

박물관의 외기처리 설비

최 병 준 | 삼우설비컨설팅
에너지기술연구소

1. 머리말

최근의 경제수준 및 문화수준의 향상은 박물관의 건설에 대한 필요성을 증가시키고 있다. 이러한 박물관 또는 미술관은 역사유물, 미술공예품 등의 수집, 보관, 전시, 조사연구를 목적으로 한 건물이다.

따라서 박물관의 건립에는 건물의 외관 및 구조, 전시실의 크기 및 배치, 전시동선도 중요하지만, 더욱 중요한 것은 유물의 손상없이 오랜 기간 보존하는 것과 전시실 내의 관람객을 위한 쾌적한 공조환경이다.

그러나 우리를 둘러싸고 있는 대기는 인간이나 유물에 손상이 되는 여러 가지 요소를 함유하고 있다. 온도, 습도에 의한 변형, 변질 및 유해 미생물의 발생, 분진, 아황산가스, 질소산화물, 탄산가스, 오존 등 오염공기에 의한 화학적 변질과 곰팡이, 세균, 박테리아 및 곤충 등 생물에 의한 생물학적 변질 등이 그것이다.

본 고에서는 박물관 유물의 보존에 적합한 실내 환경 조건과 대기오염물질이 소장품에 미치는 영향 및 실내허용 기준치에 대해 알아보고 그 대책의 하나로서 외기처리방법에 대하여 중점적으로 서술하고자 한다.

2. 박물관의 환경제어

2.1 가스 및 분진에 의한 유물의 손상

2.1.1 개요

박물관의 소장품의 보존에 미치는 영향으로는 온

표 1. 주요 실내공기 오염물질과 발생원

발 생 원		실내공기 오염물질
인 체	호흡	CO ₂ , 수증기, 냄새
	재채기	세균입자
	피부	피부조각, 비듬
	의류	섬유, 모래먼지
	화장품	냄새, 각종 미량물질
	흡연	분진, 타르, 니코틴
사 랑 활 동	보행동작	모래먼지, 섬유류
	연소기기	CO ₂ , CO, NO, NO ₂ SO ₂ , C _x H _y , 매연
	사무기기	NH ₃ , O ₃ , 용제류
건 축 자 재	합판류, 내화재 단열재, 시공물	HCHO, 석면, 유리섬유, Rn, 용제
유 지 관 리	작업, 재료	모래먼지, 분진, 세제, 용제, 곰팡이
살충제	직접	분사제, 살충제
	재비산	살충제, 살균제

표 2. 공기중 주요 오염물질의 문화재에 대한 작용

공기중 오염물질	문화재에 대한 작용	대 책
분진	퇴적, 달라붙기, 이것에 습기가 작용해서 일부가 용해하여 문화재의 재질에 작용한다.	고성능 필터의 설치
염(해수, 미스트, NaCl)	문화재에 부착하여 습기에 의해 끈적거리다. 부식을 일으킨다. 해변의 시설에서 특별히 주의해야 한다.	고성능 필터의 설치
아황산가스(SO ₂)	지면(紙綿) 등의 셀룰로스 물질, 레자, 염안료, 금속류, 석회석, 대리석, 회반죽 등을 수분과 작용시켜 황산(H ₂ SO ₄)으로 만들어 침해한다.	활성탄 필터 또는 물·약 알칼리액이 있는 공기세정설비의 설치
황화수소(H ₂ S)	은·동 제품에 대한 부식작용(소택지·온천, 오염된 하천 등에서 발생, H ₂ S와 비슷한 유기유황화합물 메르카프탄은 쓰레기 하치장 등에서 발생)	활성탄 필터 또는 물·약 알칼리액이 있는 공기세정설비의 설치
암모니아(NH ₃)	공기중의 SO ₂ 와 반응해서 황산암모늄의 미립자를 만들어 유회(油繪)의 표면 등을 덮는다. 이런 현상을 부루밍이라고 한다.(화학공업 석유정제 공장 등에서 발생)	공기세정설비의 설치
질소산화물(NO, NO ₂)	염료에 유해하다.(연료의 연소, 화학공장 등에서 발생)	활성탄 필터의 설치
오존(O ₃)	모든 유기물 셀룰로스 물질, 도료, 염료, 아교, 고무 등을 침해한다.(전기집진기에서의 발생에 주의)	활성탄 필터의 설치
이산화탄소(CO ₂)	탄산염을 만들기 쉬운 안료로 보호막이 없는 것 등에 작용한다. 관객의 호흡에 의해 생긴다.(환기가 충분치 않을 때 CO ₂ 농도는 높아진다.)	충분한 환기

도, 습도, 빛, 기계적 외력 등의 물리적 요인과 산화, 환원, 분해 등의 화학적 변화가 있으며, 곰팡이, 해충 등에 의한 생물피해, 분진, 유해가스를 포함한 공기오염 등이 있다.

이같은 요인들이 복합적으로 작용하여 수장품에 큰 영향을 미친다. 이러한 요인들로부터 수장품을 보호하기 위해 피해요인이나 재질변화를 과학적으로 규명하는 것이 매우 중요하다. 표 1은 이러한 실내공기 오염물질 및 발생원에 대해서 나타내고 있다. 유물이 보존되고 있는 미술관이나 박물관도 실내공간으로서 이러한 공기오염 현상이 발생되며,

이것이 장기적으로 유물을 손상시키게 된다. 따라서 유물을 적절하게 유지관리 하기 위해서는 실내 공기 오염물질이 유물에 미치는 영향을 규명하여 유물의 보존환경 기준을 제시할 필요가 있다.

2.1.2 공기오염물질이 수장품에 미치는 영향

박물관 또는 미술관은 대도시의 중심부에 건설되는 경우가 많다. 따라서 대도시 특유의 대기오염의 영향을 받게 된다.

이러한 공기중의 입자상 및 가스상 오염물질은 박물관의 유물에 다양한 형태로 영향을 미쳐 장기

적으로 유물을 손상시키게 된다. 이러한 오염물질 중 대표적인 오염물질이 수장품에 미치는 영향과 그 대책을 표 2에 나타냈다.

표 2에 나타난 오염물질 중 유물에 크게 영향을 미친다고 알려진 가스상 오염물질인 아황산가스, 이산화질소, 오존 등에 대해서 알아보기로 한다.

(1) 아황산가스(SO₂)

아황산가스는 화석연료를 연소시키는 곳 어디서나 발생한다. 화석연료중 황(S)이 산소(O₂)와 결합하여 아황산가스(SO₂)를 만들고, 아황산가스가 산소와 결합하여 삼산화황(SO₃)을 생성하고 다시 한번 물과 결합하여 황산(H₂SO₄)으로 변한다.

일반적으로 SO₂의 농도는 1 μ g/m³ 이하이지만 문체는 이 SO₂가 불균일하게 분포한다는 것이다. 즉, 공장지대에 밀집하여 발생하고 대부분의 박물관이나 유적들이 이러한 공장지대와 거의 일치하게 분포하고 있다는 것이다. 50 μ g의 SO₂는 0.04 μ l의 황산을 만들지만, 만일 1시간에 한번 공기가 순환되는 100m³의 전시실을 생각한다면 한달간 3ml의 황산이 전시실 내를 순환하고 그들 중 일부는 전시물에 부착될 것이다.

이러한 아황산가스가 수장품의 재질에 따라 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

① 탄산칼슘 물질(석고, 석회석, 대리석)

황산과 탄산칼슘이 작용하여 이산화탄소를 배출하고 황산칼슘이 되면서 표면에 손상을 입힌다. 그러므로 대리석으로 만들어진 건축물이나 석회석 판위에 염로로 그려진 프레스코 벽화 등에 큰 피해를 입힌다.

② 셀룰로스 물질(종이, 먼, 아마포)

높은 상대습도에서 오염의 속도가 빨라진다. 그

러나 중간 정도(30~70%)의 상대습도에서는 습도가 큰 영향을 미치지 못한다.

③ 단백질(실크, 양털, 가죽)

실크가 양털보다 훨씬 더 아황산가스와 빛의 영향을 많이 받는다.

④ 금속(철, 구리, 은, 납, 금)

아황산가스의 피해를 가장 많이 입는 금속이 철이다. 피막이 없는 구리는 상대습도가 60~70%를 넘지 않는 한 박물관 공간 내에서 아황산가스의 피해를 입지 않는다. 은의 경우 황화수소(H₂S)의 피해를 입는데, 상대습도가 70% 이상일 때 피해가 증된다. 순금일 경우 아황산가스나 다른 종류의 오염원에 의한 피해는 없다.

(2) 이산화질소(NO₂)

수 많은 종류의 질소산화물 중 이산화질소는 물과 결합하여 질산이 되므로 위험성이 있다. 이러한 이산화질소는 아황산가스에 의한 피해에 더해 철의 부식이나 셀룰로스의 수화같은 피해를 일으킨다. 특히 아민계열에 미치는 영향이 크다. 늘어나는 자동차 배기가스 등으로 인하여 이산화질소에 의한 피해는 더욱 그 비율이 늘 것이다.

(3) 오존(O₃)

대기중에 존재하는 오존은 다음과 같이 크게 3가지의 원인에 의해서 발생하게 된다.

① 성층권에서의 자연적 생성

성층권에서 산소가 자외선을 받아서 생성된다. 이렇게 생성된 오존이 대류에 의해 지표면 근처의 공기에 함유된다.

② 광화학적 스모그

자동차 배기가스에 자외선이 쬐어져서 생성된다.

③ 전기기구에 의한 생성

300nm보다 작은 파장을 가진 자외선을 방출하는 특별한 전기기구들에 의해 발생한다.

이렇게 발생하는 오존은 강력한 산화력 때문에 모든 자연재료에 위험성을 가지고 있다. 오존은 온·철의 산화와 온·동의 황화를 가속시킨다. 다행히도 관람객들의 호흡이 오존을 파괴하는데 도움을 준다. 오존은 보통 실내에서 수명이 아주 짧다.

(4) 염화물

해수가 작용하는 곳, 즉 바닷가 주위의 유물에서 피해가 발생한다. 특히, 파도에 의해 공기중에 떠다니게 된 소금기의 영향으로 금속에 대한 피해가 크다.

2.2 오염물질 제거시스템

2.2.1 박물관의 실내오염물

박물관의 오염물질은 대부분 구조물 또는 장식물 난방기구, 방문자들 및 외부오염물질의 유입으로부터 발생하게 된다. 특수한 경우에는 유물 그 자체로부터도 위험량 정도까지의 오염물질이 방출되기도 한다. 이러한 오염물에 대한 제어 및 계측방법은 주로 그들의 발생원에 따라 결정되므로 여러 가지 오염물을 발생원 별로 분류하면 다음과 같다.

(1) 건축구조물로부터 생성된 오염물

신축 콘크리트 빌딩에서의 공기는 일반적으로 미세한 에어로졸 입자들에 의하여 알칼리성을 띠는다고 보고되고 있다. 이러한 알칼리성의 미립자들은 주

로 유화그림의 얼룩, 실크섬유의 인장강도의 저하, 물감 또는 안료의 변색 등의 원인이 된다. 건축구조물로부터 생성되는 오염물의 대표적인 것으로 알칼리성의 포름알데히드인데 일반적으로 실내의 포름알데히드 농도는 외기의 농도보다 높다. 포름알데히드는 주로 단열재로 사용되는 요소포름 알데히드로부터 기인되는데, 합판의 접착제 및 파티클보드 등으로부터 발생되기도 한다.

(2) HVAC 시스템에 의한 오염물

박물관에서 감지되는 SO_x, NO_x, O₃ 및 입자상 오염물 가운데 많은 양이 HVAC 시스템에 의하여 기인되어진다. 오염가스 제거장치가 불충분한 HVAC 시스템을 가진 빌딩의 경우에서도, 외부농도에 대한 내부농도의 비가 가스들의 빌딩표면 또는 전시물들과 반응에 의하여 대개 1이하의 값을 가진다. 그러나 효과적인 오염물 제거장치가 사용되는 경우 SO_x, O₃ 및 입자상 오염물질의 농도는 현저하게 줄어들지만, NO_x의 경우는 다소 제어가 어려운 점이 있다.

(3) 수장품 또는 전시케이스에 의한 오염물

① 질화셀룰로오스로부터 발생하는 NO_x

황산이 있을 경우 질산을 함유한 면 또는 순수 목재펄프로부터 순수 셀룰로오스와 반응에 의하여 만들어지는 질화셀룰로오스는 박물관의 NO_x 배출원으로 잘 알려져 있다. 질화셀룰로오스를 함유한 물건들로 박물관에 널리 사용되는 것은 사진필름, 레코드판, 인조실크, 래커, 접착제 및 비닐처리된 인조가죽 등의 합성수지 등이 있다. 질화셀룰로오스는 시간이 지남에 따라 계속적으로 NO_x를 방출하며, 전시물 가운데서 가장 강력한 NO_x 방출원은 사진재료이다.

② 저장물로부터 생성되는 휘발성 산성가스

참나무와 전나무 등으로부터 초산, 개미산 및 타닌산 등이 방출된다. 이러한 오염물들은 납성분의 물질에 심각한 손상을 가하며, 어떤 경우에는 참나무 상자에 오랫동안 저장한 후의 탄산납은 무결정으로 완전히 변해버린다. 이러한 나무로부터의 산성가스의 방출은 아연 및 에나멜 등의 부식을 유발시키기도 한다.

은의 경우는 고무 페인트 및 카세인 등에서 박테리아의 활동에 의하여 방출되는 황화물에 의하여 부식된다. 그리고 구리의 검은 반점은 H_2S 와 구리 합금의 반응에 의하여 발생되는데, 이때 H_2S 의 발생원은 확실하지는 않지만 외부공기의 유입, 유기물질의 미생물 분해, 진열장 물질로부터의 유출 등으로부터 기인된다고 추정된다. 그리고 구리의 훼손은 오존에 의해서도 발생된다고 보고되고 있다. 결국 이러한 손상에 대하여 가장 영향력 있는 오염물은 과산화물, O_3 , SO_x , H_2S 및 NO_x 등이다. 산화가스 또는 증기가 없는 저온건조한 환경에서의 저장에 이러한 손상을 방지하기 위하여 권장되고 있다.

(4) 외부로부터 오염물의 유입

앞서 언급한 바와 같이 입자상 물질과 SO_x , NO_x 및 O_3 등이 실내오염물질의 대표적인 것들이다. 공기조화 설비가 설치된 거의 모든 건물에는 적어도 입자상 물질을 제거하는 필터는 설치되어 있다. 그리고 일부의 건물에서는 SO_x 를 제어하는 시스템도 갖추고 있으며, 최근 특정 건물에서는 오존까지도 제어하는 설비를 보유하고 있다. 그러나 NO_x 는 현재 다른 범주의 오염물로 제어되고 있다. 최근의 박물관 건축에서 이러한 오염물질에 대한 관심이 증가하고 있으나 유물손상에 관한 정량적인 관계를 나타내는 보고서는 거의 없는 실정이다.

① 황산화물(SO_x)

1930년 이후로부터 SO_x 는 종이침식의 주 원인이라는 사실이 밝혀졌다. 그리고 초기 황화물을 함유하지 않는 가죽의 경우 SO_x 가 존재하는 대기중에 노출시켰을 때 1년마다 무게비로 1%의 황화물이 축적된다는 사실이 관찰되었다. 그리고 SO_x 는 천연 또는 인조섬유 등을 산화시킨다. 이때 재질의 강도저하를 가져온다. 온도와 상대습도가 정상적인 상태에서 종이류나 아세테이트 필름 및 기타 사진 재료들은 매우 느린 속도로 산화된다. 사진재료의 보존에서 가장 결정적인 요인중 하나는 H_2S , SO_x , NO_x , 과산화물 및 O_3 등의 산화성 가스의 존재이다. 이러한 오염물에 의한 손상결과는 보통 황색화 또는 반사율의 저하 등으로 나타난다. 이러한 황산화물들은 주로 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료가 연소될 때 대기중에 방출된다. 모든 연료는 황을 포함하고 있는데, 예를 들면 휘발유 0.1%, 디젤유 0.35%, 석탄 1.3~1.5% 등이고, 이러한 황이 연소할 때 공기중의 산소와 결합하여 이산화황이 되고, 이것이 다시 산소와 결합하여 삼산화황이 된다. 아황산가스는 물과 결합하면 아주 독하고 부식성이 강한 황산으로 변한다. 따라서 박물관 실내공기에는 이러한 이산화황이나 삼산화황 같은 아황산가스가 일정한 농도 이하로 엄격하게 제어되어야 한다. 중요한 것은 대기중의 이산화황은 연료의 연소에 의해서만 생기는 것이 아니고 자연적인 생태학적인 요인에 의해 생기는 것이 절반 가량을 차지한다는 것이다. 다만 대기중의 이산화황의 농도는 $1\mu g/m^3$ 보다 작은 값을 갖는다. 그러나 연소에 의해서 발생하는 아황산가스의 농도는 그 레벨이 높아서 보통의 산업화된 지역의 농도는 $30\sim 100\mu g/m^3$ 정도에 이르게 된다. 그러나 건물 실내에서의 이산화황 농도는 이산화황이 여러 종류의 표면에 급속하게 흡착됨으로 인하여 그 농도가 주변 대기농도의 절반가량으

로 줄어든다. 아황산가스는 모든 박물관 유품에 손상을 주지만 특히 셀룰로오스, 즉 종이, 천연섬유류 등은 모두 이산화황으로부터 생기는 황산에 아주 취약하다. 박물관에서 요구되는 아황산가스 농도는 최고 수준의 경우 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb) 이하로 제어되어야 한다.

② 질소산화물(NO_x)

대기중에는 많은 종류의 질소산화물이 있지만 오염된 대기의 경우는 대개 N_2O 나 NO , NO_2 등의 상태로 존재한다. N_2O 의 경우 매우 안정적이어서 유물에 손상을 주지 않고, NO 의 경우도 별 문제가 없으며 다만 오존생성에 관련되므로 고려대상이 된다.

그러나 NO_2 는 물에 용해되면 매우 강한 질산으로 변하여 황산과 함께 유물에 큰 손상을 준다. 특히 질산은 산화매체가 되므로 부식을 촉진한다. 대기중의 이산화질소의 농도는 $2\sim 3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이다.

그러나 도시지역에서 오존이 발생될 때 같이 생성되어 오존과 비슷한 레벨이 된다. 실내에서 이산화질소의 농도는 이산화황과 같이 줄어들 것으로 예상된다. 이산화질소도 박물관 내에서 그 농도가 최고 수준의 경우 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5.3ppb)이하로 제어되어야 한다.

③ 오존(O_3)

오존은 20~30km 상공의 성층권에서 UV radiation이 산소에 작용하여 생성된다. 따라서 대기중의 상층부와 하층부가 섞임으로 인하여 지상에서의 오존배경 농도는 $20\sim 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도가 된다. 그러나 우리나라와 같이 산업화된 지역에서는 인공적으로 오존이 생성되어 그 농도가 높아질수 있다. 오존은 강력한 산화제로 모든 유기성 재료에 작용하므로 박물관 유물에는 아주 위험한 유해요소가 된다. 박물관

내에서 그 농도가 최고 수준의 경우 $0\sim 2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1ppb)이하로 제어되어야 한다.

광화학스모그 지역에서 오존에 대한 대책을 하지 않는 경우 70 ppb 이상의 오존농도를 나타내는 경우도 많다. 이때의 오존은 고무나 섬유 및 플라스틱 류들의 유물과 반응하여 변색과 퇴색을 일으킨다. 오존의 효과적인 제어필터로서는 활성탄이 주로 사용되는데, 약 10ppb 이하로 제어될수 있다고 보고되고 있다.

④ 입자상 물질

입자 및 에어로졸은 유물손상의 대표적인 오염물질이다. 대기중에 부유하는 입자상 물질은 대개 그 크기가 $0.01\sim 100\mu\text{m}$ 정도로 그 생성은 연소, 가열, 파쇄 등 자연적 또는 인공적인 여러 생성 경로를 따라 발생하게 된다. 부유입자의 크기분포는 그 입자의 제거시스템의 선정에 매우 중요한 요소이다.

부유물질 중 분진, 검댕이, 담배연기, 콘크리트 구조물에서 발생하는 알칼리 에어로졸, 그리고 섬유가루 등의 입자상 물질 등은 유물을 훼손시키는 중요한 오염물질이다.

특히, 담배연기 입자에는 타르 및 니코틴 이외에도 일산화탄소, 아세톤 등의 수백가지의 화학조성을 갖는 오염물질을 내포하고 있다. 이러한 입자상의 분진을 효과적으로 제어하기 위해서는 에어필터 시스템이 반드시 필요하게 된다.

2.2.2 오염제어 기준

박물관 오염제거에서 가장 중요한 오염물은 입자상 물질과 SO_x , NO_x 및 O_3 등의 가스상 물질이다. 유물보존의 관점에서 가장 중요한 문제중의 하나가 이러한 오염물질들에 대한 적절한 환경기준의 설정이다. 박물관, 도서관 등에서 오염물의 농도에 대한 기준은 표 3과 같다.

표 3. 박물관에서의 공기오염 기준

근거 / 설치	SO _x	NO _x	O ₃	입자상 물질
ANSI-PH	적절한 세척 및 흡착제			가능한 HEPA 필터
ASHRAE	원통모양의 필터 또는 외부공기에 존재하는 화학오염물의 스프레이 세정기			85% DSM
CCI	10ppb를 초과하지 않아야 함. 고농도 지역일 경우 중앙식 공기정화기 고려			95%, ≥1μm 50%, ≥0.5~1μm
LC	Purafil system			95%
NBS	1μg/m ³ (0.4ppb)	5μg/m ³ (2.5ppb NO ₂)	25μg/m ³ (13ppb)	75μg/m ³ TSP(Hi-Vol)
N-PNB	≤10μg/m ³	≤10μg/m ³	≤2μg/m ³	High rating DSM
ROM-C	SO _x , NO _x , O ₃ 제거를 위한 활성탄 필터			99%, ≥10μm 95%, ≥1μm
T	≤10μg/m ³	≤10μg/m ³	0~2μg/m ³	60~80% MBT

* ANSI-PH : American National Standards Institute-Photographic Standards

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers

CCI : Canadian Conservation Institute

LC : Library of Congress(Madison Building)

NBS : National Bureau of Standards

N-PNB : Newberry Library-PN Banks Planning Study

ROM-C : Royal Ontario Museum Conference

T : G.Thomson

DSM : Dust Spot Method

MBT : Methylene Blue Test

3. 오염제거용 필터

3.1 입자상 오염제거 필터

박물관에서 제어되어야 하는 입자상 오염물인 분진의 질량농도와 개수농도는 향후 지속적인 연구로 그 기준이 제시되어야 할 것이며, 그러한 제시된 실내기준을 만족하기 위해서는 부유분진 제거용 필

터를 설치해야 하는데 먼저 필터의 선정과 포집효율에 대한 성능이 분석되어야 한다. 예를 들면, 어떤 필터가 2μm 보다 작은 입자를 99% 효율로 제거하였다고 할지라도 그 분진무게를 기준으로 하면 20% 정도밖에 제거한 것이 아니므로, 필터를 선정할 때 제거분진의 크기를 기준으로 할 것인지 또는 포집분진의 무게를 기준으로 할 것인지 먼저 결정

표 4. 에어필터 여재의 성능비교

여재의 종류	ASHRAE 중량법 포집효율 (%)	ASHRAE 비색법포집효율 (대기분진%)	MIL-STD-282, DOP 포집효율 (%)	ASHRAE D.H.C g/(1000ft ³ /min개)
발포고무(foam rubber) 및 부직포	70~80	15~30	0	180~425
유리섬유, 셀룰로오스 섬유제 얇은 매트	80~90	20~35	0	90~180
유리섬유 매트, 다층 셀룰로오스 매트, 울펠트	85~90	25~40	5~10	90~180
5~10 μ m 섬유경, 1/4~1/2" 두꺼운 매트	90~95	40~60	15~25	270~540
3~5 μ m 섬유경, 1/4~3/4" 두꺼운 매트	95 이상	50~80	35~40	180~450
1~4 μ m 섬유경, 각종 섬유 및 석면 혼합물	95 이상	80~90	50~55	180~360
1/2~2 μ m경 섬유제 매트(통상 유리섬유)	-	90~98	75~90	90~270
대부분이 서브마이크론의 유리섬유와 석면 섬유로 된 HEPA 필터류	-	-	95~99.999	500~1000
박막필터(셀룰로오스, 아세테이트, 나일론 등의 박막으로서 μ m 단위의 작은 구멍이 뚫려 있는 것)	-	-	~100	-

하여야 한다.

입자상 오염제거 필터는 여러 가지 사용목적에 따라 수많은 종류가 있다. 이와같이 많은 종류를 동일 수준으로 평가하기는 곤란하기 때문에 세가지 방법으로 나누어서 평가한다. 이들 세가지 측정방법을 정량적으로 관련짓기는 매우 어려우나 ASHRAE에서는 표 4와 같이 건식여재의 성능을 비교한다.

박물관의 오염제거와 관련하여 Rogers(1976)는 최소 85% 이상의 입자제거 필터를 추천하고 있으며, 입자의 크기를 고려하여 LaFontaine(1979)는 0.5 μ m와 1 μ m 사이의 입자에 대하여 50% 이상, 1 μ m 이상의 입자에 대하여는 95% 이상의 집진효율을 갖는 필터를 추천하고 있다. 이상으로부터 각 연구 결과들에 따라 요구되는 필터의 집진효율은 다소

차이가 있으나, 최근의 NRC(1986)의 보고서에 의한 가장 높은 요구성능이 표 5에 나타나 있다.

3.2 가스 오염제거 필터

흡착, 흡수, 소각 및 촉매변환 등이 오염가스의 제거를 위한 기술들이다. 이 가운데서도 흡착법이

표 5. 박물관용 입자상 오염물질 제거용 필터의 집진 요구성능(NRC, 1986)

필터	ASHRAE 중량기준	ASHRAE 대기분진기준	계수법 기준
프리필터	80%	30%	5%
중성능필터	95%	80%	50%
고성능필터	-	90%	75%

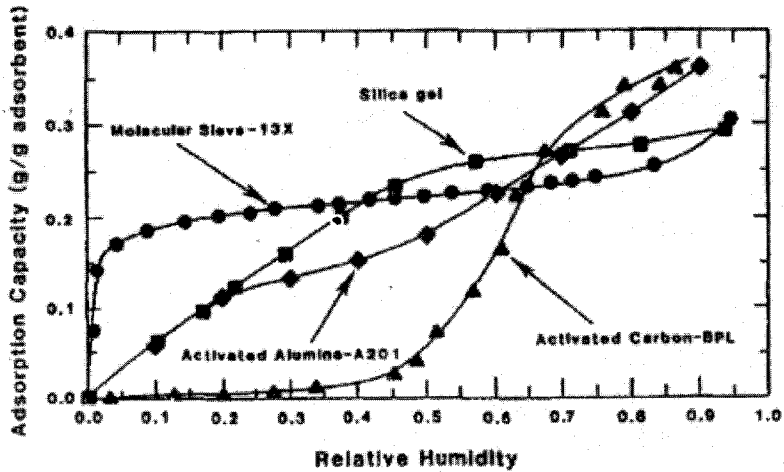


그림 1. 상온에서 종류별 흡착제의 습기제거 특성

미량의 오염가스 제거에 가장 많이 사용되는 시스템이다. 수많은 다공성을 가진 그래놀, 펠렛 또는 비이드 형상의 고체 물질들이 가스나 증기를 흡착할 수 있지만 공기정화에 사용되는 흡착제는 다음의 4가지 종류 가운데 속한다. 즉, 실리카겔(silica gel), 활성 알루미나(activated alumina), 활성탄(activated carbon) 및 제올라이트 또는 분자 시이브(molecular sieve) 등이다.

최근에는 폴리머(polymer)나 MgO 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 수증기 또는 습기 등도 이러한 흡착제에 의하여 제거되는데, 이러한 습기는 유물의 직접 손상뿐 아니라 미생물균 및 곰팡이 등의 성장원인이 된다. 그리고 이러한 수증기는 염소 또는 암모니아를 흡수하여 부식성을 증가시킨다. 따라서 실내습기의 제어는 실내오염을 향상시키는 효과적인 수단이다. 이에 따라 ASHRAE Standard 62-1989는 상대습도의 제어범위를 20~80%의 광범위한 영역에서 30~60%로 강화시키고 있다.

실리카겔, 분자 시이브 및 활성 알루미나 등은 상

당한 수증기 흡착성을 갖는다. 그림 1은 상대습도의 변화에 대한 각 흡착제의 최대 흡착특성을 보여준다. 분자 시이브는 일반적으로 낮은 습도에서 매우 높은 흡착성을 가진다. 반대로 실리카겔 및 활성 알루미나는 공기의 상대습도 증가에 따라 점차적으로 흡착성이 증가되는 효율적인 제습특성이 있다. 분자 시이브는 보통 황산화물의 흡착제로서 효과적이다.

암모니아의 경우 분자 시이브보다 실리카겔이 더욱 더 효과적이다. 실온에서 0.06kg의 암모니아가 실리카겔 1kg에 의해서 제거될 수 있다. 이때 제거 효율은 암모니아 농도가 증가할수록 증가한다.

오존(O₃)은 일반적으로 실내 자체에서는 발생하지 않으며, 외부로부터 유입되는 오존이 실내로 유입되기 전에 제거하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 1000kg의 탄소를 함유한 탄소층은 14,000ft³/min의 공기를 처리할 수 있다. 초기 오존 제거효율은 95±5%를 가지나 3600시간 동작 이후에는 50%의 효율로 저하된다. 이러한 실험 이후로 미국

전역의 박물관에서 오존을 제거하기 위하여 활성탄을 사용하고 있다. 표 6은 6곳의 박물관(4곳은 활성탄 사용, 2곳은 사용하지 않음)에 대한 내부 오존의 변화를 보여주는데, 표에서 보는 바와 같이 활성탄은 오존제어에 지배적인 효과를 나타낸다.

Parmer와 Grosjean은 오존, NO₂, SO₂ 및 H₂S에 대하여 여러 가지 고체 흡착체에 의한 제거효율을 실험하였다. 결과는 활성탄이 4가지 비유기가스들에 대하여 거의 100%의 제거효율로서 가장 좋은 것으로 나타났다. 그리고 활성 알루미늄은 SO₂에 대해서만 효과적이었고, 분자 시이브 13X는 초기에는 매우 효과적이었지만 실험이 진행됨에 따라 급속히 떨어졌다. 그리고 박물관의 습기제거를 위해서 자주 사용되는 실리카겔도 초기에는 매우 효과적이었지만, 4~5시간 이후는 NO₂, SO₂ 및 오존의 제거효율이 떨어졌다.

Daisey와 Hodgson은 NO₂의 제거에 활성탄 필터가 가장 효과적이라는 것을 보여주었다. 활성탄 필터를 내장한 4개의 이동형 공기청정기를 23±2°C, 47±9% 상대습도에서 4시간 동안 20m³ 방에서 실험하였다. 약 100~150g의 활성탄을 보유하는

panel 및 extended surface 필터에 40%의 제거효율을 나타냈다.

일산화탄소, 오존, 산화질소 및 황산화물 등은 일반적으로 높은 반응성을 가지는 분자들이다. 따라서 촉매과파가 효과적이는데, 이 경우 높은 온도를 필요로 한다. 이에 따라 실온에서 사용가능하고 습도에 덜 민감한 촉매제의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Collins(1986)는 CO, SO₂, H₂S, O₃, NH₃, NO 및 NO₂를 제거하기 위한 실온촉매(roomtemperature catalyst :LTC)에 대한 실험을 수행하였는데, 활성탄에 50% RTC 촉매를 함유하는 전체 230g의 혼합물을 가지는 에어필터 유니트를 설계하여 300ft³/min의 공기유량에 대한 성능시험을 수행하였다. 2시간 후의 시험결과를 그림 2에 나타내었는데, H₂S 같은 오염물질들은 촉매를 서서히 중독화시켜 제거효율을 감소시킨다. 촉매기술은 데시칸트 습도제어장치와 함께 사용될 수 있지만, 오염물의 혼합상태에서 촉매반응, 촉매층의 교환주기, 온습도 효과 등에 관한 더욱 더 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

이상으로부터 흡착법은 유기 또는 비유기가스 오염제어에 대하여 흡착제를 다시 사용할 수 있도록 재생될 수 있다면, 가장 경제적인 방법이다.

표 6. 오존제거에 대한 활성탄 필터의 효과

장 소	최대 실내	최대 외기	외기 O ₃ 에 대한 실내 O ₃ 의 백분율
활성탄 사용 없음			
Scott	0.043	0.179	24%
Montgomery	0.060	0.150	40%
활성탄 사용			
Southwest	0.008	0.174	5%
Huntington	0.004	0.110	4%
LA County	0.010	0.165	6%
J.Paul Getty	0.009	0.095	9%

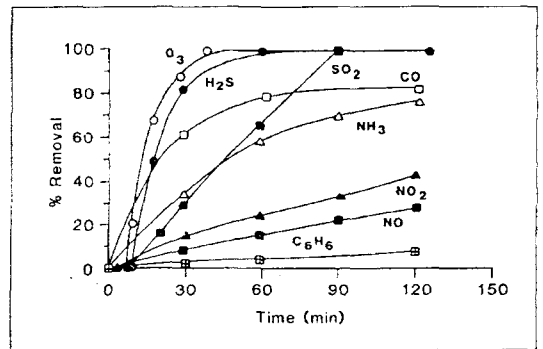


그림 2. LTC의 제거효율

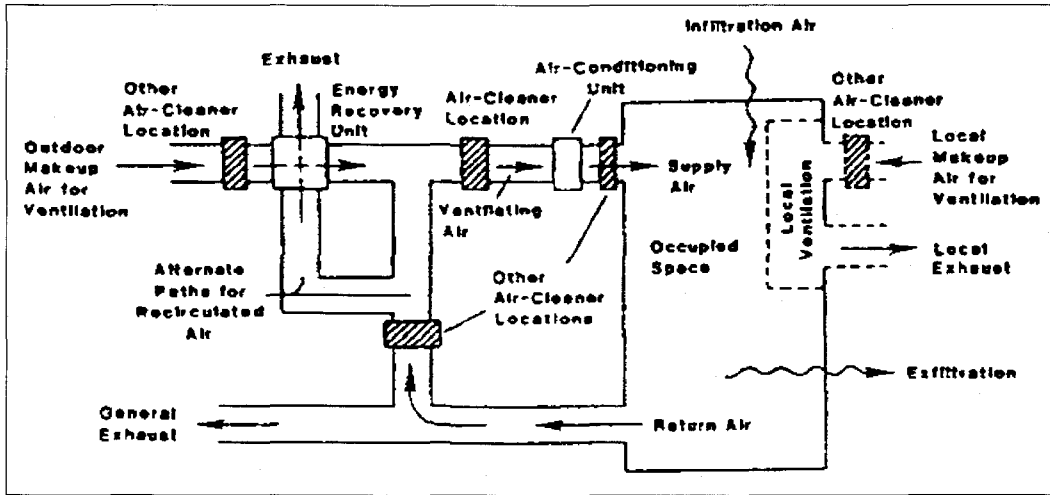


그림 3. 고체-흡착 공기청정법에 의한 공기조화 시스템 계통도

따라서 대부분의 시스템은 흡착-재생 사이클을 반복한다. 그리고 활성탄이 P 무디 필터, extended surface 필터 및 전기집진기 등의 기존의 공기청정기와 연계하여 가장 많이 사용되어진다. 활성탄 필터는 HVAC 시스템에서 유입공기 및 순환공기의 오염제어를 위하여 많이 사용되어지는데, 이러한 흡착 공기청정기를 사용하는 환기시스템의 개략도는 그림 3과 같다.

3.3 박물관의 공기정화 사례조사

3.3.1 일본 에도 동경 박물관

1993년 3월 개관한 일본의 에도 동경 박물관의 기계설비 중 전시실과 수장고의 공기정화 방식을 소개하기로 한다.

(1) 전시장

관람객과 전시유물에 적합한 실내환경을 유지하기 위한 공기청정장치는 사람으로부터 발생하는 CO, CO₂와 건축자재로부터 발생하는 휘발성 유기

화합물 등 실내에서 발생한 분진을 제거해야 한다. 또한, 전시물의 보호를 위해서 외기중에 포함된 질소화합물이나 황산화물 및 콘크리트로부터 방출되는 알칼리성의 가스를 제거하여야 한다. 박물관 전시실의 공기정화 시스템 계통도는 그림 4와 같다.

재실자로부터 발생한 CO₂를 포함한 가스물질은 외기를 취입하여 희석한다. AHU 내에 설치한 공기정화장치에는 프리필터, 화학물질을 흡착하는 케미컬 필터 및 화학 흡착제의 비산방지와 분진을 포집하는 중성능 필터로 공기를 정화하여 실내에 급기하게 된다. 케미컬 필터는 알칼리성 가스, 질소산화물, 황산화물을 주로 흡착하는 화학흡착제를 세가지 종류의 중량비 1:1:1로서 분할 혼합된 특수필터를 사용하였다. 건축자재에서 발생하는 휘발성 화합물은 사람이나 전시물에 영향을 주는 가스로 사용년수에 따라 변하므로, 케미컬 필터의 교환시에는 흡착제의 유효성분 잔류율을 구하여 흡착제의 혼합비를 변경한다.

(2) 수장고

공조기의 필터는 프리필터(자동권취형), 특수 케

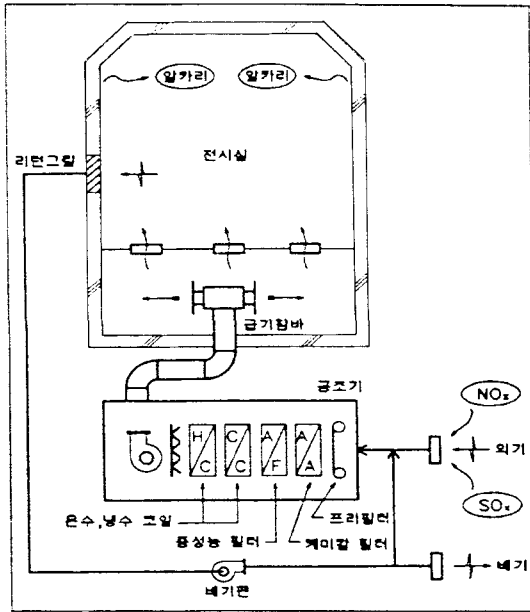


그림 4. 공기정화 시스템의 계통도

미켈 필터, 중성능 필터(NBS 85%)를 조합하여 수장고 내로 급기하는 외기에 포함된 아황산가스 및 질소화합물 가스 등을 제거하는 것 외에 수장고 내에서 발생하는 암모니아 성분 등의 알칼리계 가스 성분도 제거한다. 케미칼 필터의 흡착제는 퓨어라이트를 사용하며 성분은 제오라이트, 과망간산, 인산 및 가성소다로 만들어졌으며, 혼합에 의하여 E₂형(아황산가스, 질소산화물, 유황수소 등의 제거), A₂형(염산, 황산, 초산 등의 산성가스의 제거), O₂형(오존, 염산, 아산화질소, 유기용제의 제거), F형(인산, 암모니아의 제거)의 4가지 유형이 있다. 예로 박물관 수장고에서는 E₂형과 F형을 초기에는 50%씩 혼합하여 사용하고 있지만, 구조체의 콘크리트에서 발생하는 알칼리 성분은 시간 경과에 의하여 줄어들고 외기의 유해가스를 함유하는 비율과 공조기의 운전시간의 변화에 따라 혼합비율이나 약제의 종류를 변화시켜 사용하여야 한다.

4. 맺음말

이상에서 박물관 내의 입자 및 가스상 오염물질의 제거 시스템의 자료정리를 통하여 다음의 중요한 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 박물관 오염물 및 발생원에 대한 자료조사를 통하여 주요 대상오염물질과 그들에 대한 기준은 다음과 같음을 알 수 있었다.

- ① 분진입자 : 프리필터 30%, 중성능 필터 80%, 고성능 필터 90%(ASHRAE 기준)
- ② SO₂ : 10 μ g/m³(3.8ppb)
- ③ NO_x : 10 μ g/m³(5.3ppb)
- ④ O₃ : 2 μ g/m³(1.02ppb)

(2) 입자상 물질은 중성능 필터를 사용하여 효과적으로 제거할 수 있으며, SO_x, NO_x 및 오존 등의 유해가스를 제거하는데는 활성탄 필터보다 화학필터의 경우가 다소 높은 효과가 있으나, 이들의 최종 선정시에는 설치장소, 수명, 가격 등을 고려한 경제성 분석이 요구되어진다.

- 참고문헌 -

1. Thomson, G. "The Museum Environment", 2d ed., London, Butterworth, 1986
2. ASHRAE Handbook, Application, 1995
3. 井上宇市, "博物館 空氣環境, 空氣調和 衛生工學, 第57卷 第8號, 1983.8
4. ASHRAE Tansaction Vol 96(Part II), "Museum Environmental Requirements : A Literature Survey", J.C.Haiad, 1990.
5. 냉동공조기술, "박물관의 설비환경", 공성훈, 1996. 12
6. 박물관내 전시 및 공조환경기준, 대한민국 문화체육부, 1996