

五  
年  
壬  
子  
春

如  
師  
十  
有  
六  
載  
之  
間

石  
遊  
今  
日  
到  
達

遊  
適  
也  
李  
子  
宜  
具

洪  
進  
裕  
亦  
知  
元  
金

祥  
弼  
洪  
魯  
李  
行  
曹  
希

皆  
而  
十  
三  
友  
魏  
大  
欵  
奉  
觀

박물관내 실내공기오염물질의  
분포 특성 실태조사

| 김윤신, 노영만, 윤영훈, 이철민, 김기연, 김종철,  
전형진, 심인숙

# 박물관내 실내공기오염물질의 분포 특성 실태조사

*A Survey on Characteristics of Distribution for Indoor Air Pollutants  
in Museum Environments*

김윤신<sup>1)</sup>, 노영만<sup>1)</sup>, 윤영훈<sup>1)</sup>, 이철민<sup>1)</sup>, 김기연<sup>1)</sup>, 김종철<sup>1)</sup>, 전형진<sup>1)</sup>, 심인숙<sup>1)</sup>  
Kim Yoon-shin, Roh Young-man, Yoon Young-hun, Lee Cheol-min,  
Kim Ki-yeon, Kim Jong-cheol, Jeon Hyoung-jin, Sim In-suk

## 〈ABSTRACT〉

The goal of this study was to provide basic data for arrangement of management in museum environment. We investigated characteristics of distribution on indoor air pollutants at exhibition halls and storages in museums between July and August, 2007. The monitoring carried out at three cultural sites, Pusan, Daejeon and Kyungjoo which is possessed their own exhibition hall and storage in Museums. We adopt the several pollutants for this survey such as PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub>, Formaldehyde, TBC, CO, NO<sub>2</sub>, Rn, VOCs, O<sub>3</sub> and followed the standard method of Ministry of Environment, Korea for sampling and analysis, respectively. The results of this survey revealed that average concentration of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in storages were 117.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 92.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The average concentration in storages of gases pollutants and microorganism such as CO<sub>2</sub>, Formaldehyde, NO<sub>2</sub>, Rn, TVOC, O<sub>3</sub>, and TBC showed as: 788.8ppm, 30.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0.4ppm, 6.4ppb, 1.3pCi/l, 1,374.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2.4ppb, and 119.4cfu/ $\text{m}^3$ , respectively. In addition, average concentration of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in exhibition halls were 49.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 56.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The average concentration in exhibition halls of gases pollutants and microorganism such as CO<sub>2</sub>, Formaldehyde, NO<sub>2</sub>, Rn, TVOC, O<sub>3</sub>, and TBC showed as: 475.2ppm, 94.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0.3ppm, 12.4ppb, 0.3pCi/l, 1,179.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5.2ppb, 2.4ppb, and 24.8cfu/ $\text{m}^3$ , respectively.

Key words : Museum, Indoor air quality, Indoor air pollutants, Conservation environment

1) 한양대학교 의과대학 산업의학교실(Hanyang University, College of Medicine, Occupational and Environmental Medicine)

## I. 서론

최근 들어 전 세계적으로 문화유산에 대한 발견과 보존에 대한 관심이 사회적으로나 경제적으로 중요하게 고려되고 있으며<sup>1)</sup>, 국내에서도 문화재의 보존 환경에 따른 손상영향의 파악 및 손상원인의 규명과 같은 문화재의 보존과학적 관점의 접근이 요구되고 있는 실정이다<sup>2)</sup>.

문화재의 보존과 관련된 연구는 본질적으로는 다르면서도 상호 연관된 두 가지 방향의 연구가 있다. 재료의 특성을 이해하기 위한 실험실 연구의 수행과<sup>3-4)</sup> 문화재들이 전시된 박물관, 미술관, 교회 등의 실내환경이나 쇼케이스 또는 수장 공간과 같은 미세환경에서의 물리·화학·생물학적 위해 요인을 평가하는 연구이다<sup>5-7)</sup>. 이 중 박물관과 같은 문화재 보존 시설에서의 위해 요인 평가 연구의 중요한 의미는 부적절한 온·습도 및 조명과 같은 물리적 요인과 다양한 화학 및 생물학적 공기오염물질에 의해 문화재들이 손상될 가능성이 있으며 고유의 보존 상태에 영향을 줄 수 있기 때문이다<sup>8)</sup>.

박물관에서 문화재 유물들에 손상을 주는 환경요인으로는 온도, 습도, 조도 등의 요인에 의한 것은 오래전부터 알려져 온 사실이지만, 최근에는 화학 및 생물학적 오염물질들의 부착 및 가스 등의 반응에 의한 손상문제가 심각하게 고려되고 있다<sup>9)</sup>. 특히, 온도 및 상대습도의 변동, 미생물의 대사활동 및 분비 그리고 가스상 및 입자상 물질들은 문화재의 손상에 중요한 요소로 작용할 수 있다<sup>10)</sup>. 즉, 이러한 환경적인 변화들이 결과적으로 문화재의 손상에 상당한 수준에서 직접적으로 관여한다고 할 수 있다<sup>11)</sup>.

이와 같은 이유에서 박물관의 실내환경은 자료를 가장 최적의 상태로 보관, 전시하여 보존에 가장 유리한 환경을 조성함과 동시에 이를 관람하는 사람들이 유물의 특성을 쾌적한 상태에서 쉽게 파악할 수 있는 환경을 조성해야 하지만<sup>12)</sup>, 자료의 보존·전시에 있어서 외부의 오염된 공기의 접촉을 피하기 위하여 다른 건물과 비교해서 개구부를 극단적으로 적게하여 밀폐도를 높게 되어 있어 내부에서 발생하는 오염물질에 의하여 실내공기의 오염이 심화되고 있으며 이에 의한 문화재의 손상이 심화되고 있는 실정이다<sup>13)</sup>.

이러한 실정에도 불구하고 실질적으로 박물관 등과 같이 문화재를 보관하는 보존 환경에 대한 능동적인 관리대책의 마련이나 법적인 근거의 마련이 미비한 실정에 머무르고 있으며, 특히, 박물관의 실내공기 수준을 평가함으로써 실내공기오염으로 인한 문화재 손상의 가능성을 평가하기 위한 연구는 부족한 실정이다. 또한 환경부에서 시행하고 있는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”에서 박물관을 포함시켜 유지 및 권고 기준치를 실내공기질 관리를 위하여 적용하고 있으나 이는 사람을 수용체로 하여 정한 기준으로 실제 박물관의 문화재를 보존하기에는 적합하지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 일부 지역의 박물관 및 기록물 보관소 등의 전시실과 수장고를 대상으로 다양한 실내공기오염물질의 오염 수준 및 분포 특성을 파악하여 제시함으로써 향후 문화재 관점에

서의 보존 환경 관리대책 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 오염물질

본 연구의 대상시설은 부산, 대전, 경주에 위치하고 있는 박물관 및 기록물 보관소를 대상으로 2007년 7월부터 8월까지 여름철 동안 실내공기질의 실태조사를 수행하였다. 실내환경 측정 장소는 박물관내 전시실과 수장고를 대상으로 하였으며, 실내공기 중 오염물질의 분포 특성의 비교자료 획득을 위하여 실외공기질의 평가를 병행하였다. 대상 오염물질은 환경부의 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”에서 제시하고 있는 10개 항목 중 석면을 제외한 미세먼지(PM<sub>10</sub>), CO<sub>2</sub>, Formaldehyde, 총부유세균, CO, NO<sub>2</sub>, Rn, VOCs, O<sub>3</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 분포 특성을 조사하였다.

### 2. 측정 및 분석방법

측정 및 분석방법은 환경부의 “실내공기질공정시험방법” 상의 주 시험방법을 이용하여 실시하였다. 조사방법을 요약하여 제시하면 다음과 같다.

Table 1. Target pollutants and sampling method for each pollutant

Pollutants	Sampling method
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	Mini volume air sampling method
CO <sub>2</sub>	Non-dispersive infrared method
Formaldehyde	2,4-DNPH, HPLC
TBC	Impaction method
CO	Non-dispersive infrared method
NO <sub>2</sub>	Chemiluminescent method
Rn	Continuous monitoring
VOCs	Tenax tube, TD-GC/MS
O <sub>3</sub>	U.V. photometric method

PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>는 소용량공기포집법인 Mini volume air sampler(PAS201, Airmetrics, USA)를 이용하여 24시간 측정 후 질량농도를 산출하였으며, CO<sub>2</sub>의 경우는 비분산적외선분석법(Testo445, USA)을 이용하여 조사를 실시하였다. Formaldehyde는 개인공기포집기(Gilian, USA)를 이용하여 주 시험방법인 2,4-DNPH 유도체화방법으로 측정한 후 HPLC(Younglin, Korea)를 이용하여 분석하였으며, TBC은 충돌법을 이용한 Oxoid air sampler(MAQSII, USA)에 BAP 배지(blood agar plate)를 장착하여 측정하였으며 배양 후 집락을 계산하여 정량적으로 평가하였다. CO의 측정은 비분산적외선법이 적용된 CO analyzer(API300, USA)를 이용하여 측정하였으며, NO<sub>2</sub>의 측정은 화학발광법을 이용한 NOx analyzer(API200, USA)를 이용하여 현장 측정하였다. VOCs은 고체흡착법으로 Tenax 튜브(Supelco, USA)를 이용하여 개인공기포집기(Gilian, USA)를 사용하여 포집하였으며, 분석은 Turbomatrix ATD(Perkinelmer, UK) 열탈착기와 가스크로마토그래피(GC-MSD, HP-6890, Agilent 5973 inert, USA)를 이용하여 분석하였다. O<sub>3</sub>의 측정은 자외선 광도법을 이용한 Ozone analyzer(API450, USA)를 이용하여 실시하였다.

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 박물관별 입자상 물질의 농도 분포

조사대상 박물관별 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 농도 조사 결과를 Table 2에 제시하였다. PM<sub>10</sub>의 경우 A 박물관의 실내공기 중 평균농도는 25.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , B 박물관은 78.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 그러나, C 박물관의 경우는 A와 B 박물관에 비하여 높은 수준인 184.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 이는 C 박물관의 경우 70여년 전에 건축된 건물로 바닥이 나무 마루로 이루어져 있으며 노후된 마루 바닥과 마루 틈새로부터 비산되어지는 먼지들의 영향으로 높은 PM<sub>10</sub>의 농도 분포를 보이고 있는 것으로 판단되어진다. 또한, C 박물관의 경우 다른 박물관에 비하여 단체관람 등 관람객의 수가 미세먼지의 농도 증가에 상대적으로 많은 영향을 기여한 것으로 보인다. PM<sub>2.5</sub>의 실내공기 중 평균농도는 A 박물관에서 33.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , B 박물관에서 87.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 각각 조사된 반면 PM<sub>10</sub>의 경우와 마찬가지로 C 박물관에서 129.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높은 농도 수준을 보이고 있는 것으로 조사되었다.

이정주 등(1996)의 선행연구에 따르면 국내 박물관의 전시실 내 총부유먼지(TSP)의 농도 범위가 31.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 63.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보이며 관람객의 수가 증가할수록 박물관의 전시실내 먼지 농도가 증가

하는 것으로 보고하고 있다. 본 연구의 경우 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 농도 분포를 조사하여 이 등의 결과와 농도 수준을 비교할 수 없으나 본 연구 결과 역시 관람객이 증가에 따른 입자상 물질의 농도가 증가함을 보여 박물관 내 전시실내 공기 중 먼지 농도는 관람객 수의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

Table 2. The concentrations measured of particle matters in each museum

Pollutant	Museum	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	I/O	p-value
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	A	4	25.9	15.0	7.2	43.1	0.5	0.08
	B	4	73.6	17.9	57.5	97.1	1.0	
	C	4	184.7	149.0	44.3	361.4	0.6	
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	A	4	33.9	8.7	25.8	44.4	0.5	0.15
	B	4	87.3	61.2	22.1	169.9	0.6	
	C	3	129.3	86.3	78.2	228.9	0.6	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value, I/O : Indoor concentration/Outdoor concentration ratio

## 2. 박물관별 가스상 물질의 농도 분포

Table 3에서 박물관의 실내공기 중 가스상 오염물질의 농도 분포를 제시하였다. 실내공기오염의 지표물질인 CO<sub>2</sub>의 평균 농도의 경우 A 박물관에서 612.0ppm, B 박물관에서 825.6ppm, C 박물관에서 548.1ppm으로 각각 조사되었다. Formaldehyde의 박물관 실내공기 중 평균농도는 A 박물관에서 70.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , C 박물관에서 76.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비슷한 농도 수준을 보인 반면 B 박물관에서는 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다소 낮은 농도 분포를 보이고 있는 것으로 조사되었다. Formaldehyde의 실내 발생원으로는 다양한 건축자재 및 접착제류로 알려져 있다. 박물관의 실내공기 중 Formaldehyde의 농도 수준을 평가한 선행연구인 차용호 등(2005)의 신축박물관내 Formaldehyde의 조사 결과 실내공기 중 농도 범위는 0.03ppm에서 0.05ppm으로 본 연구결과에 비해 높은 것으로 보고하고 있으나 이는 신축박물관을 대상으로 한 연구로 새로운 건축자재로부터 Formaldehyde의 방출량의 증가에 기인한 결과로 여겨진다. CO의 경우 A 박물관에서 0.3ppm, B 박물관에서 0.5ppm, C 박물관에서 0.2ppm으로 각각 조사되었다. NO<sub>2</sub>의 박물관 실내에서의 평균농도는 C 박물관에서 14.0ppb로 A 박물관의 2.2ppb, B 박물관의 7.0ppb보다 높은 농도 수준을 보이고 있다. 유럽 박물관의 실내공기 중의 NO<sub>2</sub> 농도 수준을 본 연구와 동일 기간인 여름동안 평가한 선행연구(Dario Camuffo et al., 2001)결과와 비교해보면 이탈리아의 Correr Museum에서 9.9ppb에서 11.5ppb로 본 연구와 비슷한 농도 수준을 보였으며

오스트리아의 Kunsthistorisches Museum의 실내공기 중 NO<sub>2</sub>의 농도 수준은 21.0ppb에서 44.8ppb로 본 연구에 비하여 높은 분포를 보이고 있었다. Rn의 경우 A 박물관에서 0.3pCi/l, B 박물관에서 2.3pCi/l, C 박물관에서 0.3pCi/l로 조사되었다. B 박물관에서 Rn이 높게 조사된 이유는 토양 기원 물질인 Rn이 지하에 위치하고 있는 수장고 등에서 높게 조사된 이유로 판단되어 진다. TVOC의 경우 A 박물관의 실내에서 1,891.4 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 가장 높은 농도를 보이고 있으며 B 박물관에서 1,442.7 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, C 박물관에서 794.6 $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 모두 높은 수준의 TVOC 분포를 보이고 있는 것으로 조

Table 3. The concentrations measured of gaseous pollutants in each museum

Pollutant	Museum	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	I/O	p-value
CO <sub>2</sub> (ppm)	A	6	612.0	270.7	426.0	1083.0	1.7	0.10
	B	11	825.6	567.2	387.0	1710.0	2.4	
	C	9	548.1	107.5	397.0	695.0	1.6	
HCHO ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	A	6	70.7	31.9	39.6	106.8	-	0.00
	B	12	25.7	17.8	7.0	73.2	11.6	
	C	10	76.0	35.5	36.1	130.3	-	
CO (ppm)	A	24	0.3	0.1	0.3	0.4	1.4	0.00
	B	48	0.5	0.1	0.3	0.6	1.4	
	C	48	0.2	0.1	0.1	0.4	1.3	
NO <sub>2</sub> (ppb)	A	24	2.2	0.4	1.6	2.9	0.4	0.00
	B	48	7.0	2.6	2.6	12.4	0.5	
	C	48	14.0	3.6	7.6	17.7	1.4	
Rn (pCi/l)	A	3	0.3	0.1	0.2	0.5	33.7	0.01
	B	3	2.3	1.3	1.1	3.6	23.3	
	C	4	0.3	0.1	0.2	0.5	1.3	
TVOC ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	A	6	1891.4	524.2	1357.0	2836.2	5.8	0.00
	B	11	1442.7	446.8	798.1	2216.1	7.8	
	C	10	794.6	207.4	506.6	1042.6	5.8	
O <sub>3</sub> (ppb)	A	24	0.9	0.7	0.1	1.8	0.0	0.00
	B	48	2.4	2.1	1.2	9.7	0.0	
	C	48	5.8	3.6	1.8	12.6	0.2	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value, I/O : Indoor concentration/Outdoor concentration ratio

사되었다. 차용호 등의 연구에서 제시한 박물관 실내공기 중의 TVOC의 농도 범위는 약  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서  $4,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보이고 있는 것으로 보고하였으나 이는 신축박물관을 대상으로 조사한 결과로 Formaldehyde와 같이 본 연구의 결과에 비하여 높은 농도를 보인 것으로 사료된다.  $\text{O}_3$ 의 경우 A 박물관에서 0.9ppb, B 박물관에서 2.4ppb, C 박물관에서 2.8ppb의 농도를 보이고 있었다. 이는 C 박물관의 경우 실내  $\text{O}_3$ 의 주요 발생원은 존재하는 것으로 조사되어 노후된 창 등을 통하여 외부 공기 중의  $\text{O}_3$ 이 실내로의 유입에 기인된 결과로 여겨진다.

### 3. 박물관별 미생물의 분포

Table 4에서 일반세균의 농도 수준을 제시하였다. B 박물관에서  $156.3\text{cfu}/\text{m}^3$ 으로 조사되어 A 박물관의 실내공기 중 평균농도인  $94.8\text{cfu}/\text{m}^3$ 과 C 박물관에서의 평균농도인  $12.6\text{cfu}/\text{m}^3$ 보다 높은 농도 분포를 보이고 있었다. B 박물관의 경우 지상에 위치하고 있던 A와 C 박물관에 비해 수장고가 모두 지하에 위치하고 있었으며 미생물 측정 당일 타 업무에 의하여 작업자가 현장에 위치하고 있던 것에 의한 영향이 일부 기여한 것으로 보인다. 그러나 미생물성 오염물질의 경우 공기 중의 농도보다는 실제 문화재에 영향을 줄 가능성이 있는 특성을 가진 미생물의 종을 분류하는 것이 더 중요한 것으로 향후 연구에 이루어지기를 기대한다. 또한 공기 중의 미생물뿐만 아니라 실제 문화재에 부착되어있는 부착세균에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Table 4. The concentrations measured of microorganism in each museum

Pollutant	Museum	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	I/O	p-value
TBC (cfu/m <sup>3</sup> )	A	6	94.8	46.7	43.0	180.0	2.2	0.02
	B	8	156.3	184.3	48.0	607.0	4.3	
	C	12	12.6	9.1	2.0	30.0	1.6	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value, I/O : Indoor concentration/Outdoor concentration ratio

### 4. 수장고와 전시실의 입자상 물질 농도 분포

수장고와 전시실에서 입자상 물질의 분포를 Table 5에 제시하였다.  $\text{PM}_{10}$ 의 경우 수장고에서 평균 농도가  $117.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 전시실에서  $49.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었다.  $\text{PM}_{2.5}$ 의 경우 또한 수장고에서  $92.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전시실의  $56.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 오염수준을 보이고 있다. 일반적으로 관람객의 출입이 허용되



는 전시실에서 입자상 물질의 오염도가 높을 것으로 여겨지나 본 연구의 결과 일부 수장고에서는 환기설비 자체가 존재하지 않았으며 바닥재가 노후된 마루 바닥으로 비산되어지는 먼지에 의한 영향도 기인한 것으로 보여진다. 또한 수장고의 특성상 출입이 제한되어지는 것에 의하여 먼지 제거 청소 등이 전시실에 비하여 잘 이루어지지 못하고 있는 실정으로 미세한 먼지일수록 전시실보다 수장고에서의 농도가 높게 분포하고 있는 것으로 여겨진다.

Table 5. The concentrations measured of particle matters in storage and exhibition halls

Pollutant	Site	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	p-value
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Storage	8	117.3	124.0	7.2	361.4	0.31
	Exhibition hall	4	49.5	21.3	30.6	79.9	
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Storage	7	92.6	78.2	22.1	228.9	0.40
	Exhibition hall	4	56.1	27.4	27.8	80.8	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value

수장고와 전시실의 실내공기 중 가스상 오염물질의 농도 수준을 Table 6에 제시하였다. CO<sub>2</sub>의 경우 수장고에서 788.8ppm, 전시실에서 475.2ppm으로 조사되었다. 전시실에서 CO<sub>2</sub>의 농도는 이정주 등의 연구 결과에서 제시된 332.3ppm에서 497.5ppm의 농도 수준과 비슷한 분포 특성을 보이고 있으나 수장고에서의 CO<sub>2</sub>의 농도는 321.0ppm에 비하여 높은 수준을 보이고 있었다. 이 결과는 두 개 박물관의 수장고는 소규모로 별도의 환기시설이 설치되어 있지 않았으며 출입문을 제외한 사방이 밀폐되어 있는 구조로 되어 있는 것에 기인한 것으로 판단되어진다. Formaldehyde의 경우에는 수장고의 실내에서 30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 전시실에서 94.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전시실에서 높은 농도 수준을 보이고 있다. 이 결과는 차용호 등의 연구에서 신축 박물관을 대상으로 한 Formaldehyde의 농도 수준인 0.05ppm에 비하여 낮은 수준을 보여 주고 있다. 그러나 전시실이 수장고에 비하여 높은 수준을 보인 이유는 전시를 위하여 사용되는 다양한 건축자재와 마감재 등으로부터 기인한 것으로 생각할 수 있다. Formaldehyde의 경우 포름산으로 변환 시 문화재의 변색 등 손상을 줄 수 있는 가능성이 존재하기 때문에 향후의 연구를 통하여 이에 대한 정확한 발생원의 규명이 요구되어 진다. CO의 경우 박물관 실내에 연소 등의 발생원이 존재하지 않고 있어 외부 공기의 유입에 의한 수준으로 생각할 수 있으며 수장고에서 0.4ppm, 전시실에서 0.3ppm으로 조사되었다. 이는 이정주 등의 연구에서 제시된 수장고 0.77ppm과 전시실의 0.48ppm에서 0.7ppm보다 약간 낮은 농도 수준을 보여주고 있다. 질소산화물의 경우 물과 결합하여 질산으로 변환 후 직물류의 강도를 저하시키거나 염료를 퇴색시키는 등의

피해를 줄 수 있는 물질로 박물관 실내공기 중의  $\text{NO}_2$ 의 관리가 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 수장고의 실내공기 중  $\text{NO}_2$ 의 평균농도는 6.4ppb, 전시실에서의 평균농도는 12.4ppb로 전시실에서 수장고에 비해 높은 수준을 보이고 있다. 이 수준은 D. Camuffo 등(2001)이 여름에 이탈리아의 박물관에서 측정된  $\text{NO}_2$ 의 농도 수준인 9.7ppb에서 16.2ppb의 분포와 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히, 이정주 등의 연구 결과 질소산화물이 전시실에서(16.16ppb~17.26ppb) 수장고(10.71ppb)보다 높은 수준을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 이는 수장고의 경우 질소산화물의 특정 발생원이 없으며 사람의 출입이 제한되어 환기효율이 극히 낮은 관계로 질소산화물과 같은 오염물질은 안정적인 수준을 보인다. Rn의 경우 수장고에서 1.3pCi/l, 전시실에서 0.3pCi/l로 각각 조사되었다. 토양 기원 물질인 Rn의 경우 B 박물관의 경우 모든 수장고가 지하에 위치하고 있었으며 벽, 천정 등 노후 및 일부 훼손된 시설에 의한 결과로 사료된다. TVOC의 경우 역시 수장고의 실내공기 중에서 1,374.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전시실의 평균농도인 1,179.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 수준을 보이고 있다. 이는 A 박물관의 수장고의 경우 벽 및 천정에 페인트 칠을 한지 짧은 기간내였으며 나무가구 등의 서가를 이용하고 있었다. 또한 환기시설이 없는 밀폐된 공간으로 방출된 휘발성유기화합물이 농축된 것으로 여겨진다. B 박물관의 수장고의 경우에는 층해방제를 위해 분사제를 일정시간 단위로 분사하고 있었는데 천연 추출물로 제조된 것이나 향후의 연구를 통하여 이와 같은 분사제 및 소독제 등에 의한 영향을 평가해야 할 것으로 사료된다. 차용호 등의 신축박물관을 대상으로 TVOC를 조사한 연구결과를 살펴보면 수장고에서 약 3,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 전시실에서 약 4,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 농도 수준을 보이고 있다. 이는 휘발성유기화합물의 경우 건물의 건축시기별로 방출되어지는 특성이 다름을 의미하며 향후의 연구를 통하여 이에 대한 규명이 요구되어진다.  $\text{O}_3$ 의 경우 수장고에서 2.4ppb, 전시실에서 5.2ppb로 각각 조사되었다.  $\text{O}_3$ 은  $\text{NO}_2$ 의 경우와 마찬가지로 일부 외부공기 유입에 의한 것으로 판단되며 이는 이정주 등의 연구결과에서 전시실에서 2.5ppb에서 3.46ppb, 수장고에서 0.77ppb로 조사된 것과 같이 비교적 시간에 따른 안정적인 농도 분포를 보이고 있다.

Table 6. The concentrations measured of gaseous pollutants in storage and exhibition halls

Pollutant	Site	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	p-value
CO <sub>2</sub> (ppm)	Storage	17	788.8	467.1	387.0	1710.0	0.06
	Exhibition hall	9	475.2	54.1	397.0	562.0	
HCHO (μg/m <sup>3</sup> )	Storage	18	30.7	16.1	7.0	73.2	0.00
	Exhibition hall	10	94.1	25.4	46.1	130.3	
CO (ppm)	Storage	72	0.4	0.2	0.1	0.6	0.00
	Exhibition hall	48	0.3	0.1	0.1	0.4	
NO <sub>2</sub> (ppb)	Storage	72	6.4	2.9	1.7	12.4	0.00
	Exhibition hall	48	12.4	6.1	1.6	17.7	
Rn (pCi/l)	Storage	6	1.3	1.4	0.2	3.6	0.19
	Exhibition hall	4	0.3	0.1	0.2	0.5	
TVOC (μg/m <sup>3</sup> )	Storage	17	1374.9	404.7	798.1	2216.1	0.41
	Exhibition hall	10	1179.1	800.8	506.6	2836.2	
O <sub>3</sub> (ppb)	Storage	72	2.4	1.8	1.2	9.7	0.00
	Exhibition hall	48	5.2	4.3	0.1	12.6	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value

박물관의 수장고과 전시실에서의 일반세균의 분포를 Table 7에 제시하고 있다. 수장고에서 119.4cfu/m<sup>3</sup>으로 전시실에서 조사된 평균농도인 24.8cfu/m<sup>3</sup>보다 높게 조사되었다. 이 결과는 측정 당시 여름철의 평일로 외부 관람객의 전시실 관람이 거의 없었으며 특히 수장고에서 일부 작업자가 작업을 하던 영향으로 수장고에서 전시실보다 높은 수준의 분포를 보이고 있는 것으로 판단된다. 수장고의 경우 미생물의 개체수보다는 실제 유물에 영향을 줄 수 있는 종의 파악의 중요한 의미를 갖기 때문에 향후의 연구를 통하여 규명되어져야 할 것으로 사료된다.

Table 7. The concentrations measured of microorganism in storage and exhibition halls

Pollutant	Site	N	Mean	S. D.	Min.	Max.	p-value
TBC (cfu/m <sup>3</sup> )	Storage	14	119.4	148.2	12.0	607.0	0.04
	Exhibition hall	12	24.8	27.4	2.0	87.0	

N : Number of data, S.D. : Standard deviation, Min. : Minimum value, Max. : Maximum value

## IV. 결론

본 연구는 국내 일부 지역의 박물관 및 기록물 보관소 등의 전시실과 수장고를 대상으로 실내공기 오염물질의 오염 수준 및 분포 특성을 파악하여 향후 문화재 관점에서의 보존 환경 관리대책 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 2007년 7월부터 8월까지 여름철을 대상으로 박물관내 실내공기질의 실태조사를 수행하였다.

입자상 물질의 경우 일부 박물관에서는  $PM_{10}$ 의 높은 수준( $184.7\mu g/m^3$ )을 보이고 있었으며 특히 수장고에서( $117.3\mu g/m^3$ ) 전시실보다( $49.5\mu g/m^3$ ) 높은 수준의 분포를 보이고 있었다.

가스상 물질의 경우 박물관의 특성에 따라 오염물질별 수준의 차이를 보이고 있었다. 특히, TVOC의 경우 각 박물관에서  $794.6\mu g/m^3$ 에서  $1891.4\mu g/m^3$ 의 높은 수준의 농도를 보이고 있었으며 수장고의 실내공기 중 평균농도는  $1374.9\mu g/m^3$ 으로 높은 수준으로 조사되었다.

미생물의 경우 역시 수장고에서  $119.4cfu/m^3$ 로 전시실에 비하여 높은 수준을 보이고 있었으며 박물관의 특성에 따라  $12.6cfu/m^3$ 에서  $156.3cfu/m^3$ 의 분포를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구의 경우 향후 실내공기 중 오염물질에 의한 문화재의 손상여부를 파악하기 위한 연구의 기초 연구로 여름철 동안의 박물관내 실내공기 중 오염물질의 수준을 평가하였다. 따라서 향후 연구의 수행을 통하여 박물관의 봄, 가을, 겨울의 계절별 실내공기질의 분포 특성을 파악하고 실험실 연구를 통한 오염물질별 유물의 손상 수준을 파악하여 박물관내의 문화재 관점에서의 관리대책 마련을 위한 토대를 마련하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 2007년 국립문화재연구소의 문화재 보존환경 개선 연구 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Maria La Gennusa, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccianoce, Francesco Nicoletti, 2005, "Control of indoor environments in heritage buildings: experimental measurements in an old Italian museum and proposal of a methodology", *Journal of Cultural Heritage*, 6, p147~155.
2. 김윤신, 노영만, 윤영훈, 이철민, 김기연, 김종철, 전형진, 심인숙, 이소민, 김선덕, 신병철, 2007, "일부 지역의 박물관내 실내공기오염물질의 분포 특성 실태조사", 2007년도 한국실내환경학회 학술대회 논문집 제4권, p209~292.
3. Erhardt, D., Mecklenburg, M., 1994, Relative humidity re-examined. In: Roy, A., Smith, P. (Eds), *IIC Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, Preventive Conservation Practice, Theory and Research*, IIC, London, p32~38.
4. Whitmore, P.M., Cass, G.R., 1989, "The fading of artists' colorants by exposure to atmospheric nitrogen dioxide", *Studies in Conservation*, 34, 85~97.
5. Thomson, G., 1986, "The Museum Environment 2nd Edition", Butterworths, London.
6. Nazaroff, W.F., Ligocki, M.P., Salmon, L.G., Cass, G.R., Fall, T., Jones, M.C., Liu, H.I.H., Ma, T., 1993, "Airborne Particles in Museums", *Research in Conservation* 6, Getty Conservation Institute, Los Angeles.
7. Grzywacz, C.M., Tennent, N.H., 1994, Pollution monitoring in storage and display cabinets: carbonyl pollution in relation to artefact deterioration. In: Roy, A., Smith, P. (Eds), *IIC Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, Preventive Conservation Practice, Theory and Research*, IIC, London, p164~170.
8. G. Pavlogeorgatos, 2003, "Environmental parameters in museums", *Building and Environment*, 38, p1457~1462.
9. 김용진, 오명도, 1996, "박물관 분진 및 가스 제거필터의 성능평가 실험" 공기조화 냉동공학회 창립25주년 기념 1996년도 하계학술발표 논문집, p150~160.
10. Kristin Gysels, Filip Delalieux, Felix Deutsch, Rene Van Grieken, Dario Camuffo, Adriana Bernardi, Giovanni Sturaro, Hans-Jurgen Busse, Monika Wieser, 2004, "Indoor environment and conservation in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium", *Journal of Cultural Heritage*, 5, p221~230.
11. Alten, H., "How temperature and relative humidity affect collection deterioration

- rates”, Northern States Conservation Center Publications, available on the World Wide Web: <<http://www.collectioncare.org/pubs/v2n2pl.html>>.
12. 황원택, 조춘식, 1999, “국립중앙박물관의 대공간 열환경 분석”, 공기조화·냉동공학, 28(1), p16~24.
  13. 부문자, 김신도, 이정주, 1995, “국립중앙박물관의 실내 공기질 조사”, 한국대기환경학회 1995년 학술대회논문집, 1, p131~132.
  14. 이정주, 김신도, 부문자, 1996, “박물관 실내공기질 변동에 관한 연구”, 한국환경위생학회지, 22, P43~48.
  15. 차용호, 이정주, 이희관, 김신도, 2005, “신축박물관 실내환경에서의 Aldehydes 및 TVOC 방출특성”, 한국 대기환경학회 2005 춘계학술대회 논문집, p174~175.
  16. Dario Camuffo, Rene Van Grieken, Hans-Jurgen Busse, Giovanni Sturaro, Antonio Valentino, Adriana Bernardi, Nigel Blades, Davild Shooter, Kristin Gysels, Felix Deutsch, Monika Wieser, Oliver Kim, Ursula Ulrych, 2001, “ Environmental monitoring in four European museums, Atmospheric Environment, 35(1), p127~140.