

密閉櫥內 실리카겔의 濕度調節 效果 研究

金明男 · 俞惠仙[†]

國立中央博物館 保存科學室

A Study on Buffering Effect of Silicagel to Control Relative Humidity in Air-tight Case

Myoung-nam Kim and Hei-sun Yu[†]

Conservation Science Lab., The National Museum of Korea

요약 본 실험은 국립박물관을 비롯한 현재 국내외 박물관 및 미술관에서 주로 사용하고 있는 습도조절제(ART-SORB)의 효능을 측정하여 미소환경 조절시 보다 효과적으로 사용할 수 있는 기초자료를 축적하는데 그 목적이 있다. 실험은 외기의 영향을 배제시키고 습도조절제만의 효과를 측정하고자 밀폐조건하에서 수행하였다. 보관장 크기를 고려한 일정량의 ART-SORB 및 카세트(cassette) 형태의 ART-SORB를 투여하여 습도조절 능력을 측정하였다. 실험결과 체적당 정량을 사용한 실험에선 10~17시간 후 목표습도에 도달하였고, 카세트 단위의 과량의 ART-SORB 사용시에는 5~6시간 내에 목표습도에 도달하였으며, 50~70% RH 범위내에서 습도조절이 가능함을 확인 할 수 있었다. 또한 ART-SORB는 저습조건에서 습도를 상승시키는데 탁월한 효과가 있었으며, 고습조건에서는 습도조절 능력이 미약했다. 그러므로 ART-SORB는 높은 습도조건이 요구되는 유물(목기, 칠기류, 서화류 등)의 미소환경관리에 보다 효과적인 완충제임을 알 수 있었다. 그러나 본 실험은 밀폐성이 우수한 보관장에서의 실험이므로 실제 진열장에 그대로 적용된다고 보기는 어렵다. 따라서 밀폐성이 보장되는 진열장이 우선 마련되어야 습도조절제의 효과가 크게 발휘될 수 있다.

Abstract The purpose of this study is to evaluate the effect of ART-SORB which is commonly used in museums and galleries at home and abroad including National Museum of Korea, so as to collect useful information to control micro-environment. Experiment was conducted in air-tight condition in order to evaluate only the effect of ART-SORB excluding any influence from outside factors. A certain amount of ART-SORB considering the case size and ART-SORB in cassette type were used to evaluate the humidity controlling capability. The result showed that target humidity was reached in 10~17 hours in case of using corresponding amount of ART-SORB to the cubic volume and in 5~6 hours in case of excessive use of cassette type ART-SORB. And it also showed that humidity can be controlled in the range of RH 50~70%. In addition, ART-SORB was excellent at raising humidity at low humidity and poor at high humidity. Therefore, ART-SORB turned out to be an effective humidity buffer for controlling micro-environment of such artifacts as wooden ware, lacquer ware and paintings, which require high humidity. However, unfortunately, there are some difficulties in applying this result to real condition, given the fact that this study was conducted under firm air-tight case. Therefore, ART-SORB can be fully effective only in firm air-tight case.

I. 서론

박물관에 있어 습도관리라 하면 수장 및 전시공간과

전시케이스 내부라는 미소환경까지를 대상으로 한다. 수장 및 전시공간은 주로 기계식 공조를 통해 운영되고 전시케이스내부의 미소환경은 밀폐성 향상과 습도조절을 위한 화학약품 및 완충제 사용 등 비기계적인 방법으로 다루어진다¹⁾. 습도조절을 위한 약품으로 우선 포화염용액을 들 수 있는데 염의 종류에 따라 일정습도를 얻는 방법과 황산이나 글리세롤 수용액의 경우처럼 농도를 달리하여 일정습도를 얻는 방법이 있다. 포화염용

[†]Corresponding author : Hei-sun Yu, Conservation Science Lab., The National Museum of Korea
Tel : (02) 398-5146
Fax : (02) 398-5130
E-mail : heisun@hanmail.net

액의 사용은 온도변화에 크게 변동되지 않고 안정된 상대습도(RH)를 조성하는 장점이 있으나 기화하면서 염이온이 함께 밖으로 나와 금속제 전시케이스나 금속유물의 전기적 부식에 영향을 주는 문제가 있으며²⁾ 황산수용액의 경우는 강산성인 점, 글리세롤수용액의 경우는 곰팡이가 발생할 우려가 있어³⁾ 사용에 제한을 받게 된다. 반면에 부식위험이 없고 화학적으로 비활성인 습도조절을 위한 완충재의 사용이 권장되고 있다. 습도조절을 위한 완충재로는 나무, 종이, 면 등이 사용되어져 왔으며 큰 수분 저장력과 빠른 반응을 보이는 실리카겔 등이 M-Value^{a)}가 큰 완충재로서 사용되고 있다. 실리카겔은 보통 A-type, B-type, AB-type으로 구분되며 A-type은 50%이하 습도범위에서, B-type은 50%이상 습도범위에서 평형수분함량이 크고 AB-type은 보다 넓은 습도범위에서 앞의 두 type의 장점을 가진 절충형으로서 ART-SORB는 AB-type에 가깝다고 볼 수 있다⁴⁾. 또한 습도조절제(ART-SORB)는 체적당 사용량이 적으며 카세트 형태로서 취급이 용이한 장점이 있어 그 사용범위가 확대되고 있다.

본 실험은 국립박물관을 비롯한 국내외 박물관 및 미술관에서 미소환경습도조절을 위하여 사용하고 있는 습도조절제(ART-SORB)의 효과를 측정하여 보다 효율적으로 사용할 수 있는 기초자료를 축적하고자 하는 것이다.

실험은 외기의 영향을 배제시키고 습도조절제만의 효과를 보다 정확하게 측정하고자 밀폐조건하에서 수행하였고, 보관장 체적에 비하여 과량^{b)}이긴 하지만 사용하기 편리한 카세트(cassette)형태의 ART-SORB와 보관장 크기를 고려한 정량의 ART-SORB의 습도조절 능력측정에 대하여 실시하였다.

II. 실험

1. 실험장치

실험에 사용한 기기 및 재료는 Table 1에 나타내었고, 실험장치는 Fig. 1, 2와 같다(Photo 1~3. 참조).

2. 실험방법

2.1. 전처리

ART-SORB는 원하는 습도에 따라 무게를 조정하여 사용할 수 있어 수분량의 가감 정도를 조절하면 원하는 습도의 ART-SORB^{c)}를 제조 할 수 있게 된다. 이러한

Table 1. Instruments and materials

실험기기 및 재료	규격 및 사양
① 밀폐보관장(아크릴제)	32 × 44.5 × 26 cm, 두께 2.5 cm
② 온/습도수집기 (Data logger)	TH-3, 일본SI전자
③ 자기기록 온도습도계 다이알지울 접시/증류수	SATO R-704 OHAUS
④ 습도조절제 (ART-SORB) 60%RH	ART-SORB(Full-cassette type), FUJI SILYSIA CHEMICAL LTD.(일본) 11×33×4 cm, 1080 g

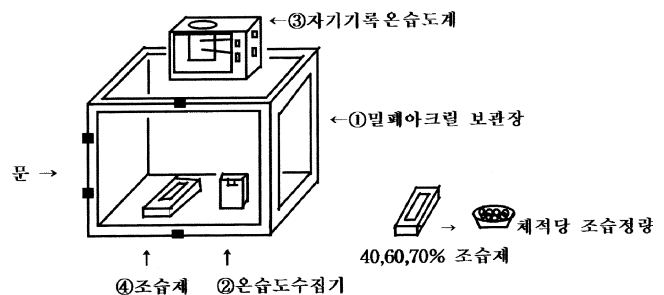


Fig. 1. Testing set for buffer capacity at natural RH.

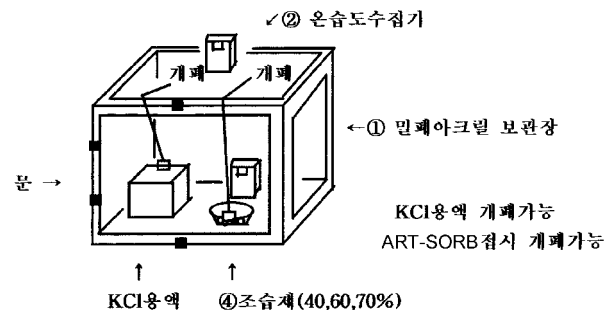


Fig. 2. Testing set for buffer capacity at 84%RH.

특성을 이용하여 각 습도별 ART-SORB의 습도조절 효과에 대한 실험이 가능하게 된다.

2.1.1. ART-SORB 카세트 만들기

① 40% RH ART-SORB 카세트 만들기

시판용 ART-SORB(60%-1080 g)를 건조시켜 평균습도 40%-980 g의 조습제를 만들었다.

② 60% RH ART-SORB 카세트 만들기

시판용 ART-SORB(60%-1080 g)를 그대로 사용하였다.

a) M-Value는 RH 1% 변화에 대한 1 kg의 완충재가 얻거나 잃게되는 수분량으로 높은 M-Value를 가졌다는 것은 RH변화에 대해 완충능력이 큼을 의미한다.

b) ART-SORB 사용 정량은 0.5~1 m³당 1 cassette인 것으로 알려져 있다. 그러므로 실제 실험에 사용한 밀폐보관장의 체적에 1 cassette의 ART-SORB는 10~20배 가량의 과량이 된다. 본 실험에서는 1 m³당 1 cassette의 ART-SORB를 정량으로 하여 각 습도별 ART-SORB의 양을 계산하였다.

c) ART-SORB Humidity/Weight Graph에서 40%→980g, 50%→1040g, 60%→1080g, 70%→1220g로 제시됨.



Photo 1. ART-SORB (1 cassette & some in bowl).

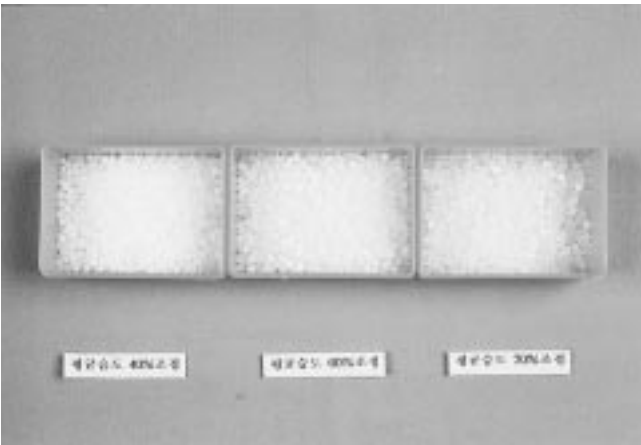


Photo 2. RH Controlled ART-SORB (40%, 60%, 70% RH).

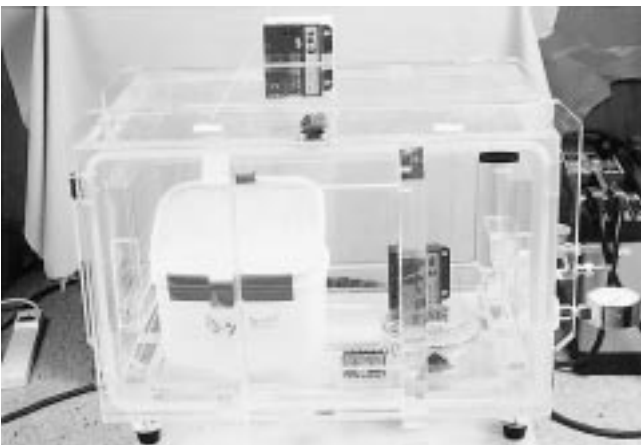


Photo 3. Experimental set.

③ 70% RH ART-SORB 카세트 만들기

시판용 ART-SORB(60%-1080 g)에 증류수를 천천히 첨가하여 평균습도 70%-1220 g의 조습제를 만들었다.

2.1.2. 밀폐보관장 체적당 정량의 조습제 만들기 (40, 60, 70% RH ART-SORB)

밀폐보관장 체적에 맞는 조습제 정량은 앞에서 제조한 각 습도별 ART-SORB 카세트에서 체적당 사용량^{d)}을 계산하여 접시에 덜어 실험에 사용하였다.

2.1.3. KCl(84% RH)포화염용액 만들기³⁾

고습조건(84% RH)에서 ART-SORB의 효능을 측정하기 위하여 KCl 포화염용액을 제조하여 사용하였다. 증류수 736 g에 KCl 264 g을 넣어 84% RH의 KCl 포화염용액을 만들었다.

2.2. 습도조절효과 측정

각 평균습도별 습도조절 효과측정 실험을 위하여 밀폐보관장내 및 외기(주변)의 온·습도를 측정하였으며, 측정주기는 예비실험을 통해 적정기간으로 산정된 5~7일 간격으로 하였다. 보다 세부적인 실험과정은 아래와 같다.

2.2.1. 카세트단위 습도조절 효과실험(Fig. 1. 참조)

① 40% RH ART-SORB의 습도조절 실험

- 외기(주변)의 온·습도 측정에는 자기기록 온습도계를 사용하였고, 밀폐보관장 내의 온·습도 측정은 Data logger를 사용하였다.

- 밀폐보관장 문을 1시간 개방하여 실내 온·습도를 측정한 다음 앞서 조절된 ART-SORB(40% RH)를 투입하고 문을 차폐했다.

- 7일 경과 후 주변의 온·습도 변화를 기록한 온습도기록지와 Data logger를 회수하여 조습제에 의한 밀폐보관장내 습도변화를 비교 조사하였다.

② 60% RH ART-SORB의 습도조절 실험

- 외기(주변)의 온·습도 측정에는 자기기록 온습도계를 사용하였고, 밀폐보관장 내의 온·습도 측정은 Data logger를 사용하였다.

- 밀폐보관장 문을 1시간 개방하여 실내 온·습도를 측정한 다음 ART-SORB(60% RH)를 투입하고 문을 차폐했다.

- 5일 경과후 주변의 온·습도 변화를 기록한 온습도기록지와 Data Logger를 회수하여 조습제에 의한 밀폐보관장내 습도변화를 조사하였다.

③ 70% RH ART-SORB의 습도조절 실험

70% RH ART-SORB를 이용하여 위의 실험방법과 동일하게 진행하였다.

- 2대의 Data logger를 주변과 밀폐보관장내에 설치하고 밀폐보관장 문을 1시간 개방하여 실내 온·습도를

d) 주b) 참조

측정하였다.

- 앞서 조절된 ART-SORB(70% RH)를 투입하고 문을 차폐했다.
- 7일 경과후 Data logger를 회수하여 조습제에 의한 밀폐보관장내 습도변화를 조사하였다.

2.2.2. 체적당 정량을 사용한 습도조절 효과실험(Fig. 1, 2. 참조)

체적당 정량의 ART-SORB를 사용한 습도조절 효과측정 실험은 일반조건에서 40, 60, 70% RH로 습도가 조절·유지되는 효과에 대한 실험[①-③]과 인위적으로 만든 고습(84% RH)상태에서의 각 습도별 ART-SORB의 습도조절 효과에 대한 실험[④-⑥]을 실시하였다.

① 40% RH ART-SORB정량(37 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- 체적당 정량의 ART-SORB를 사용하여 카세트단위 습도조절 효과실험과 동일한 방법으로 측정하였으며, 40% RH ART-SORB정량 계산식은 다음과 같다.

<40% RH 정량> 1 m³:980 g = 0.0377 m³:X

② 60% RH ART-SORB정량(40.7 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- 위와 동일한 방법으로 습도조절 능력을 측정하였으며, 60% RH ART-SORB정량 계산식은 다음과 같다.

<60% RH 정량> 1 m³:1080 g = 0.0377 m³:X

③ 70% RH ART-SORB정량(46 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- 위와 동일한 방법으로 습도조절 능력을 측정하였으며, 70% RH ART-SORB정량 계산식은 다음과 같다.

<70% RH 정량> 1 m³:1220 g = 0.0377 m³:X

④ 고습조건에서 40% RH ART-SORB정량(37 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- Data logger를 주변과 장내에 각각 설치하고 KCl 포화염용액⁴⁾(84% RH)용기를 개방한 채로 삽입했다. 이때 37 g의 ART-SORB가 담긴 접시는 알루미늄호일로 싸서 삽입한 후 문을 차폐했다.

- 1일 후 밀폐보관장 문을 열지 않은 채로 포화염용액 용기뚜껑을 닫고 ART-SORB가 담겨있는 접시의 호일을 벗겼다(Fig. 2. 참조).

- 7일 경과후 Data logger를 회수하여 밀폐보관장내 습도변화를 조사하였다.

⑤ 고습조건에서 60% RH ART-SORB정량(40.7 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- Data logger를 주변과 장내에 각각 설치하고 KCl 포화염용액(84% RH)용기를 개방한 채로 삽입한다. 이때 40.7 g의 ART-SORB가 담긴 접시는 알루미늄호일로 싸서 삽입한 후 문을 차폐했다.

- 2일 후 밀폐보관장 문을 열지 않은 채로 포화염용

액 용기뚜껑을 닫고 ART-SORB가 담겨있는 접시의 호일을 벗겼다.

- 7일 경과 후 Data logger를 회수하여 밀폐보관장내 습도변화를 조사하였다.

⑥ 고습조건에서 70% RH ART-SORB정량(46 g/0.0377 m³)을 이용한 실험

- 위와 동일한 방법으로 실험하였다.

III. 결 과

1. 카세트단위 습도조절 효과실험

① 40% RH ART-SORB의 습도조절 실험(Fig. 3. 참조)

- 문개방시 22% RH였던 장내 습도가 ART-SORB

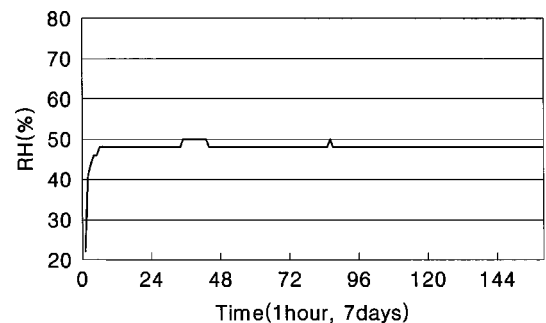


Fig. 3. ART-SORB controlled 40% RH of buffer capacity at natural humidity condition.

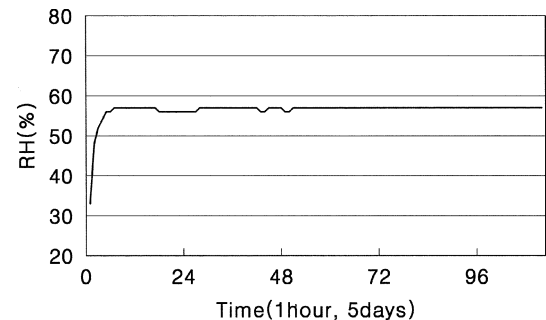


Fig. 4. ART-SORB controlled 60% RH of buffer capacity at natural humidity condition.

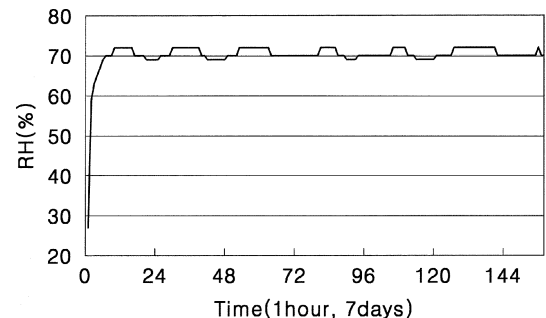


Fig. 5. ART-SORB controlled 70% RH of buffer capacity at natural humidity condition.

투입 및 문차폐후 5시간이 경과되면서 48% RH에 도달후 계속 일정하게 유지되었다(7일간).

② 60% RH ART-SORB의 습도조절 실험(Fig. 4. 참조)

· 문 개방시 33% RH였던 장내 습도가 ART-SORB 투입 및 문 차폐후 6시간이 경과되면서 57% RH에 도달하였으며 계속 일정하게 유지되었다(5일간).

③ 70% RH ART-SORB의 습도조절 실험(Fig. 5. 참조)

· 문 개방시 27% RH였던 장내 습도가 ART-SORB 투입 및 문 차폐후 5시간이 경과되면서 69~72% RH 범위에 도달 후 일정하게 유지되었다(7일간).

2. 체적당 정량을 사용한 습도조절 효과실험

① 40% RH ART-SORB정량(37 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 6. 참조)

· 문 개방시 52% RH였던 장내 습도가 40% RH ART-SORB 투입 및 문 차폐후 1시간 40여분이 경과되면서 48% RH로 낮아졌으며, 계속 일정하게 유지되었다(6일간).

② 60% RH ART-SORB정량(40.7 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 7. 참조)

· 문 개방시 39% RH였던 장내 습도가 60% RH ART-SORB 투입 및 문 차폐후 10시간이 경과되면서 56% RH에 도달하였으며 일정하게 유지되었다(7일간).

③ 70% RH ART-SORB정량(46 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 8. 참조)

· 문 개방시 29% RH였던 장내 습도가 70% RH ART-SORB 투입 및 문 차폐후 17시간이 경과되면서 65% RH에 도달한 후 일정하게 유지되었다(7일간).

④ 고습조건에서 40% RH ART-SORB정량(37 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 9. 참조)

· 79% RH였던 장내 습도가 40% RH의 ART-SORB가 담긴 접시 개봉 후 17시간이 경과되면서 56% RH까지 낮아졌고 일정하게 유지되었다(7일간).

⑤ 고습조건에서 60% RH ART-SORB정량(40.7 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 10. 참조)

· 83% RH였던 장내 습도가 60% RH의 ART-SORB

가 담긴 접시 개봉 후 80시간이 경과되면서 70% RH까지 낮아진 후 일정하게 유지되었다(7일간).

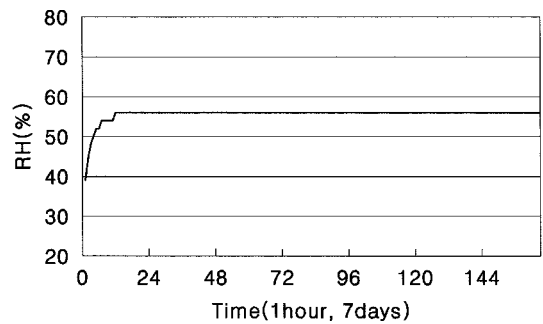


Fig. 7. ART-SORB controlled 60% RH (40.7 g/0.0377 m³) of buffer capacity at natural humidity condition.

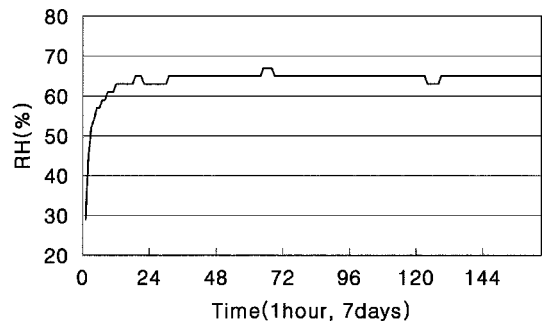


Fig. 8. ART-SORB controlled 70% RH (46 g/0.0377 m³) of buffer capacity at natural humidity condition.

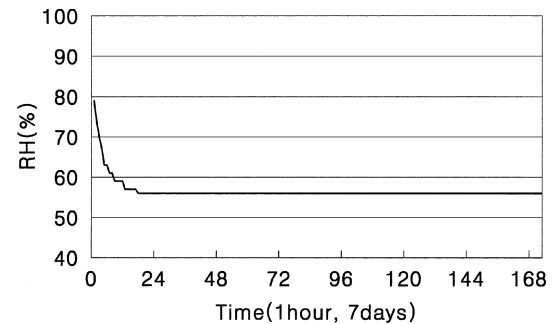


Fig. 9. ART-SORB controlled 40% RH (37 g/0.0377 m³) of buffer capacity at 84% RH condition.

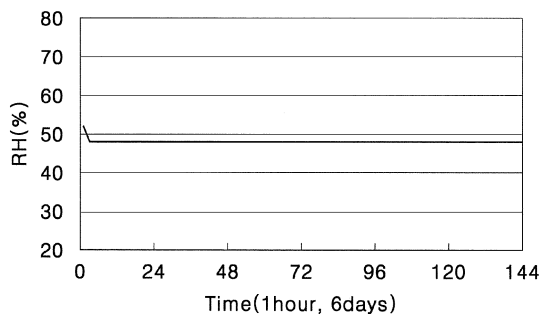


Fig. 6. ART-SORB controlled 40% RH (37 g/0.0377 m³) of buffer capacity at natural humidity condition.

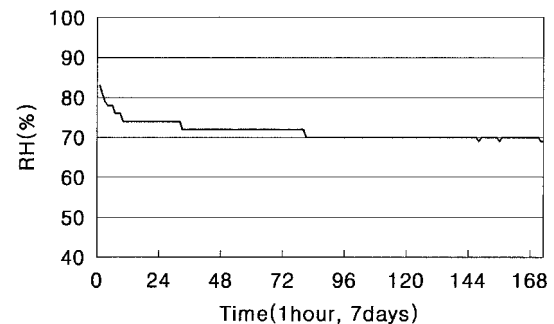


Fig. 10. ART-SORB controlled 60% RH (40.7 g/0.0377 m³) of buffer capacity at 84% RH condition.

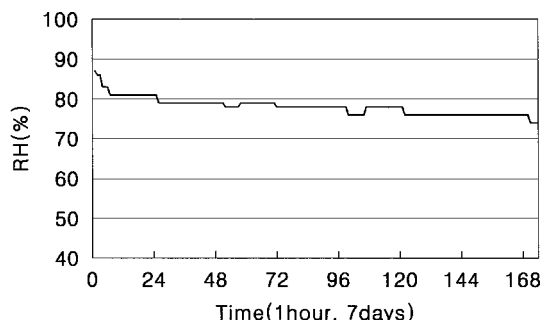


Fig. 11. ART-SORB controlled 70% RH (46 g/0.0377 m³) of buffer capacity at 84% RH condition.

⑥ 고습조건에서 70% RH ART-SORB정량(46 g/0.0377 m³)을 이용한 실험(Fig. 11. 참조)

· 87% RH였던 장내 습도가 70% RH의 ART-SORB가 담긴 접시 개봉 후 12시간이 경과되면서 76% RH까지 낮아졌으며 일정하게 유지되었다(7일간).

IV. 고 찰

국립박물관을 비롯하여 국내외 박물관 및 미술관 등지에서 미소환경 습도조절을 위하여 사용하고 있는 습도조절제(ART-SORB)의 효과 측정실험을 실시하였다. 실험은 외기의 영향을 배제시키고 습도조절제만의 효과를 보다 정확하게 측정하고자 밀폐조건하에서 수행하였고, 보관장 체적에 비하여 과량이긴 하지만 사용하기 편리한 카세트(cassette)형태의 ART-SORB와 보관장 크기를 고려한 정량의 ART-SORB의 습도조절 효과측정에 대하여 실시하였고 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 과량의 ART-SORB(카세트단위 사용)를 투입한 경우는 5~6시간 내에 목표습도에 이르게 되었고, 50~70% RH 범위내에서 평균습도를 조절하여 사용할 수 있음을 확인하였다. 40% RH 카세트 경우 목표습도치보다 다소 높게 나타났다.

2. 체적당 정량의 ART-SORB를 사용한 경우는 10~17시간 후에 목표습도에 이르게 되었고, 50~70% RH 범

위내에서 평균습도 조절이 가능함을 확인 할 수 있었다. 그러나 40% RH 정량실험 경우 일정시간 후 안정한 습도는 유지되었지만 그 효과가 60, 70% RH실험에 비하여 크지 않았는데, 그 이유는 60, 70% RH실험에 비하여 초기습도가 고습이었고 그로인하여 가습보다는 흡습특성이 나타난 결과로 추측된다.

즉 이상의 결과로부터 적어도 24시간 내에는 원하는 습도의 조절이 가능함을 알 수 있었으며, 온·습도변화에 더욱 민감한 유물의 경우라면 과량의 습도조절제를 투입하여 빠르게 안정한 습도를 유지시킬 수 있을 것으로 생각된다.

3. 고습조건에서 정량의 ART-SORB를 이용한 습도조절 효과측정 실험결과 목표습도치(40, 60, 70% RH)까지 낮추는 것이 어려웠으며, 습도평형을 이루는 시간도 17~121시간으로 길었다.

즉 ART-SORB는 저습조건에서 습도를 상승시키는데 탁월한 효과를 보였으며, 고습조건에서 습도조절 능력은 상대적으로 미약했다. 이러한 가습 및 흡습특성을 통해 ART-SORB는 높은 습도조건이 요구되는 유물(목기, 칠기류, 서화류 등)의 미소환경관리에 좀더 효과적인 완충재임을 알 수 있었다. 따라서 밀폐성이 우수한 보관장 및 전시케이스내에서는 50~70% RH가 충분히 유지될 수 있기 때문에 유물의 안전에 도움이 되리라 생각한다.

참고문헌

1. 문화체육부, 「진열장 및 전시케이스 내부 환경유지 방안」, 『박물관내 전시 및 수장공간의 공조환경 기준 연구』 (1996)
2. Thomson, 『The Museum Environment』, 1, pp.105-110, Butterworths, England (1978)
3. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목, 『목재과학 실험서』, p.43, 광일문화사 (1993)
4. Peter Brimblecombe, Brian Ramer, 「Museum display cases and the exchange of water vapour」, Studies in Conservation, Vol. 28, pp. 179-188 (1983)