예측식의 보다 정확한 평가를 위해 현장에서 옥외폭로한 시편의 색 변화와 예측식을 통한 예측값 사이의 교차검증을 실시하였다. 실제 안개 발생일수는 옥외폭로 기간 동안 급격한 열화속도를 보인 열화 1차년도 안개 발생일수를 적용하였으며, 앞선 조사 결과 약 168일로 확인되었다(Table 1).

도출된 색 변화 예측식에 실제 안개 발생일수 168일을 대입한 결과, 철의 경우 색 변화 예측값은 10.19, 자연열화된 시편의 색차값은 15.23으로 다소 차이가 발생하였다. 반면 구리는 예측값 31.09, 자연열화 색차값은 32.14로 예

측값이 유사 범위 내에서 확인됨에 따라 실제 열화값과 예측값 간 차이는 도출된 예측식의 신뢰도에 비례하는 것으로 나타났다(Table 6).

4. 고찰 및 결론

본 연구는 안개가 문화재에 미치는 영향을 알아보고자 안개 발생 환경에서 금속류, 화견류, 단청류 재료의 표면 변화를 관찰하였으며, 실제 현장에서의 옥외폭로와 실내 모의실험 결과를 비교함으로써 인공열화를 통한 금속류 표면의 손상 예측 가능성을 확인하였다.

재질별 표면 관찰 결과, 옥외폭로에서 더욱 극심한 열화가 발생하였으나 전반적으로 실제 환경에서의 자연열화와 안개 발생 모의실험 장치를 통한 인공열화 결과는 유사한 것으로 나타났다. 금속 시편은 안개 발생이 지속되면서 전체적으로 표면 부식이 발생하였으나 금속의 종류에 따라 발생하는 부식물의 형태가 다른 것을 확인하였다. 화견의 경우 안개가 발생함에 따라 표면이 오염되거나 안료가 박락되는 모습을 보였으며, 특히 광물성 안료를 사용한 석록에 비하여 식물성 안료를 사용한 연지 시편에서 표면 오염이 심하였다. 단청 시편은 안료의 종류에 관계없이 표면 변화는 미미하였다.

색차 측정 결과, 금속 시편의 경우 안개 발생일수가 증가할수록 표면 부식에 따른 색차가 지속적으로 증가한 반면 화전 시편은 뚜렷한 경향성을 확인할 수 없었다. 이는 안료의 박락, 미생물 생장 등으로 인해 표면에 불균일한 변화가 발생하여 색차의 변동이 큰 것으로 추정된다. 단청 시편은 옥외폭로 결과와 마찬가지로 거의 변화 없는 것으로 보아 안개 발생환경에서는 상대적으로 안정한 것으로 판단된다.

안개 발생에 따른 표면 관찰 결과를 바탕으로 표면 변화에 따른 색 변화 예측식을 수립하였다. 표준시편 중 금속류를 제외한 다른 시편에서는 일정한 경향성이 확인되지 않음에 따라 뚜렷한 변화가 관찰된 철과 구리 금속 시편만을 대상으로 색 변화 예측식을 작성하였다. 인공 열화에 따른 색차 결과를 바탕으로 색 변화 예측식을 도출하였으며, 이를 통해 안개 발생일수에 따른 표면의 색 변화 정도를 예측하였다. 실제 옥외폭로 기간 동안 발생한 안개 발생일수를 예측식에 대입한 결과, 야외에서 열화된 시편의 색차값과 예측식을 통한 예측값은 약 1~5 정도 차이가 발생하였으며 상대적으로 유사한 결과로 확인되었다. 특히 철에 비하여 구리의 예측식은 높은 신뢰도를 보였는데 이는 앞선 표면 관찰 결과에서 나타나듯이 시편 본래의 색상과 대비되는 적갈색 부식물이 형성된 철과 다르게 구리는 기존의 색상에서 점차 어두워지면서 열화가 진행되어 상대적으로 정확성이 높게 나타난 것으로 생각된다.

또한 인공열화에 비해 옥외폭로 시편에서 부식이 더욱 심하게 발생하였는데 이는 실제 안개에 의한 금속 표면의 부식이 수분뿐만 아니라 온도, 대기오염물질, 부유먼지, 강우빈도 및 산도 등 여러 요인에 영향(Kim *et al.*, 2000)을 받았기 때문인 것으로 생각된다. 특히 대기 오염물질이 안개 입자에 유입되거나 안개 물방울과 반응을 일으켜 다른 특성을 지닌 안개가 발생함에 따라(Cho, 2007) 실제 옥외폭로 시편과 인공열화 시편 사이에 차이가 발생한 것으로 보인다. 더욱이 본 연구에서의 인공열화실험은 안개가 발생하는 수분환경만을 고려하여 진행된 것으로 향후 보다 복합적인 안개 발생 환경을 제공한다면 재질의 표면 변화 양상은 더욱 유사하게 발생하여 예측식의 정확도 역시 높아질 것으로 사료된다.

그동안 문화재 재질의 열화와 관련된 연구는 주로 온도 등 환경적 요소에 따른 자연열화 및 인공열화를 통한 열화원인 규명, 손상양상 평가 등이 진행되었을 뿐 이를 종합하여 비교, 검증한 연구는 미미하였다. 따라서 본 연구에서는 옥외폭로 및 인공열화를 병행하여 재질의 실제 열화상

태를 비교 평가하고 이에 따른 색 변화 예측식을 도출하였으며, 이를 통해 특정 지역의 안개 발생일수 변화에 따른 금속재질의 손상 예측 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 안개 발생에 따라 일정한 변화 양상을 보인 금속 재질에 한하여 색 변화 예측식을 도출한 것으로 향후 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 특히 재질 및 열화요인, 평가 방법 등을 다양하게 적용하여 보다 종합적인 손상 예측 연구를 수행한다면 실제 현장의 보존 환경변화에 따른 문화재의 손상도 예측이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산융복합연구(NRICH-1207-B18F)사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

REFERENCES

- Cho, J.H., 2007, A study on the relationship between fog and air pollution in the Seoul area(2000-2004). Master's thesis, Hanyang University, Seoul. (in Korean with English Abstract)
- Do, J.Y., Kim, S.W. and Jo, H.G., 2015, A study on deterioration of stone monuments by acid fog. Journal Miner Society Korea, 28(2), 135-145. (in Korean)
- Gwak, H.I., 2008, Life time prediction of acrylic resin for metal artifacts reinforcement. Master's thesis, Gyeongsang National University, Jinju. (in Korean with English Abstract)
- Jeong, S.Y., Jeon, S.Y., Baek, S.R., Jeong, H.S., Lee, J.H. and Kim, H.J., 2015, Studies on the accelerated aging characteristics of paper records by gaseous air pollutions. Journal of Korea TAPPI, 47(4), 151-159. (in Korean with English Abstract)
- Jeong, S.H., Kim, S.H., Han, Y.B., Lee, M.Y., Lee, H.J. and Chung, Y.J., 2016, Impact of a large water control on environment of surrounding cultural heritage. Journal of Conservation Science, 32(3), 395-402. (in Korean with English Abstract)
- Kim, H.D., Cho, C.B. and Seo, K.W., 2016, On the steam fog in the Gumi reservoir of Nakdong river. Journal of Environmental Science International, 25(1), 163. (in

- Korean with English Abstract)
- Kim, M.N., Lim, B.A. and Lee, S.Y., 2014, Damage characteristics of Korean traditional textiles by formaldehyde. *Journal of Conservation Science*, 30(4), 353-364. (in Korean with English Abstract)
- Kim, Y.S., Park, T.S., Moon, J.S., Lee, S.B. and Lee, Y.H., 2000, A study on the metals corrosion in air. *Proceeding of the 31st Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, 279-280. (in Korean)
- Lee, S.H. and Heo, I.H., 2003, The impact of the dam construction on the fog characteristics of its surrounding area. *Environmental Impact Assessment*, 12(2), 109-120. (in Korean)
- Lee, K.M. and Seo, M.S., 2011, A study on the characteristics of fog and development of prediction technique in the Chung-cheong area. *Journal of Climate Research*, 6(3), 200-218. (in Korean with English Abstract)
- Moon, S.H., 2013, A study on the change of fog frequency and duration hours in South Korea. *Journal of Climate Research*, 8(2), 93-104. (in Korean with English Abstract)
-