

# 문화재 전시 공간에 대한 활성탄의 습도 제어 및 유해가스 제거 효과 연구

강새롬 | 최유리\* | 강대일<sup>1</sup>

한국전통문화대학교 기술과학대학 보존과학과, \*한국전통문화대학교 문화유산융합대학원 수리복원학과

## The Effects of Humidity Control Capability and Removal Toxic Gases of Activated Carbon to the Display Environment of Cultural Properties

Sae Rom Kang | Yu Ri Choi\* | Dai Ill Kang<sup>1</sup>

Department of Conservation Science, colleague of science and technology, Korean National University of Cultural Heritage, Buyeo, 323-812, Korea

\*Department of Conservation & Restoration, Graduate School of Convergence Cultural Heritage, Korean National University of Cultural Heritage, Buyeo, 323-812, Korea

<sup>1</sup>Corresponding author : [conserva@nuch.ac.kr](mailto:conserva@nuch.ac.kr) +82-41-830-7382

**초록** 본 연구에서는 활성탄의 문화재 전시 환경에 대한 습도 및 유해물질 제어 능력을 확인하고자 하였다. 흡·방습 성능 실험 결과, 저습과정(RH 30→55→30%)에서는 박물관에서 주로 사용되는 Silica계 조습제에 비해 활성탄의 흡습량이 많은 반면 방습량은 적었다. 흡습속도는 활성탄이 Silica계 조습제에 비해 빠르고 방습속도는 Silica계 조습제가 빨랐다. 중습과정(RH 50→75→50%)에서는 활성탄에 비해 Silica계 조습제의 흡습량이 근소하게 많았으며 방습량은 비슷하게 나타났다. 흡·방습 속도는 활성탄의 흡습 속도가 Silica계 조습제에 비해 빠르고 방습속도는 큰 차이를 보이지 않았다. 유해물질 흡착 실험에서는 활성탄을 적용한 환경이 Silica계 조습제를 적용한 환경에 비해 Formaldehyde의 농도가 낮았다.

**중심어:** 조습제, 흡착제, 유해가스, 보존환경

**ABSTRACT** In this study, we are trying to verify humidity control capability of the exhibition environment of cultural property by measuring adsorption and desorption performance, the control ability of harmful substances by the adsorption experiments of harmful gases. In the experiment of adsorption and desorption performance, in the low humidity area, Artsorb desorbed overwhelmingly more than activated carbon whereas activated carbon absorbed more. Adsorption speed was faster slightly in Artsorb absorption speed was similar in both. In the middle humidity area, absorption by artsorb was slightly more and desorption was similar in both so characteristic of Artsorb didn't appear. Also, Adsorption speed was faster in activated carbon but in the process of desorption, the speed of Artsorb was faster. In adsorption experiment of harmful substances, the concentration in the environment with activated carbon was lower than one with Artsorb, but the difference appeared small. And as a result of observation of the difference in concentration due to adsorption of harmful gas by the change in the metal specimen, the most change was shown in lead specimen and the

color difference between the lead specimens of the activated carbon and Artsorb appeared greatly.

Key Words: Humidity controller, Adsorbent, poisonous gas, conservation environment

## 1. 서론

문화재의 열화는 문화재의 재질이나 주변 환경인자인 온도, 빛, 공기오염물질, 유물의 포장재 등 다양한 원인으로 발생한다. 그러므로 박물관 및 미술관에서 사용되는 전시케이스는 문화재를 수분, VOCs (휘발성유기화합물), 미세먼지, 포름알데하이드(Formaldehyde) 등과 같은 유해물질들로부터 보호하는 것과 동시에 보관, 전시하는 과정을 고려하여 제작하여야 한다. 즉 문화재를 전시하고 보관하는 환경에서는 문화재의 재질에 따라 적절한 온습도를 유지하고 주변 오염인자들로부터 본래의 형태를 유지시키는 것이 무엇보다 중요하다.

실내 공기 중에는 다양한 종류의 유해물질이 존재한다. 이중 포름알데하이드는 높은 반응성으로 인해 다양한 용도로 사용되고 있는데 현재 사용되고 있는 대부분의 목재접착제 뿐만 아니라 도장 및 도료 제조에도 사용된다. 또한 목재 수중에 의해서 포름알데하이드가 자연적으로 발생되고 있는 것으로 보고되고 있다(Baumann *et al.*, 2000). 이처럼 벽지, 카펫, 가구, 소파 등 각종 실내건축자재에서 발생할 수 있는 포름알데하이드는 높은 습도조건에서 구리, 납, 아연 등 금속을 부식시키는 것으로 연구된 바 있어(Kang, 2008) 전시공간에서 문화재의 재질에 적합한 습도를 유지함과 동시에 유해물질을 제어하기 위한 조치가 매우 중요하다.

현재 전시공간에 주로 사용되는 조습제는 Silicon dioxide, Lithium chloride를 주성분으로 하는 것으로 습도 제어를 주목적으로 한다. 그러나 활성탄은 야자껍질이나 나무 등을 탄화·활성화하여 만든 무정형 탄소가 주성분으로써, 수분 뿐만 아니라 오염물질을 흡착하는 성질이 있으며 특히 탄화수소 기체 및 유기화합물에 대한 친화력이 높다. 활성탄은 본래 공업 및 산업 분야에서 유해물질 흡착제로 사용되었으나 1960년대 박물관의 공기 정화 시스템에 사용된 이후 여러 분야에서 각광받기 시작했다. 이러한 활성탄의 특성은 건축분야에서 친환경적 건축재료로서 실내 기습 및 제습 성능이 연구된 바 있으며(Choi *et al.*, 2003) 실내의 습도조절에 있어서 그 성능이 연구된 바 있다(Yoo and Lee, 2002) 또한 현재까지의 연구에 의하면 활성탄은 다른 흡착물질보다도 효율이 높으며(Grosjean & Parmar, 1991),

유해물질 가운데서도 SOx, O3, 아세트산 등의 유기화합물의 제거 능력이 월등하다고 알려져 있다(Padfield, 1966; Cass, 1985; Cruz *et al.*, 2008). 국내 뿐만 아니라 일본에서도 활성탄의 습도 조절 성능을 이용한 관련 연구가 이루어졌는데 실내 마루에 활성탄을 설치하여 온도 및 상대습도의 변동을 연구한 결과 활성탄이 실내 습도 제어에 유효함을 밝힌 바 있다(Hironori *et al.*, 2005).

일반적으로 조습제는 ‘흡착’을 통해 습도를 제어한다. 따라서 본 실험은 이와 비슷한 기작을 가진 다른 ‘흡착제’를 적용했을 때 습도뿐만 아니라 유해물질 제거 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각하고 유기화합물에 대한 친화력이 높은 흡착제인 활성탄을 문화재 전시 환경에 적용했을 하여 활성탄의 문화재 전시 공간에 대한 적용 가능성을 탐색하고자 했다.

이에 따라 기존에 주로 사용되는 조습제와 활성탄의 습도 제어 효과를 비교하고 실내 건축자재에서 발생하여 문화재에 손상을 미칠 수 있는 포름알데하이드 제거 효과를 비교 연구하여 활성탄의 문화재 분야 적용 가능성을 알아 보았다. 습도 제어 능력을 평가하기 위해 흡·방습 실험을 실시하였으며 포름알데하이드 제거 능력을 평가하기 위해 흡착 실험을 실시했다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험재료

실험에 사용된 활성탄은 (주)한독카본의 상품으로, 공기 정화용 입상 활성탄이며 대조군으로는 박물관 등에서 널리 사용되는 Silica gel 계열의 조습제 Artsorb(이하 조습제A)를 선정하였다(Figure 1). 조습제A는 일정 환경에 두었을 때 상대습도 50%로 맞춰질 수 있도록 전처리된 것으로서 Bead type이며 각 실험 재료의 특성은 다음과 같다(Table 1).

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 흡·방습 실험

흡착제의 흡·방습량이 많을수록 일정 환경에서 습도를

**Table 1.** Characteristics of Activated Carbon and Adsorption Material.

Type	Activated carbon (Granular type)	Adsorption material (50% RH)
Particle size	4×8 mesh	1/16~3/16 inch
Component	Carbon	Silicon dioxide Lithium chloride



**Figure 1.** Pictures of Activated carbon and Adsorption material.

제어에 유리한 것으로 평가하였으며 흡·방습 속도가 흡착제 투입 시 습도 안정화 속도로 평가하였다. 본 실험 기준은 KS F 2611:2009(건축재료의 흡·방습성 시험방법-습도 응답법)를 적용하였다(KS F 2611, 2009).

평량병(30ml)에 조습제 A, 활성탄을 담아 일정한 높이와 표면적으로 만든 후(Figure 2) 항온항습기에 설치하고(Figure 3) 일정 습도에서 순응 상태(흡·방습 시 중량차 0.01% 미만)를 만든 후 질량을 측정하였다. 이후 습도 조건을 바꿔 12시간 유지한 상태에서 1시간 간격으로 질량을 측정하였다. 습도 조건은 증습 및 저습영역으로 나누어 실험하였으며(Table 2) 각 흡착제의 흡·방습량은 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{흡습량} = (\text{흡습 종료 후 흡착제 질량}) - (\text{순응 후 흡착제의 질량})$$

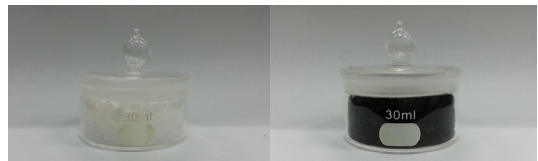
$$\text{방습량} = (\text{순응 후 흡착제의 질량}) - (\text{방습 종료 후 흡착제 질량})$$

### 2.2.2. 유해물질 흡착 실험

유해물질 방산 환경에 활성탄과 조습제 A를 투입 후, 대조군과 흡착제 적용 환경의 유해물질 농도를 각각 산출하여 흡착량을 비교하였다. 실험 방법은 국립산림과학원고시 제 2010-09호(데시케이터법에 의한 목질판상제품의 폼

**Table 2.** Experimental condition of water adsorption/desorption.

	Humidity for curing	Condition of humidity variation (Adsorption and desorption)
Middle-humidity area (50~75%)	50%	50% → 75% → 50%
Low-humidity area (30~55%)	30%	30% → 55% → 30%



**Figure 2.** Specimen in weighing bottle. (Adsorption material A, Activated carbon)



**Figure 3.** Specimen in the thermo-hygrostat.

알데하이드방출량 측정방법)를 준용하였으며 유해물질로는 전시 환경에서 많이 방산되는 포름알데하이드를 선정하였다.

각 데시케이터 내에 높이와 표면적이 같도록 한 활성탄과 조습제 A, 포름알데하이드 방산원 0.5ml, 증류수 300ml를 투입하고 흡착제를 투입하지 않은 환경을 대조군으로 제작하였으며, 36시간동안 증류수에 포름알데하이드가 포집되도록 하였다.

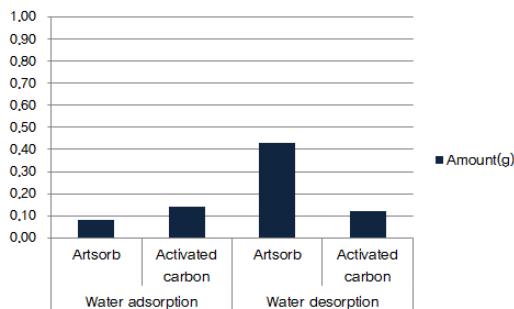
포름알데하이드가 포집된 증류수 1ml를 채취하여 호일로 차광한 glass vial에 넣고, 아세틸아세톤-초산암모늄 용액 1ml를 첨가하여 diacetyl dihydrolutidine (DDL)이 생성되도록 한다. 이를 열풍기(한성공업 열풍기 SMD-0.5)에서 65℃로 10분간 가열 후 20℃에서 1시간 동안 정치하였다. 한편 검량선 작성을 위해 3mg/L 농도의 포름알데하이드

**Table 3.** Water adsorption/desorption amount of each specimen per time in low-humidity area.

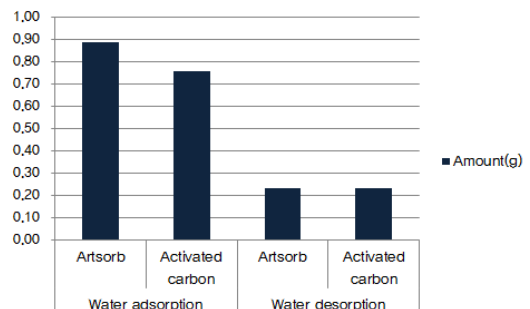
Time (h)	Water adsorption amount (g)		Water desorption amount (g)	
	Adsorption material A	Activated carbon	Adsorption material A	Activated carbon
	1	0.02	0.05	0.05
2	0.04	0.07	0.09	0.03
3	0.06	0.08	0.13	0.04
4	0.06	0.09	0.18	0.05
5	0.07	0.10	0.21	0.06
6	0.07	0.11	0.25	0.07
7	0.08	0.11	0.28	0.08
8	0.07	0.12	0.32	0.09
9	0.08	0.13	0.35	0.10
10	0.08	0.13	0.38	0.10
11	0.08	0.14	0.40	0.11
12	0.08	0.14	0.43	0.12

**Table 4.** Water adsorption/desorption amount of each specimen per time in middle-humidity area.

Time (h)	Water adsorption amount (g)		Water desorption amount (g)	
	Adsorption material A	Activated carbon	Adsorption material A	Activated carbon
	1	0.02	0.02	0.01
2	0.10	0.07	0.06	0.05
3	0.17	0.13	0.10	0.08
4	0.29	0.24	0.12	0.11
5	0.39	0.28	0.15	0.13
6	0.47	0.42	0.17	0.16
7	0.55	0.48	0.18	0.17
8	0.62	0.52	0.19	0.19
9	0.70	0.60	0.21	0.20
10	0.76	0.68	0.22	0.21
11	0.83	0.72	0.23	0.22
12	0.89	0.76	0.23	0.23



**Figure 4.** Graph of water adsorption/desorption amount of Adsorption material and activated carbon in low-humidity area



**Figure 5.** Graph of water adsorption/desorption amount of Adsorption material and activated carbon in middle-humidity area.

표준 용액을 만들고 0, 5, 10, 20, 50, 100ml를 채취 후 100ml 플라스크에 넣고 표시선까지 물로 희석했다. 각 희석 용액은 1ml씩 채취하여 위와 같이 전처리를 실시하였다.

만들어진 시료와 검정선 작성용 용액을 UV-Vis 분광광도계 셀에 넣고 412nm의 파장에서 DDL의 흡광도를 측정 한 후, 포름알데히드 농도를 산출하였다. 흡광도 측정은 UV-Vis 분광광도계(Infinite 200 Pro NanoQuant)를 사용 하였으며, 포름알데히드 농도는 다음 식에 따라 계산하였다.

$$G = f \times A_d \times 1800$$

(국립산림과학원고시 제 2010-09호의 수식 준용)

G : 시험편에서 발생한 폼알데하이드의 농도(mg/L)

f : 표준원액을 이용한 검량선의 기울기(mg/L)

A<sub>d</sub> : 데스케이터 결정접시에서 포집한 용액의 흡광도

### 3. 연구결과

#### 3.1. 흡·방습 실험

##### 3.1.1. 흡·방습량

저습 영역의 흡습과정(RH 30→55%)에서 조습제 A는 12시간 후 0.08g, 활성탄은 0.14g 증가하여 활성탄의 흡습

량이 많았다. 방습과정(RH 55→50%)에서는 조습제 A가 0.43g 활성탄이 0.12g 감소하여 조습제 A가 높은 방습량을 보였다(Table 3, Figure 4). 흡습 과정에서 활성탄이 우수하였으나 조습제 A가 상대습도 50%를 맞추도록 전처리 되었기 때문에 50% 전후의 습도에서 흡습이 이루어지지 않은 것으로 보인다. 또한 조습제 A의 방습량이 많은 것 역시 임의의 습도유지하기 위한 전처리로 인해 우수한 방습 성능을 보인 것으로 판단된다.

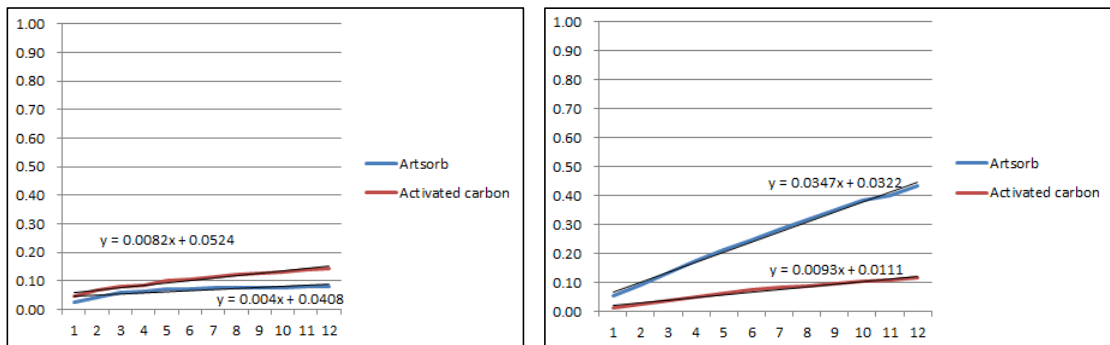
한편 중습 영역에서는 흡습과정(RH 50→75%)에서 조습제 A가 12시간 후 0.89g, 활성탄이 0.76g 증가하여 조습제 A가 흡습량이 더 많은 것으로 나타났다. 방습과정(RH 75→50%)에서는 조습제 A와 활성탄이 모두 0.23g으로 같았다(Table 4, Figure 5). 저습 영역과 달리 중습 영역에서는 조습제 A의 전처리 특성이 나타나지 않았다.

##### 3.1.2. 흡·방습 속도

경과시간에 따른 흡·방습량 그래프를 작성한 후 기울기를 산출하였다(Table 5). 저습 영역의 흡습 과정(RH 30→55%)에서는 기울기가 활성탄이 0.0078으로 0.0044인 조습제 A보다 활성탄의 흡습속도가 빨랐다. 그러나 방습 과정(RH 55→30%)에서는 활성탄이 0.0094, 조습제 A의 기울기가 0.0347로 조습제 A가 방습 속도가 비교적 빠른 것으로 나타났다(Figure 6).

**Table 5.** Slope of the graph in the change of water adsorption/desorption amount in low and middle-humidity area.

Slope	Low-humidity area (30~55% RH)				Middle-humidity area (50~75% RH)			
	water adsorption		water desorption		water adsorption		water desorption	
	Adsorption material A	Activated carbon	Adsorption material A	Activated carbon	Adsorption material A	Activated carbon	Adsorption material A	Activated carbon
	0.0040	0.0082	0.0347	0.0093	0.0807	0.0714	0.0196	0.0188



**Figure 6.** Graph in the change of water adsorption/desorption amount in low-humidity area.

반면 중습 영역의 흡습 과정(RH 50→75%)에서는 활성탄의 기울기가 0.0714, 조습제 A가 0.0807로 조습제 A가 활성탄보다 흡습 속도가 더 빨랐다. 반면, 방습 과정(RH 75→50%)에서는 활성탄과 조습제 A의 기울기가 각각 0.0188, 0.0196로 방습 속도는 조습제 A가 활성탄보다 빠르나 차이가 근소하다(Figure 7).

### 3.2. 유해물질 흡착 실험 결과

유해물질 흡착 실험 결과 DDL은 활성탄이 0.447mg/L, 조습제 A가 0.505mg/L로 약 0.06mg/L의 차이를 보인다. 검량선을 작성한 결과 기울기가 0.0115로 나타났는데, 이를 가지고 DDL 농도를 포름알데하이드 농도로 환산했을 때 활성탄이 9.247mg/L, 조습제 A가 10.443mg/L로 1.196 mg/L로 나타났다(Table 6).

## 4. 결론 및 고찰

본 연구는 활성탄의 문화재 전시환경에 대한 적용가능성을 알아보기 위해 기존에 주로 사용되는 Silica 계 조습제와 활성탄의 습도 제어 효과 및 포름알데하이드 제거 효

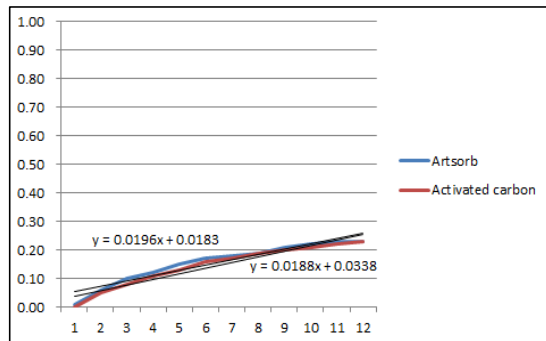
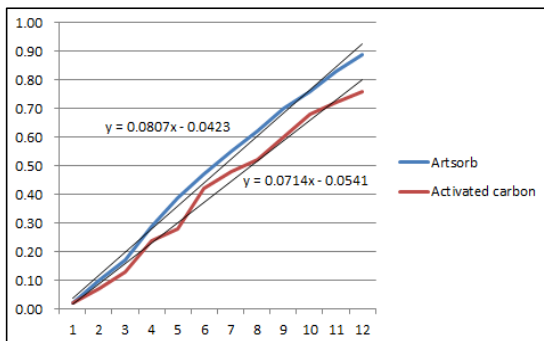
과를 비교 연구하였다. 흡·방습 성능 실험 결과, 저습과정(RH 30→55→30%)에서는 활성탄이 흡습량이 더 많은 반면 방습량은 Artsorb가 압도적으로 많았다. 이 경우 Artsorb가 상대습도 50%를 맞추도록 전처리되었기 때문에 50%에 근접한 습도 내에서 흡습의 필요가 없었던 것으로 해석할 수 있고, 활성탄의 경우 임의의 전 처리가 없기 때문에 위와 같은 특성이 나타나지 않았던 것으로 보인다. 한편 흡·방습 속도 역시 위와 같이 흡습 과정에서 활성탄의 흡습 속도가 빨랐지만 방습 과정에서는 Artsorb의 방습 속도가 더 빨랐다.

중습과정(RH 50→75→50%)에서는 Artsorb가 흡습량이 더 많으나 차이가 근소했고 방습량은 거의 비슷하게 나타나 Artsorb의 전처리 특성이 나타나지 않았다. 흡·방습 속도 역시 흡습 속도는 Artsorb가 근소하게 빨랐고 방습 속도는 비슷하였다.

유해물질 흡착 실험의 경우 활성탄을 적용한 환경이 Artsorb를 적용한 환경보다 농도가 낮긴 하나 활성탄의 흡착 능력이 선행 연구 결과(Lee, 2009)에 비해 미미하게 나타났다. 이는 Artsorb가 데시게이터 내 환경을 50% 습도로 제어하면서 포름알데하이드의 방산량이 낮아져, 활성탄 조건과의 농도 차이가 줄어든 것으로 해석할 수 있다.

**Table 6.** Concentration of DDL and formaldehyde by experimental conditions.

	Adsorption material A	Activated carbon	Comparison group
Concentration of DDL (mg/L)	1	0.500	0.702
	2	0.507	0.721
	3	0.507	0.717
	평균	0.505	0.714
	RSD(%)	0.675	0.726
Concentration of Formaldehyde (mg/L)	10.443	9.247	14.772



**Figure 7.** Graph in the change of water adsorption/desorption amount in middle-humidity area.

본 실험결과, 활성탄은 Artsrob에 비해 포름알데하이드 흡착 능력은 우수하나 습도 제어 능력이 부족한 것으로 나타나 현재 전시 환경 내에서 Artsrob를 대체하여 활성탄을 적용하는 것은 어려울 것으로 판단된다. 그러나 전시공간에서 문화재의 재질에 적합한 습도를 유지함과 동시에 유해물질을 제어하기 위한 조치가 매우 중요함을 생각해 볼 때, 일정한 환경 내에서 습도를 제어할 수 있도록 활성탄에 적합한 전 처리를 시행하여 습도제어 능력을 향상시킨다면 문화재 전시 공간 내에 적용 가능할 것으로 보인다.

활성탄의 물리적 성질은 원재료(수종) 및 탄화의 상태, 흡착력을 활성화시키기 위한 전 처리 방법에 따라 달라질 수 있다. 본 실험은 활성탄의 일반적인 성질을 문화재 분야 환경조절에 적용하기 위한 기초연구이므로 활성탄 종류에 따른 비표면적과 극성 등 물리적 성질을 결정짓는 요소는 고려하지 않았으며 향후 심화된 연구에서 활성탄의 종류에 따른 성능특성을 고려할 수 있다. 또한 본 연구는 활성탄을 실제 전시 환경에 적용했을 때 맞춰지는 습도와 그 소요 시간을 고려하지 못하였다는 한계를 가지므로 향후의 연구에서 습도 제어 평가 방법을 개선하고 포름알데하이드 외에 문화재에 영향을 미치는 다양한 종류의 유해물질을 대상으로 하는 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

## 사 사

본 연구는 2013 한국전통문화대학교 교원학술연구지원 사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

Baumann, M.G.D., Lorenz, L.L., Batterman, S.A. and Zhang, G.Z., 2000. Aldehyde emissions from particleboard and

medium density fiberboard products. For. Prod. J. vol.50 No.09, 75-82.

Cass, G. and California Institute of Technology, 1985, Protection of works of art from damage due to photochemical smog: Progress report through September, 1985.

Choi, W.K., Park, H.R. and Suh, S.J., 2003, A Fundamental Study for the Development of Building Materials Using the Charcoal. Journal of Architectural Institute of Korea Vol. 20. No.03, 185-192. (in Korean with English abstract)

Hironori T., Kouko K. and Tadashi H., 2005, Change of the temperature and humidity at the time of laying charcoal down to the floor of wooden construction framework housing. No.13, 23-29.

Kang D.I., 2008, The damage evaluation of metal objects due to the museum indoor air pollutions. Journal of the Korean Conservation Science for Cultural Properties 22. (in Korean)

KS F 2611:2009, Hygrothermal performance of building materials and products-Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation.

Lee D.Y., 2009, Analysis of Functional Characteristics of Wood Charcoals, Master theses, Chungbuk university(in Korean with English abstract)

Tim P., 1966, The Control of Relative Humidity and Air Pollution in Show-Cases and Picture Frames. Studies in Conservation, Vol. 11, No. 1.

Yoo, H.C. and Lee, Y.A., 2002, A study on the moisture characteristics of Earth-friendly building materials. Proceedings of the KSES 2002 International Symposium Papers, 229-234. (in Korean with English abstract)