

박물관 실내 대기오염물질에 의한 금속 부식 영향

강대일

한국전통문화학교 보존과학과

The metal corrosion caused by museum indoor air pollutants

Kang Dai Il

Department of Conservation Science, Korean National University of Culture Heritage 430
Hapjung-ri Kyuam myeon, Buyeogun 323-812, Korea

초 록 본 연구에서는 박물관 내장재료, 유물포장시 사용되는 포장재료에서 나오는 실내대기오염물질로 챔버 테스트 및 오디 테스트를 실시하였다. 오디 테스트 결과 금속에 따라서 목재나 시멘트에 의해 부식되는 형태가 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었으며, 금속의 부식에 가장 많은 영향을 미친 목질제품은 18T HS(E0)와 9mm합판(F0,E0)이었으며, 시멘트는 6개월이 지난 시멘트였다. 유해가스 챔버 테스트 결과 대부분의 시편에서 부식이 관찰되었으며, 특히 포름산, 아세트산, 아세트알데히드에서 철, 구리, 청동시편의 부식이 심각하게 진행되었다. 포장재의 폭로실험에서는 저습의 조건에서 표면적으로 큰 변화가 나타나지 않으나, 고습의 조건에서는 금속 시편이 변색되거나 부식되는 현상이 나타났다.

중심어: 실내대기오염물질, 오디 테스트, 챔버 테스트, 금속 부식, 포장재료

ABSTRACT The effect of air pollutants coming from internal museum materials such as wood-based products and cements on metal corrosion have been investigated. The Oddy test and the Chamber test was employed as a corrosion test. The metal pieces after the Oddy test had different corrosion types caused by the internal museum materials. The most effective wood based product was 18T HS(E0) and 9mm plywood(F0,E0). Iron(Fe) and copper(Cu) also bronze of the Chamber test had corrosion caused by Formic acid, Acetic acid, and Acetaldehyde. The packing materials in high humidity had caused more corrosion on the surface of the metal pieces than in low humidity.

Keyword: indoor air pollutants, Oddy test, Chamber test, Corrosion, packing materials

1. 서론

금속문화재의 열화는 주변 환경물질과의 화학반응 혹은 전기화학반응에 의해 일어나는 부식(Corrosion)현상으로 전시실이나 수장고를 구성하는 내장 재료에서 발생되

는 오염물질, 전시케이스 내부의 온습도, 유물 포장시 사용되는 포장재질, 전시공간에서 발생하는 분진 등 다양한 요인에 의해 발생된다.

박물관 실내 대기오염원으로서 부식에 영향을 미칠 수 있는 요인은 첫째로 NH₃ 및 아민, 둘째로 Acetic acid,

Formic acid 등의 유기산, 셋째로 O_3 등을 들 수 있으며 Acetic acid, Formic acid는 주요 실내오염물질로 고려되지 않지만 박물관 내에서는 특별 관리대상이 된다.¹⁾ 이러한 연구는 국내 뿐 아니라 국외에서도 거의 연구가 진행되지 않은 상태이며, 현재 일본 동경국립박물관에서 연구가 이루어져 박물관 보존 기준을 마련하고 있을 뿐이다.²⁾

일반적으로 박물관의 환경적인 조건들을 고려하여 박물관에서 사용되는 전시케이스는 유물들을 수분, VOCs (휘발성유기화합물), 미세먼지, 포름알데히드 (HCHO) 등과 같은 오염물질들로부터 보호하는 것과 동시에 유물을 보관 또는 전시하는 과정을 고려하여 제작되어진다. 유물의 다양한 크기와 모양에 알맞게 전시케이스는 기본적으로 유물에 가장 적합한 온습도를 유지하고 주변 오염인자들로부터 유물을 본래의 형태로 유지시키는 것을 무엇보다 중요하게 여겨야 한다. 문화재 열화의 근본적인 피해 물질을 찾기 위한 연구는 관련 국내, 외 박물관 및 연구소에서 다양하게 이루어지고 있다. 특히, 금속문화재의 열화원인에 대한 연구는 다양한 실험적인 방법으로 진행되고 있다. 대부분 실험에 사용되는 부식테스트 방법으로는 박물관 전시실 내에서 은(Ag)이 부식되는 것을 관찰한 W. A. Oddy가 1973년에 고안한 Oddy test로, 재료와 대상 금속 시편을 일정한 온습도에서 장시간 노출시켜 재료가 시편에 미치는 영향을 평가하는 실험이다.

본 실험에서는 실내 대기오염물질, 박물관 내장재료, 유물 포장시 사용되는 포장재료를 대상으로 Chamber test 및 Oddy test를 실시하여 금속의 중량 변화, 색도

변화 및 육안 관찰을 통해 금속문화재의 손상요인을 각각적으로 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 금속문화재의 장기 보존을 위한 보존환경 내에서 사용되는 실내재료인 목재와 목질제품 그리고 시멘트를 대상으로 Oddy test를 실시하였으며, 데시게이터를 이용한 유해가스를 대상으로 챔버 테스트를 실시하여 실내 오염물질에 의한 금속문화재의 부식과 손상도를 파악하였다. 또한 박물관의 유물포장지나 발굴현장에서 응급처리를 위해 사용되는 신문지나 갱지 등의 포장 재료를 대상으로 8주간 온습도 변화(23%, 43%, 65%, 85%)에 따라 금속유물에 미치는 영향을 파악하는 실험을 실시하였다. 실험 장치는 180ml 데시게이터를 사용하였다. 데시게이터 하단에 포화수용액을 넣고, 금속시편을 포장 재료로 포장하여 데시게이터 내에 설치하여 상온에서 8주간 관찰하였다.

Oddy test 박물관 및 미술관에 전시 및 수장 재료로 사용되는 물질을 대상으로 금속시편을 60℃ 고온고습의 조건에서 28일간 노출시킨 후 Blank 시편의 변화와 금속 시편의 변화를 비교·분석하여 재료가 금속에 미치는 영향정도를 색도 변화 및 표면 변화, 중량 변화를 통해 관찰하는 실험

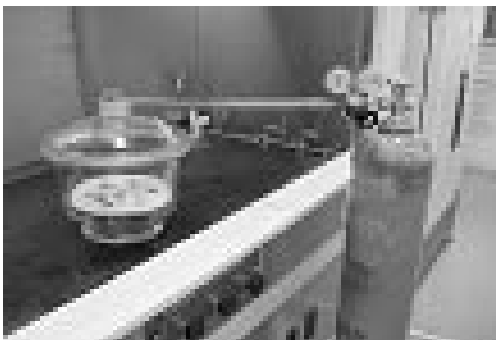


Figure 1. Test set (Chamber test)



Chamber test 데시게이터 내에 금속시편을 넣고, 내부를 160mmHg로 진공상태를 만든 후, 실험하고자 하는 Gas를 주입시켜 밀폐상태로 8주간 유지시킨다. 각 Gas는 농도를 4단계로 나누어 유지시키고, 8주 후에 금속 시편의 표면관찰, 중량변화, 색도변화를 측정하여 부식정도를 판단하는 실험(Figure 1).

2.1 실험 시편

2.1.1 금속 시편

금속 시편은 금도금, 은, 철, 구리, 청동, 10% NAD-10 처리된 철정 6종류로 하였다. 금도금은 전통적인 방법인 옷칠을 하여 금도금을 입혔다. 청동은 송나라 시대의 동전을 사용하였으며, 동전의 표면을 덮고 있는 녹을 Air-brasive로 제거한 후 4등분 하여 아세톤으로 세척하여 시편으로 사용하였다. 철정은 경북궁에서 사용된 철정을 길이 20mm로 잘라 실험에 사용하였으며, 철정은 표면의 녹을 제거하고, 실제 철제 보존처리와 같은 방식으로 10% NAD-10으로 코팅하여 사용하였다.

2.1.2 실험 재료

Oddy test에서 사용된 목재시편은 유물을 넣는 전시케이스로 사용되는 오동나무와 수장고의 바닥재로 사용되는 너도밤나무로 하였다. 목질제품으로는 박물관의 전시실과 수장고에서 사용되는 9mm 합판(F0), 무기질계 조습패널, 스프러스, 9mm 합판(E0), 18T HSE0)를 사용하였다. 전시 마감용 벽지는 일본 Kawashina사에서 제작한 것으로

현재 박물관에서 마감용 벽지로 사용되는 것으로 하였다. 목재 시편 각각의 질량은 2g, 크기는 가로(15mm)×세로(15mm)×높이(15mm)로 일정하게 절단하였으며, 절단기는 Diamond and CBN Cut Off Wheels를 사용하였다.

Oddy test에서 사용된 시멘트시편은 모든 시편의 중량은 동일하게 50g으로 하였으며, 각각의 시편은 타설 후 1일, 6개월, 2년, 5년이 지난 시멘트를 사용하였다.

Chamber test에서 사용된 가스는 박물관 전시케이스 및 수장고에서 발생하는 유기산 및 휘발성유기화합물 중 문제가 되거나, 방출강도가 높은 물질로 하였다. 농도는 일본 동경국립박물관에서 제시한 기준치의 100배 이상으로 하였다³⁾(Table 1). 포장 재료는 한지(B), 솜(C), 시료 봉투(D), 거즈(E), 신문지(F)를 사용하였으며, 포화수용액은 4종류를 사용하였다.

2.2 분석방법

실험 전·후의 금속 시편의 변화를 비교하고, 박물관의 내장 재료에서 발생하는 오염물질과 습도에 의해 포장 재료가 금속에 미치는 영향을 표면 변화, 즉 육안관찰과 현미경 관찰과 중량 변화, 색도 변화를 통하여 분석하였다 (Table 2). 중량변화에 사용된 분석용 전자저울은 SATORIOU. DE/CP-224s로 하였으며, 색도 측정에 사용한 색도계는 BYK.US/A-6800로 하였다. 표면 변화는 금속현미경 NIKON JP/EPIPHOT200을 사용하였다.

Table 1. The experiment concentrations of the Chamber test (ppm)

Type	Experiment Concentrations (ppm)			
Formic acid (HCOOH)	1	5	10	15
Formaldehyde (HCHO)	10	15	20	30
Acetic acid (CH ₃ COOH)	15	20	30	40
Acetaldehyde (CH ₃ CHO)	5	10	20	30
Toluene (C ₇ H ₈)	20	30	40	50
Ammonia (NH ₃)	10	15	20	30

Table 2. Saturated solutions of the packing materials test

Symbol SL	Saturated solutions	용해도 g/100g	온도에 따른 RH(%)				
			20	23	25	30	35
85	Potassium chloride (KCl)	34	86	85	85	84	84
65	Sodium nitrate (NaNO ₂)	82	66	65	64	63	62
43	Potassium carbonate (K ₂ CO ₃ · 2H ₂ O)	112	44	43	43	42	41
23	Potassium acetate (CH ₃ COOK)	228	23	22	22	22	21

3. 실험 결과

3.1 중량 변화

Oddy test 전후의 금속시편 중량변화율은 Table 3와 같다. 가장 많은 중량변화율을 보인 금속은 청동시편이며 가장 적은 중량변화율을 보인 금속은 은(Ag)시편이었다. 이와 같이 청동(Bronze)시편에서 중량변화율이 큰 것은 구리(Copper)시편에 비해 상대적으로 다량 함유된 불균일 물질인 납과 주석의 편석영향으로 생각해 볼 수 있다. 그 외의 시편에서는 중량변화가 거의 나타나지 않았다.

18T HS(E0)는 모든 금속시편에서 큰 폭의 중량변화율이 나타났다. 청동시편은 18T HS(E0)합판에서 -41.44%, 9mm합판(F0)에서는 31.58%로 중량변화율이

가장 컸다. 5년이 지난 시멘트(C4)에서는 구리(Cu)시편이 14.00%로 중량변화율이 가장 컸다. 구리시편은 마감용 벽지 2종을 제외한 모든 목재와 시멘트에서 중량이 증가하였다.

Chamber test에서는 실험 후 Formic acid, Acetic acid, Acetaldehyde에서 대부분 중량이 증가함을 보였다. 특히 Formic acid에서는 철, 구리, 청동시편이 농도별로 뚜렷한 증가를 보였다. 아세트산과 아세트알데히드는 철(Fe)시편에서 농도별로 중량이 증가했다. 포름알데히드와 톨루엔은 중량에 미세한 변화가 있었으나 오차범위 내에서의 변화였다. 금속 시편별로 철, 구리, 청동은 약간의 변화가 있었으나, 금도금과 은 시편에서는 큰 변화를 일으키지 않았다.

포장 재료를 대상으로 한 실험에서는 습도별로는 RH

Table 3. Percentage in the weight changes (%) (oddy test)

Materials	Percentage in the weight changes (%)				
	Gilding	Silver(Ag)	Iron(Fe)	Bronze	Copper(Cu)
W1 Paulownia	-0.24	0.05	0.32	0.05	0.04
W2 Fagus	-0.09	0.09	1.74	0	0.04
W3 9mm plywood(F0)	-7.66	0	-1.71	31.58	0.08
W4 Humidity control panel	-0.04	-0.09	0	13.03	0.08
W5 Spruce	0.06	0.09	0	-9.59	0
W6 9mm plywood(E0)	0.04	0.09	0.22	27.22	0.07
W7 18T HS(E0)	2.58	0.13	0.11	-41.44	0.04
W8 KC-5194	-0.13	0.18	1.20	0	-7.71
W9 KC-5251	0.09	0.13	0.11	0	0.02
C1 Curing 1 day	0.12	-0.04	0.28	-0.02	0.05
C2 Curing 6 month	0.20	0.17	0.83	0.04	0.04
C3 Curing 2 years	0.16	0.09	0.71	0	0.02
C4 Curing 5 years	0.18	-0.35	0.43	0.02	14.00

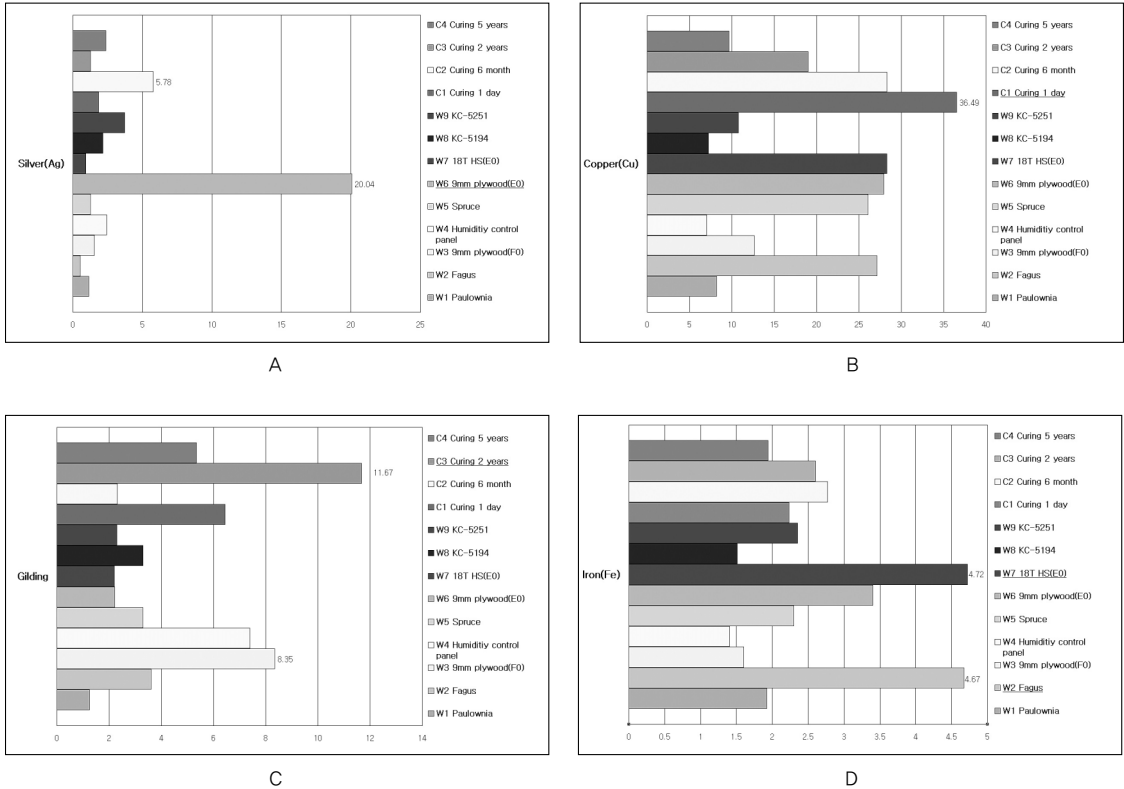


Figure 2. Rate Changes of the colorimeter on 4 Metal pieces A : Silver(Ag), B: Copper(Cu), C: Gilding, D: Iron(Fe)

Table 4. Rate Changes of the colorimeter on Formic acid

Gas	Concentration	type	Before experiment			After experiment			ΔE
			L	a	b	L	a	b	
Formic acid	1ppm	Gilding	82.5	11.2	57.1	81.2	8.5	50.2	7.5
		Silver	95.6	0.3	4.4	93.7	0.3	5.2	2.1
		Iron	77.4	1.0	1.4	75.1	0.3	2.9	2.8
		Copper	78.4	17.4	23.4	72.2	19.1	25.5	6.8
	5ppm	Gilding	82.5	11.2	57.1	84.4	9.0	50.3	7.4
		Silver	95.6	0.3	4.4	94.7	0.6	5.5	1.5
		Iron	77.4	1.0	1.4	65.4	0.9	2.5	12.1
		Copper	78.4	17.4	23.4	67.4	13.3	20.4	12.1
	10ppm	Gilding	82.5	11.2	57.1	84.0	9.9	50.9	6.5
		Silver	95.6	0.3	4.4	95.1	0.3	4.4	0.5
		Iron	77.4	1.0	1.4	62.4	0.5	0.2	15.1
		Copper	78.4	17.4	23.4	65.7	18.3	23.4	12.7
15ppm	Gilding	82.5	11.2	57.1	81.2	11.1	55.6	2.0	
	Silver	95.6	0.3	4.4	93.1	0.8	6.3	3.2	
	Iron	77.4	1.0	1.4	62.1	0.9	5.1	15.7	
	Copper	78.4	17.4	23.4	62.4	17.5	22.5	16.0	

23%와 RH 43%, RH 65%의 시편은 변화가 거의 없었으나, RH 85%는 상대적으로 큰 변화를 보인다. 포장 재료별로는 특별한 차이 없이 고습에서 모두 높은 중량변화율을 보였다.

3.2 색도 변화

색도변화는 색도계 (spectro-guide)로 각 금속시편의 색도를 측정 후, 색차값을 ΔE 로 나타냈다.⁴⁾ Oddy test의 색도 변화 결과 원목과 목질제품에서는 9mm합판(EO)에서 색차 값이 13.39, 18T HS(EO)에서 9.03, 너도밤나무에서 8.98 순으로 나타났다. 1일 지난 시멘트(C1)의 색차 값은 11.75 > 6개월 지난 시멘트(C2)에서 9.79 > 2년 지난 시멘트(C3)에서 8.63 > 5년 지난 시멘트(C4)에서 4.83 순으로 나타났다(Table 4).

Chamber test 시편의 색도변화는 Formic acid과 Acetic acid, Acetaldehyde에서 크게 나타났다. 특히 철과 구리시편의 색차가 컸으며, 상대적으로 금도금과 은시편은 색차 값이 작게 나타났다. ΔE 값은 Acetaldehyde 40ppm에서 철과 청동시편이 각각 36.8과 38.8로 가장 높게 나타났다.

포장 재료를 대상으로 한 실험에서는 RH 85%의 한지 포장에서 구리시편의 색차값 20.28로 가장 큰 변화를 보였다. 은과 금도금시편은 색차값이 대체적으로 낮았다. 구리와 철시편에서 색차값의 변화가 뚜렷이 나타나는데, 특히 고습의 경우 색차값이 크게 나타났다.

3.3 표면 변화

목질제품과 시멘트를 대상으로 한 Oddy test의 결과 금속시편이 변색되거나 부식되는 현상이 관찰되었다. 그러나 원목을 대상으로 한 경우에는 대부분의 금속시편에서는 표면변화가 관찰되지 않았다. 구리와 철시편의 부식을 제외하고 다른 금속 시편에서는 육안으로 관찰가능한 표면 부식이나 변색이 거의 일어나지 않았다(Figure 3). 대부분의 구리시편 변색현상을 보였으며, 특히 C1(1일), C2(6개월), C3(2년)에서 변색 현상이 심하게 나타났다. 은(Ag)시편은 일부 옅은 분홍색으로 변색되는 것이 나타났다.

Chamber test에서의 금속시편 표면변화는 Formic acid, Acetic acid, Acetaldehyde에서 뚜렷하게 관찰되었다. 시편별로는 철과 구리, 청동시편에서 부식이 진행되었으며, 저농도 보다는 고농도에서 부식이 심각하게 나타났다. Toluene과 Ammonia에서는 고농도에서 철 시편을 제외하고 금속시편의 부식이 크게 관찰되지 않았다.

포장 재료를 대상으로 한 실험에서는 은, 금도금은 전반적으로 시편의 변색 및 부식 현상이 육안으로 관찰되지 않았다. 철(Fe)과 구리(Cu)는 부분적으로 변색 및 부식 현상이 관찰되었으며, 특히 RH 85%에서 한지의 철과 구리 시편, 신문의 구리와 철 시편에서 육안·현미경 관찰 결과 변색 및 부식 현상이 심하게 나타났다.

4. 결론

◎ Oddy test 결과 청동동전의 중량변화율이 0.02% - 0.04% 였으나, 목질제품에서는 중량변화율이 다른 금속시편에 비해 크게 나타났다. 특히, 합판에서의 중량변화율이 컸다.

◎ Oddy Test 결과 마감용 벽지 2종에서 철시편은 부식이 관찰되었으며, 구리시편은 목질제품인 9mm 합판(FO)에서 변색이 관찰되었으며, 타설 후 1일과 6개월, 2년이 지난 시멘트에서도 변색이 관찰되었다.

◎ Oddy test 색도 변화 관찰 결과 9mm 합판(EO)에서 가장 큰 색차 값(ΔE)이 나타났다. 시멘트에서는 양생

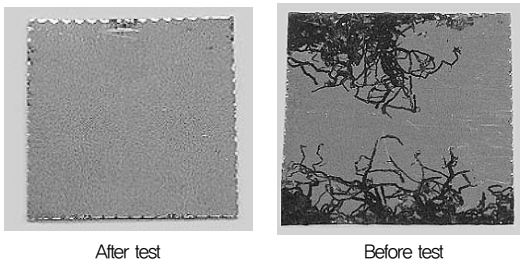
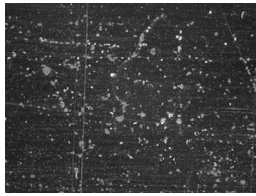
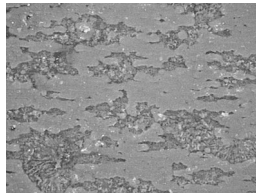


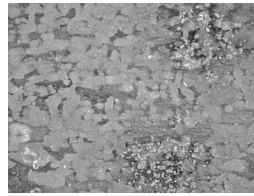
Figure 3. RH 85% (B) Iron pieces before and after test



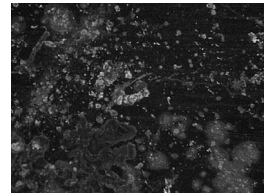
▲ Formic acid 1ppm



▲ Formic acid 5ppm



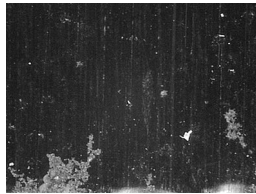
▲ Formic acid 10ppm



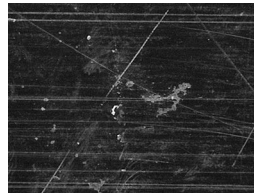
▲ Formic acid 15ppm



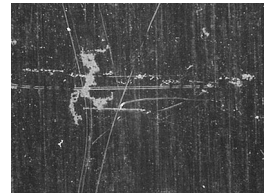
▲ Formaldehyde 10ppm



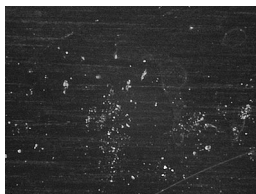
▲ Formaldehyde 15ppm



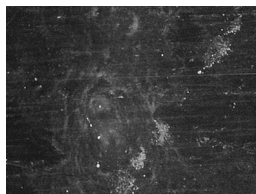
▲ Formaldehyde 20ppm



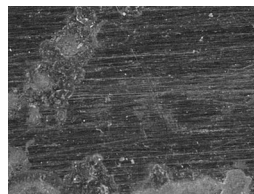
▲ Formaldehyde 30ppm



▲ Acetic acid 15ppm



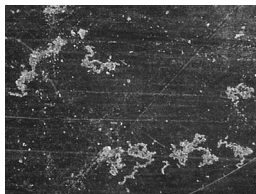
▲ Acetic acid 20ppm



▲ Acetic acid 30ppm



▲ Acetic acid 40ppm



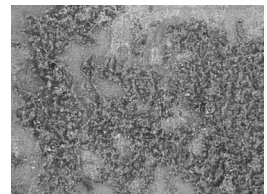
▲ Acetaldehyde 4ppm



▲ Acetaldehyde 10ppm



▲ Acetaldehyde 20ppm



▲ Acetaldehyde 30ppm



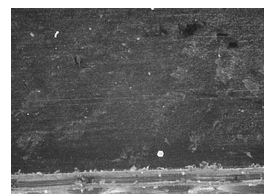
▲ Toluene 40ppm



▲ Toluene 50ppm



▲ Ammonia 15ppm



▲ Ammonia 20ppm

Figure 4. Iron sample using microscope – Differences of concentrations($\times 100$)

기간이 짧을수록 금속시편의 색차 값 크게 나타났다.

◎ Oddy test 결과 금속에 따라서 목재나 시멘트에 의해 부식되는 형태가 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었으며, 금속의 부식에 가장 많은 영향을 미친 목질제품은 18T HS(E0)와 9mm합판(F0), 9mm합판(E0)이었다. 시멘트는 타설 후 6개월이 지난 시멘트였다.

◎ 유해가스 챔버 테스트 표면관찰 결과 대부분의 시편에서 부식이 관찰되었다. 특히 Formic acid, Acetic acid, Acetaldehyde에서 철, 구리, 청동시편의 부식이 심각하게 진행되었으며, 저농도에서 고농도로 높아질수록 부식 정도가 심해짐이 확인되었다.

◎ 유해가스 챔버 테스트에서의 중량변화는 실험 후 거의 모든 시편에서 중량이 증가함을 보였다. 그 중 Formic acid와 Acetic acid, Acetaldehyde에서 철과 구리시편의 중량이 가장 뚜렷하게 나타났다.

◎ 챔버 테스트에서 Formaldehyde는 중량변화나 색도 변화가 크게 나타나지는 않았으나, 철시편의 현미경 관찰 결과 저농도에서 고농도에 이르기까지 붉은 반점 모양의 녹이 산포되어 진행 중인 것이 확인되었다.

◎ 포장재 폭로실험의 표면 관찰 결과 저습의 조건에서는 표면 변화가 나타나지 않으나, 고습의 조건에서 금속시편이 변색되거나 부식되는 현상이 나타났다.

◎ 모든 포장 재료는 그 종류에 관계없이 고습에서는 부식 및 변색을 일으킨다. 이는 포장 재료의 종류보다 습도 조절이 더 중요하다는 것을 나타낸다.

5. 고 찰

본 실험에서 이루어진 Oddy test는 비교적 짧은 시간 내에 결과를 도출하여 정략적인 값을 제시하는데 미진한 점이 있다. 그러나 Oddy test의 실험 결과를 기초 자료로 합판의 종류, 특수 처리된 재질, 마감용 벽지에서 사용되는 접착제 및 시멘트가 발생시키는 오염물질의 종류와 적정 기준 농도에 대한 지침이 필요하며, 내장 재료에 의한 금속문화재의 손상 원인 규명과 메커니즘에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한, 전시실의 내장 재료 전체를 대상으로 Oddy test를 확대 실시하여 내장 재료의 선

정 기준과 관리에 대한 기초 자료를 마련해야 할 것이다.

유해가스 Chamber test는 이제까지 이루어지지 않은 금속문화재를 대상으로 유기산 및 휘발성유기화합물에 의한 손상정도를 측정 하였다는데 의의가 있다. 본 실험에서 도출된 Data는 유해가스에 대한 금속문화재의 손상도를 규명하고 실내대기오염물질 최대 허용 농도를 제시하는 기준 자료로서 사용될 수 있다.

포장재 폭로실험을 통해 포장 재료가 습도에 따라 각 금속 시편 부식에 영향을 미친 원인과 그 반응 메커니즘 규명 등 구체적 제어에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 1956년 A. Noblecourt가 선행 연구를 통해 금속문화재의 적정 온·습도 조건을 16~24℃, 46~63%로 제시하였다.⁵⁾

또한 1997년 松田隆嗣·姫嶋智晴·渡辺哲志·豊田拓男이 철편과 황동을 공기 차단 포장비닐 속에 탈산소제와 수분 흡수제를 유물과 함께 넣어 밀봉하는 탈산소제(상품명 : RP system) 실험을 하였는데, 봉입 후부터 1년까지 큰 변화가 없이 보존되었다.⁶⁾ 따라서 RH 60% 이상의 고습에서 RP system을 적용하면 장기간 무산소·저습도를 유지하여 금속문화재의 적절한 보존환경 유지에 도움이 될 것이다. 그 외 실리카겔, 무기질 실리케이트(상품명 : Art Sorb) 등의 조습제의 사용이 권장된다. 현재 국립부여박물관에서 소장하고 있는 부여능산리출토백제금동대향로(국보 287호)는 비활성가스로 전시케이스 내부가 충전 되어 있다. 이러한 비활성가스로 충전한 케이스 내부에서 금속문화재 보존 및 전시는 금속문화재의 부식을 방지하기 위한 방법으로 비활성가스의 연구가 활발하게 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김명남, 전시 및 수장공간 사용 목질재료의 알데히드류 방출특성과 금속부식에 미치는 영향, p 1, 2004
2. 神庭信辛, 東京國立博物館における環境保全計劃, 東京國立博物館研究誌 594號, p75, 2005
3. 神庭信辛, 東京國立博物館における環境保全計劃, 東京國立博物館研究誌 594號, p75, 2005
4. A. Noblecourt ; Protection of Cultural Property in the Event of Armed conflict, UNESCO, 1956
5. 松田隆嗣·姫嶋智晴·渡辺哲志·豊田拓男 ; 文化財保存修復學會誌古文化財之科學 vol 41, 金屬用脫酸素劑をよ用いた出土金屬製品の保管の有效性について, 文化財保存修復學會, p 25-37, 1997
6. Oddy, W. A., An unexpected danger in display, Museums Journal Vol.73, p.27-28, 1973
7. Bamberger, Joseph A., Howe, Ellen G. Wheeler, George, 「A variant Oddy test procedure for evaluating materials used in storage and display cases」, 『Studies in Conservation』 Vol.44, p.86-90, 1999
8. Green, L. R. and Thickett. D., 「Testing Materials for use in the Storage and Display of Antiquities - A Revised Methodology」, 『Studies in Conservation』, Vol.40, 1995
9. Te'treault. J., 「Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours」, 『Studies in Conservation』 vol.48, 2004
10. Kenzo Toishi & Hiromitsu Washizuka, 「Characteristics of Japanese Art that Condition Its Care」, 『Japanese Association of Museum』, 1987
11. Bradley. S. and Thickett. D., 1998, The Pollutant Problem in Perspective, IAP 1998, Presentation 5
12. Jonathan Ashley-Smith ; Risk Assessment for object Conservation, Butterworths, 1999
13. Pamela Hatchfield, Sources of pollutants in The museum environment, 2002
14. Garry Thomson, The museum Environment 2nd Edition. 1986
15. N. Stolow ; Conservation and Exhibition, Butterworths, 1987
16. Rosegrant, R, G : Packing problems and procedure, Technical studies in the field of fine art, vol X No3, p138~156, 1942
17. Pamela B. hatchfield ; Pollutant in the museum Environment, Archetype, 2002
18. Paolo mandrioli, Cultural Heritage and Aerobiology, p22, 2003
19. A. Noblecourt ; Protection of Cultural Property in the Event of Armed conflict, UNESCO, 1956
20. 神庭信辛, 「東京國立博物館における環境保全計劃」, 『東京國立博物館研究誌』 594號, p 75, 2005
21. 松田隆嗣·姫嶋智晴·渡辺哲志·豊田拓男 ; 文化財保存修復學會誌古文化財之科學 vol 41, 金屬用脫酸素劑を用いた出土金屬製品の保管の有效性について, 文化財保存修復學會, p 25-37, 1997
22. 登石健三, 見城敏子 : 密閉梱包の溫度調節, 古文化財の科學 12, p28~36, 1956
23. 이케다 코우이치, 실내공기오염의 원인과 대책, (주)수도프리미엄엔지니어링출판부, 2004
24. 김윤신 외, 동산문화재 보존환경 시스템 개발에 관한 연구, 국립문화재연구소, 2006
25. 김윤신 외, 대기오염물질이 금속 부식에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회, 1995
26. 김명남, 전시 및 수장공간 사용 목질재료의 알데히드류 방출특성과 금속부식에 미치는 영향, 서울시립대학교 석사학위논문, 2004
27. 이승은, 노현숙, 이용희, 「나무재료가 금속부식에 미치는 영향 -oddy test-」, 『박물관 보존과학』 제5집, p.31-26, 2004
28. 이승은, 노현숙, 「용산 새 국립중앙박물관 수장고와 전시실 환경관리 및 측정 나무재료가 금속부식에 미치는 영향」, 『박물관 보존과학』 제7집, p.75-87, 2006

29. 배귀남, 「보존 유물에 대한 유해가스 및 분진의 영향 연구」, 『공기조화 냉동공학회』, 1996
 30. 홍정기, 문화재 보존시설 내에서의 실내공기질 조사, 2002
 31. 이재현 외, 「유물손상도 실험·분석 연구」, 『박물관내 전시 및 수장 공간의 공조환경 기준 연구』, p 96~140, 1996
 32. 보존과학연구 제4집~27집, 1982-2006
 33. 보존과학 기초 연수 교육, 국립문화재연구소, 1993-2007
-