

# 대학도서관 실내 공기질 측정 및 조사 연구

## A Study on the Measurement and Investigation of Air Quality in a University Library

이 재 원(Jae-Won Lee)\*

〈목 차〉

I. 서론	III. 대학도서관 실내 공기질 측정
1. 연구의 필요성 및 목적	1. 예비조사
2. 연구내용 및 방법	2. 대상 유해인자 선정 및 측정
3. 선행연구	IV. 대학도서관 실내 공기질 분석 결과
II. 실내 공기 오염의 종류와 관련 기준	1. 공기 중 유해물질
1. 실내 공기오염 물질의 종류	2. 생물학적 유해인자
2. 환경부 실내 공기질 기준	3. 일산화탄소·이산화탄소·일산화질소
3. 고용노동부 사무실 공기관리 기준	V. 결론
4. 국외 주요 실내 공기질 관련 기준	

### 초 록

본 연구에서는 S대학 중앙도서관을 대상으로 측정 유해인자를 ① 공기 중 유해물질 ② 생물학적 유해인자 ③ 일산화탄소·이산화탄소·일산화질소 농도로 구분하여 관련 기준과 비교하여 측정·분석하였다. 분석한 결과 공기 중 유해물질인 미세먼지, 석면, 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 모두 관련 기준 보다 낮은 수준으로 나타났으며, 생물학적 유해인자인 공기 중 곰팡이, 그람음성박테리아, 엔도톡신 등도 특별한 문제를 찾을 수 없었다. 공기 중 일산화탄소, 이산화탄소, 일산화질소 농도도 일반 대기 중의 농도 대비 특이한 점이 없이 유지되고 있었다. 다만, 도서관은 다중이용시설로 주기적인 청소와 환기를 통한 환경 관리가 필요한 것으로 나타났다.

키워드: 대학도서관, 실내 공기질, 대학도서관 실내 공기질, 도서관 실내 공기질, 대학도서관 공기질

### ABSTRACT

In this study, the harmful factors measured in S university's central library were divided into ① air harmful substance ② biological harmful factors ③ carbon monoxide, carbon dioxide, and nitrogen dioxide concentration, measured and analyzed compared to the relevant criteria. The analysis showed that the harmful substances in the air - fine dust, asbestos, volatile organic compounds and formaldehyde - were all lower than the relevant standards, and that biological harmful factors such as fungi in the air, gramophageal bacteria, and endotoxin were also found to have no particular problems. The concentration of carbon monoxide, carbon dioxide, and nitrogen dioxide in the air was also maintained without any unusual factors compared to the concentration in the ordinary atmosphere. However, the library is a multi-use facility that needs regular cleaning and ventilation to manage the environment.

Keywords: University library, Indoor air quality, University library indoor air quality, Library indoor air quality, University library air quality

\* 경기대학교 교육대학원 강사(wodnjsdl@kyonggi.ac.kr)

•논문접수: 2019년 11월 25일 •최초심사: 2019년 11월 27일 •게재확정: 2019년 12월 11일(긴급심사)  
•한국도서관정보학회지 50(4), 635-658, 2019. [http://dx.doi.org/10.16981/kliss.50.201912.635]

## I. 서론

### 1. 연구의 필요성 및 목적

하루에 많은 시간을 보내며 자신의 재능과 시간 그리고 에너지를 소비하는 도서관은 이용하는 사람에게 보람과 삶을 영위할 수 있는 터전이지만, 동시에 이용자의 건강과 안전에 많은 영향을 주는 곳이다. 사람의 건강을 다루는 분야인 산업안전보건이 과거에는 직업병과 안전사고의 예방과 보상에 치중하던 개념이 최근에는 세계보건기구(WHO, World Health Organization)의 건강에 대한 정의<sup>1)</sup>를 받아들여 개인이 스스로의 건강을 유지하고 환경의 요구에 잘 반응해 나갈 수 있도록 각 개인에게 권한을 부여하고 신체적·정신적·사회적 건강을 유지하는 확장된 개념으로 발전해 나가고 있다.

도서관은 불특정 다수의 많은 이용자가 이용하는 다중이용시설이다.<sup>2)</sup> 대학도서관은 그 대학에 소속된 학생, 교수, 직원, 지역주민 등 많은 이용자가 도서관을 이용한다. 이용자들은 자료실에 비치된 도서를 이용하기도 하고 열람실에서 오랜 시간동안 학업에 열중하기도 한다. 이렇게 많은 이용자들이 오랜 시간동안 머무르는 도서관의 환경적인 특성은 첫째, 불특정 다수의 이용자가 함께 이용하는 대형 건물이다. 매일 많은 이용자의 빈번한 출입은 공기 중 오염물질이 유입될 가능성이 높으며 곰팡이 등 생물학적 오염 가능성도 높다. 둘째, 도서관에는 많은 양의 도서와 오래된 고서들이 보존되어 있고 자료실 및 보존 서고의 경우 밀폐된 공간의 특성으로 미생물에 오염될 여지가 매우 높다고 할 수 있다. 특히, 하나의 자료를 여러 이용자가 공유하는 도서관의 기능 때문에 도서관에서의 유해인자 관리 문제는 매우 중요하다고 할 수 있다.

이러한 도서관의 환경적 특성을 고려하여 대학도서관은 이용자에게 교육·연구 활동을 지원하는 기본적인 역할에 거치지 않고 이용자들이 대학도서관의 환경으로부터 건강을 유지하고 유해요인으로부터 자유로울 수 있도록 쾌적한 환경을 제공하여야 한다. 2015년 작성된 S대학 중앙도서관 본관 건물의 석면지도에 의하면 측정대상 구역의 대부분이 석면이 함유된 건축자재(천장재)로 구성되어 있고, 이로 인한 이용자들의 우려도 상당하였다. 이에 본 연구에서는 S대학이 중앙도서관을 대상으로 도서관 내의 유해인자를 ① 공기 중 유해물질 ② 생물학적 유해인자 ③ 일산화탄소·이산화탄소·이산화질소 등 세 가지 영역으로 구분하여 측정·분석하였다. 측정 결과를 토대로 향후 S대학도서관이 유해인자를 예방하여 이용자들이 쾌적한 환경에서 도서관을 이용할 수 있도록 도서관의 실내 공기의 질을 관리하는 방향을 제시하고자 하였다.

1) WHO는 건강이란, 질병이 없거나 허약하지 않을 뿐만 아니라 육체적·정신적·사회적 및 영적 안녕이 역동적이며 완전한 상태를 말한다.

2) 환경부 실내공기질관리법 유지기준 및 권고기준에서 도서관을 다중이용시설로 분류하고 있다.

## 2. 연구내용 및 방법

본 연구 제1장에서는 연구의 필요성과 목적, 그리고 연구내용과 방법을 기술하였고 각종 연구결과물을 통해서 선행연구를 조사하였다.

제2장에서는 국내의 실내 공기질 관련 기준을 환경부와 고용노동부 홈페이지, 국가법령 사이트를 통하여 조사하였고 국외의 공기질 관련 기준을 문헌을 통하여 조사하였다.

제3장에서는 S대학 보건대학원 실내 공기질 평가팀에서 중앙도서관 직원들의 면담을 통하여 측정대상 구역과 근무자들의 주요업무를 파악하고, 동시에 실내 공기질과 관련된 사무실 환경정보를 사전에 파악하여 측정전략을 수립하였다. 연구진이 방문한 부서는 본관의 모든 사무실을 대상으로 하였으며 면담조사는 부서의 대표자와 함께 수행하였다. 면담조사에서는 해당 부서에서 행해지는 업무의 주된 내용과 흐름, 실내 공기질과 관련된 주관적인 느낌, 근무환경과 관련된 애로사항 등에 대한 정보를 수집하였다. 사무실과 더불어 서고 관련 업무가 행해지는 자료실(서고), 지하 보존서고, 자료 복원실을 비롯하여 로비, 복사실을 방문하여 실내 공기질 측정을 위한 사전 조사를 실시하였다. 흡입성 먼지 채취기 등 다양한 측정도구를 사용하여 유해인자를 측정하였다.

제4장에서는 중앙도서관을 대상으로 측정 유해인자를 ① 공기 중 유해물질 ② 생물학적 유해인자 ③ 일산화탄소·이산화탄소·이산화질소 농도로 구분하여 관련 기준과 비교하여 측정 한 수치를 분석하였다. 다만, 열람실의 공기 중 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도 측정은 외기 미세먼지 농도가 높은 날과 보통인 날, 두 번에 걸쳐서 측정하여 외기 미세먼지의 농도가 내부 열람실 미세먼지 농도에 미치는 영향을 평가하였다.

## 3. 선행연구

도서관과 관련된 국내의 산업보건 연구는 근골격계 질환에 관한 연구와 직무 스트레스에 관한 연구가 다수였다. 국내에서 도서관 내 공기질과 관련된 연구는 주로 도서관 건축 또는 리모델링 등 공사에 따른 공기질 변화에 관심이 많았다.

백성옥(2006) 등은 Y대학 중앙도서관의 실내 공기 중 총휘발성유기화합물, 프롬알데히드, 미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소 등을 건물 리모델링 공사 중과 공사 후로 나누어 조사하였다. 조사결과 공사 중 총휘발성유기화합물은 대부분의 구역에서 기준치(500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 초과하였으며, 최대 3,052 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 관측되는 등 리모델링 공사가 신축 공사와 달리 공간이 밀폐되어 있어 내부에서 발생한 내부 오염물질에 노출될 위험이 크다고 하였다. 공사 후에는 기준치를 만족하는 수준으로 감소하였다고 하였다.

유하늬(2009) 등은 인천지역에 위치한 공공어린이도서관을 대상으로 건축물의 주변 특성, 신·개축연도, 실내 마감재 및 가구 등 건축 조건에 대한 조사와 실내공기 오염물질(CO, CO<sub>2</sub>, HCHO, TVOC 등)에 대한 측정을 실시하였다. 실내 공기 오염측정 결과를 바탕으로 인천지역 어린이도서관의 건축조건과 실내 공기질과의 상관성을 제시하였다.

이종렬(2010) 등은 동절기 난방 시즌에 양질의 쾌적한 외기 도입이 없는 서울 소재 대학 도서관을 대상으로 표준 시험법에 근거하여 현장 샘플링을 통한 실태조사를 실시하였다. 조사 결과 도서관 1층 행정실에서 휘발성유기화합물이 유지기준의 두 배를 초과하였고, 이산화탄소는 유지기준에 근접하였다. 학생들의 이동이 빈번한 1층 열람실과 미디어실은 이산화탄소와 미세먼지(PM<sub>10</sub>)가 유지기준을 초과하거나 유지기준에 근접하게 나타났고, 2층, 3층, 4층의 열람실과 자료실에서는 이산화탄소가 대체로 높게 검출되었다. 실태조사 대상이 된 도서관 민원발생의 원인은 사람의 호흡에서 발생하는 이산화탄소와 이동에 따라 부유하는 먼지 및 지하에서 2배 높게 검출된 휘발성유기화합물이라고 판단하였다. 이를 해결하기 위해서 전 열환기시스템을 설치하였고 가동 전과 후를 비교·분석한 결과 실내 공기질에 상당한 개선효과가 있는 것을 확인하였다.

권혁상(2011)은 리모델링한 C대학 중앙도서관의 실내공기환경 실태조사를 진행하였다. 조사결과 포름알데히드는 대체적으로 기준치인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 기준을 만족하는 것으로 나타났으나, 일부 열람실에서는 리모델링 완료 후 1년이 지났음에도 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 총휘발성유기화합물은 기준치 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 기준을 만족하였으며, 이산화탄소 농도는 제1열람실과 미디어실에서 기준치 1000ppm을 초과하는 것으로 조사되었다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>)는 권고기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

외국에서 도서관 내 실내 공기질과 관련된 연구는 공기 중 미세먼지와 휘발성유기화합물, 미생물을 대상으로 한 연구가 일부 진행된 바 있다. 그 중 대학도서관과 공공도서관에서의 실내 공기질 평가연구가 주를 이루며, 일부는 오래된 고서나 고문서 표면 미생물 오염을 평가하거나 도서관 소독 후 그 효과를 평가하는 연구도 수행하였다.

Goodman 등(2018)은 최근의 도서관 실내공기질 관련 연구에서 건물 또는 장소별로 차이는 있으나 공기 중 휘발성유기화합물은 약 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위의 농도 수준을 보인다고 하였다. 다만, 인도에서 보고된 Kumar 등(2014)의 연구에서는 대학도서관 내 열람실의 공기중 휘발성유기화합물의 농도를 계절 별로 평가하였는데 여름철(112.8~900.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비해 겨울철(178.7~1,194.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 높은 수준을 보인다고 하였다.

Wu 등(2014)은 도서관 실내 공기 중 포름알데히드가 약 20~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮은 수준으로 연구결과를 보고하였다. 도서관 내 고문헌 서고의 미세먼지(PM<sub>10</sub> 기준)는 약 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 실내 공조시설에 의해 실외에서 유입되는 미세먼지가 여과되어 공급됨으로서 실외보다 낮은 수준의 미세먼지 농도를 보였다고 하면서 실내 미세먼지 저감을 위한 공조시설의 중요성을 언급하고 있다. 반면, 이용자의 출입이 많은 열람실에서의 미세먼지 농도는 40~140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

로 고문헌 서고에 비해 높은 수준의 미세먼지 농도를 보였으나 공조시설 가동 시에는 약 절반으로 감소되었다고 하였다. 따라서 도서관 내 이용자가 많고 출입이 빈번할수록 미세먼지 농도가 높을 수 있으며 공조시설에 의해 실내공기 중 미세먼지 농도를 현저히 감소시킬 수 있음을 밝히고 있다. 또한, 재실자들이 많을수록 실내 이산화탄소 농도가 약 2,400ppm(우리나라 기준 1,000ppm)까지 높아져 환기의 중요성에 대해서도 언급하고 있다.

Hayleeyesus 등(2014)은 도서관 건물 별 공기 중 미생물을 평가하였는데 곰팡이의 경우 367~2,595CFU/m<sup>3</sup>, 총 부유세균(박테리아)은 524~1,992CFU/m<sup>3</sup>의 우리나라 기준과 비교했을 때 높은 수준을 보였다.<sup>3)</sup>

Micheluz 등(2015)은 연구에서 고문헌 서고 내에서 공기 중 곰팡이를 평가하였는데 고문헌 서고 내 서가에서 평균 약 1,000~1,600CFU/m<sup>3</sup> 수준으로 서고 외 다른 구역보다 약 10배 이상의 높은 수준을 보인다고 하였다.

국내·외의 연구결과를 보면 도서관은 이용자가 많고 밀폐된 공간으로 인해 공기 중 유해물질과 생물학적 유해인자에 노출될 가능성이 높으며 이산화탄소 등의 농도가 높아질 수 있으므로 공조 설비의 가동과 주기적인 환기를 통해 쾌적한 환경을 유지하여야 한다고 제시하고 있다.

## II. 실내 공기오염의 종류와 관련 기준

### 1. 실내 공기오염의 종류

#### 가. 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)

먼지는 대기 중에 떠다니는 물질의 입자를 말하는데 석탄·석유 등의 화석연료를 태울 때나 공장·자동차 등의 배출가스에서 많이 발생한다. 먼지는 입자의 크기에 따라 50μm 이하인 총먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분한다. 미세먼지는 입자가 매우 작으며 일반 미세먼지인 PM<sub>10</sub>과 일명 '초미세먼지'로 불리는 PM<sub>2.5</sub>로 구분된다. PM<sub>10</sub>이 사람의 머리카락 지름(50~70μm)보다 약 1/5~1/7 정도로 작은 크기라면, PM<sub>2.5</sub>는 머리카락의 약 1/20~1/30에 불과할 정도로 매우 작다. 이처럼 미세먼지는 눈에 보이지 않을 만큼 매우 작기 때문에 대기 중에 머물러 있다가 호흡기를 거쳐 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 들어감으로써 건강에 나쁜 영향을 미친다. 세계보건기구(WHO)는 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)에 대한 대기질 가이드라인을 1987

3) 우리나라 공기 중 곰팡이 기준은 500CFU/m<sup>3</sup>이다.

년부터 제시해 왔고, 2013년에는 세계보건기구 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 미세먼지를 사람에게 발암이 확인된 1군 발암물질로 지정하였다(네이버 지식백과).

#### 나. 석면(Asbestos)

석면은 뛰어난 내화성, 단열성, 절연성, 고인장성, 유연성, 내마모성 등의 특성과 경제적인 이유로 인해 수천가지 이상의 제품이 생산되어 사용되었으나, 현재 우리나라에서는 사용이 전면 금지되었다. 그러나 과거에 사용된 석면에서 현재까지도 직·간접적인 석면노출이 일어나고 있으며, 과거 노출자에게 석면 관련 질환이 지속적으로 발생하고 있다. 석면광산이나 석면공장 인근에 거주하던 주민들의 건강피해 문제가 사회적인 관심사로 대두되면서 환경성 석면노출에 의한 건강피해보상제도가 마련되었다.

석면의 유해성은 크게 세 가지 요인에 의해 좌우된다. 첫째는 석면의 양으로, 흡입되는 양이 많을수록 유해하다. 둘째는 석면의 크기와 모양이다. 분진의 크기와 모양은 폐의 어느 부위에 침착할지를 결정하고, 또한 대식세포에 의해 제거될 수 있는 가능성이나 손상을 줄 수 있는 가능성을 결정한다. 일반적으로 지름과 길이의 비가 1:3 이상이면서 5 $\mu$ m 이상인 석면이 유해하다. 마지막으로 석면이 인체 내에서 분해되지 않는 내구성이 석면의 유해성을 결정한다. 내구성이 큰 석면일수록 몸 안에 계속 남아 있으면서 손상을 줄 가능성이 크다. 석면의 노출로 인한 잠복기는 매우 길어서 치명적인 질병인 폐암, 중피종, 석면폐인 경우 노출된 후 10년 이상 걸려야 질병이 발생한다고 알려져 있다(국가건강정보포털).

#### 다. 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs)

휘발성유기화합물은 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭이다. 대기 오염 뿐만 아니라 발암성 물질이며, 지구온난화의 원인 물질이므로 국가마다 배출을 줄이기 위해 정책적으로 관리하고 있다. 벤젠, 아세틸렌, 휘발유 등을 비롯하여 산업체에서 사용되는 용매 등 다양하다. 대기 중에서 질소산화물과 공존하면 햇빛의 작용으로 광화학반응을 일으켜 오존 및 PAN(퍼옥시아세틸 나이트레이트) 등 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학스모그를 유발하는 물질을 통틀어 일컫는다.

국내의 대기환경보전법시행령 제39조 제1항에서는 석유화학제품·유기용제 또는 기타 물질로 정의하는데, 환경부고시 제1998-77호에 따라 벤젠·아세틸렌·휘발유 등 31개 물질 및 제품이 규제대상이다. 산업체에서 많이 사용하는 용매에서 화학 및 제약공장이나 플라스틱 건조공정에서 배출되는 유기가스에 이르기까지 매우 다양하며 끓는 점이 낮은 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 생활주변에서 흔히 사용하는 탄화수소류가 거의 해당된다.

배출원은 토양과 습지·초목·초지 등의 자연적 배출원과 유기용제사용시설·도장시설·세탁소·저유소·주유소 및 각종 운송수단의 배기가스 등의 인위적 배출원이 있는데, 배출량은 세계

적으로 유기용제사용시설과 자동차 등의 이동 오염원이 대부분을 차지한다(네이버 지식백과).

#### 라. 포름알데히드(Formaldehyde)

포름알데히드는 아주 간단한 화합물이다. 탄소 1개, 수소 2개, 산소 1개로 구성되며 화학식은  $\text{CH}_2\text{O}$ , 구조식은  $\text{HCHO}$ 이다. 상온에서 강한 휘발성을 띄는 기체로, 손톱 손질에 사용하는 아세톤보다 더 증발이 잘 될 정도이다. 특유의 자극적인 냄새가 나며 합판 등을 파는 상점에 들어서면 포름알데히드의 냄새를 맡을 수 있다.

포름알데히드는 간단한 화합물이니만큼 자연에 다양하게 분포되어 있다. 공기에 포함된 메탄이 광화학 반응을 거쳐서 산화되면 포름알데히드로 변한다. 자연적으로 발생한 산불 혹은 음식을 만들 때에도 포름알데히드가 생성되기도 한다. 일반적으로 자연에서 검출되는 포름알데히드는 굉장히 미미한 양이다. 그래서 이를 재는 단위로 주로 ppm을 사용한다. 1ppm은 1kg에 1mg(1mg/1kg), 혹은 1m<sup>3</sup>에 1cc(1cc/m<sup>3</sup>) 등 '1백만 분의 1'을 뜻한다.

포름알데히드는 다양한 식품에 포함되어 있기 때문에, 자연적으로 존재하는 정도는 먹는다고 해서 문제가 생기지는 않는다. 그러나 한꺼번에 너무 많은 양이 몸에 흡수되면 대단히 위험하며 사망에 이를 수도 있다. 실내 공기 중에 포름알데히드가 약 1~5ppm 정도만 있어도 눈, 코, 목을 자극하며 만성 질병이 있는 사람이나 예민한 사람들은 고통을 받을 수 있다. 장기간 노출이 되면 백혈병 혹은 폐암에 걸릴 확률도 높아진다고 알려져 있다. 우리나라를 비롯하여 미국, 유럽에서는 작업장에서 8시간 노동을 할 때 공기 중에 0.3~0.75 ppm 포름알데히드 농도를 허용기준으로 삼고 있다(네이버 지식백과).

#### 마. 공기 중 미생물(곰팡이, 그람음성박테리아, 총박테리아)

곰팡이는 보통 그 본체가 실처럼 길고 가는 모양의 균사로 되어 있는 사상균을 가리킨다. 일반적으로 균류 중에서도 세균·고초균·버섯 등이나 경우에 따라서는 효모와도 구별하지만 엄밀하게 구별하기에는 어려움이 많다. 곰팡이류는 온난다습한 환경을 좋아하며 최적온도가 30℃ 정도인데, 그 중에는 5~8℃인 냉장고 속의 육류에 가장 잘 발생하는 카에토스더리움도 있고, 푸른곰팡이의 어떤 종은 45~53℃에서만 자라는 것도 있다. 박테리아는 전통적으로 그람 염색 유지력에 근거하여 그람 양성 및 그람 음성 두 그룹으로 나누어진다. 공기 중의 미생물은 천식 및 비염, 과민성 폐렴, 빌딩증후군 등과 밀접한 관련이 있으며 감염을 일으킬 수도 있다(두산백과).

#### 바. 엔도톡신(Endotoxin)

엔도톡신(내독소)은 박테리아에서 내뿜는 물질 중 대표적인 독소이다. 그람음성박테리아에서의 외부막에 존재하는 구성분인 지질다당류(LPS, Lipopolysaccharide)는 생체활성에 의해 발생하는 물질로서 호흡기를 통해서 흡입하게 되면 가슴기 열 증상의 원인이 될 뿐만

아니라 만성 호흡곤란 증상이 보고된 바 있다. 집먼지에서 많이 발견되고 이는 어린이와 어른의 천식 증상과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 초기 염증을 유발하여 기도 염증을 일으키기도 한다(네이버 지식백과).

사. 집먼지 진드기(House Dust Mite)

전 세계적으로 분포하며 습기가 있는 집 안의 구석이나 침구, 의자, 카펫 등에서 사람의 피부세포나 곰팡이 같은 유기물을 먹고 산다. 피부염을 일으키기도 하지만 천식을 대표로 하는 알레르기성 질환의 원인이 되는 것이 더 중요하다. 집먼지진드기과(Family Pyroglyphidae) 중 미국에서는 큰다리먼지진드기(Dermatophagoides farinae)가, 유럽 등 구대륙에서는 세로무늬먼지진드기(Dermatophagoides pteronyssinus)가 주요한 종이다. 국내에는 이 두 종이 모두 존재하는 것으로 알려져 있다. 이들은 농축한 항원을 사람에게 노출시켜 알레르기를 유발시킨다(네이버 지식백과).

2. 환경부 실내공기질 유지기준 및 권고기준

〈표 1〉 실내공기질관리법 상 유지기준 및 권고기준(다중이용시설 중 도서관 발체)

유지기준					권고기준(2018년 1월부터 시행)				
미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) (μg/m <sup>3</sup> )	이산화탄소 (ppm)	포름알데히드 (μg/m <sup>3</sup> )	총 부유세균 (CFU/m <sup>3</sup> )	일산화탄소 (ppm)	이산화질소 (ppm)	라돈 (Bq/m <sup>3</sup> )	총휘발성유기화합물 (μg/m <sup>3</sup> )	미세먼지 (PM <sub>2.5</sub> ) (μg/m <sup>3</sup> )	곰팡이 (CFU/m <sup>3</sup> )
150 이하	1,000 이하	100 이하	-	10 이하	0.05 이하	148 이하	500 이하	-	-

가. 환경부 실내공기질 유지기준(실내공기질관리법 시행규칙 별표 2)

실내공기질관리법 상 유지기준 항목은 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화탄소, 포름알데히드, 총 부유세균 및 일산화탄소 등 5개 항목으로 설정되어 있으며 법적인 구속력이 따른다. 유지기준 항목은 다중이용시설의 종류(가, 나, 다군)에 따라 다르며 본 연구에서의 조사 대상인 도서관의 경우 총 부유세균을 제외한 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드 및 일산화탄소 등 4개 항목의 적용을 받는다. 다만, 이산화탄소의 경우 자연환기가 불가능하여 환기설비를 이용해야 할 경우에는 1,500ppm 이하로 유지해야 한다.

나. 환경부 실내 공기질 권고기준(실내공기질관리법 시행규칙 별표 2)

실내공기질관리법 시행규칙 제4조에 의해 권고기준 항목으로는 이산화질소, 라돈, 총휘발성유기화합물, 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>), 곰팡이 등 5개 항목이다. 2018년 1월 개정된 권고기준의

세부사항은 기존 권고기준 항목에서 석면과 오존이 빠지고 미세먼지와 곰팡이가 추가되었으며 본 연구의 대상인 도서관의 경우 이산화질소와 라돈, 총휘발성유기화합물에 대해서만 권고기준이 설정되어 있다.

### 3. 고용노동부 사무실 공기관리 지침

#### 가. 고용노동부 사무실 공기관리 지침(고시 제2006-64호)

고용노동부에서는 산업안전보건법 제27조 1항의 규정에 따라 쾌적한 사무실 공기를 유지하기 위해 9개의 오염물질 별 관리기준을 환경부와 비슷한 항목으로 고시하고 있다<표 2>. 또한, 고시 제 3조에서는 사무실의 환기기준이 공기정화 시설을 갖춘 사무실에서 근로자 1인당 필요한 최소 외기량은 0.57m<sup>3</sup>/min이며, 환기 횟수는 시간 당 4회 이상으로 할 것을 규정하고 있다. 고용노동부의 사무실 공기 관리 지침은 아직 법적인 구속력은 갖지 않지만 점차 관리하는 회사가 늘어나는 추세이다. 본 연구의 대상인 도서관의 경우 사무직이 갖는 업무환경과 생산적이 갖는 업무환경이 공존하는 환경적 특성이 있다고 가정하고 이 지침을 기준으로 비교·분석하였다.

<표 2> 고용노동부 사무실 공기관리 지침(고시 제 2015-43호)

오염물질	관리기준
미세먼지(PM <sub>10</sub> )	150µg/m <sup>3</sup> 이하
일산화탄소(CO)	10ppm 이하
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	1,000ppm 이하
포름알데히드(HCHO)	120µg/m <sup>3</sup> (또는 0.1ppm) 이하
총휘발성유기화합물(TVOC)	500µg/m <sup>3</sup> 이하
총부유세균	800CFU/m <sup>3</sup> 이하
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	0.05ppm 이하
오존(O <sub>3</sub> )	0.06ppm 이하
석면	0.01개/cc 이하

### 4. 국외 주요 실내공기질 관련 기준

국내뿐만 아니라 국외의 각국 정부 또는 기관에서 실내 공기질 관리를 위한 기준을 제시하고 있다. 미국의 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)과 미국공조냉동공학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE) 및 세계보건기구(WHO)에서 제시하고 있는 실내공기질 관리기준은 <표 3>과

같다. 미국 EPA는 우리나라 환경부와 유사한 기능을 하는 정부조직으로서 오염된 실내공기로 인한 건강 장애 예방을 위해 법적 구속력이 있는 기준을 제시하고 있으며, WHO는 충분한 과학적 증거에 기반을 둔 객관적이고 타당성 있는 기준을 제시하고 있다. WHO의 기준은 권고 수준의 지침으로 법적 구속력은 없다. EPA와 WHO 모두 대중의 공중보건을 위한 오염물질의 기준인데 반해, ASHRAE에서 제시하는 기준은 건강 측면에서의 기준 보다는 공조시설의 성능 유지 또는 향상을 목적으로 한다. 우리나라 기준과 비교했을 때 기준 항목은 거의 유사하나 시간 및 일 단위 평균, 연 단위 평균값을 세부적으로 제시하고 있다.

〈표 3〉 국외 주요 실내공기질 관리기준

물질	NAAQS <sup>4)</sup> / EPA	ASHRAE	WHO Guideline
Carbon monoxide (일산화탄소)	- 9ppm [8시간] - 35ppm [1시간]	- 9ppm [8시간]	- 90ppm [15분] - 50ppm [30분] - 25ppm [1시간] - 10ppm [8시간]
Formaldehyde (포름알데히드)	-	- 100 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [30분] - 76 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [1시간] - 33 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [8시간]	- 0.1 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [30분]
Lead (납)	- 1.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [3개월]	- 1.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	- 1.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [1년]
Nitrogen dioxide (이산화질소)	- 0.05ppm [1년]	- 470 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [24시간] - 100 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [1년]	- 0.05ppm [1시간] - 0.02ppm [1년]
Ozone (오존)	- 0.12ppm [1시간] - 0.08ppm [1시간]	- 0.05ppm	- 0.064ppm [8시간]
PM <sub>2.5</sub>	- 15 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [1년] - 65 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [24시간]	- 15 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	-
PM <sub>10</sub>	- 50 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [1년] - 150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> [24시간]	- 50 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	-
Sulfur dioxide (이산화황)	- 0.03ppm [1시간] - 0.14ppm [24시간]	- 80 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	- 0.048ppm [1시간] - 0.012ppm [24시간]

### Ⅲ. 실내 공기질 측정

#### 1. 예비조사

S대학 중앙도서관의 실내공기질 분석을 위해서 S대학 보건대학원 실내공기질 평가팀이 개별 부서를 방문하여 팀장 면담조사를 실시하였다. 면담 조사의 목적은 근무자들의 주요 업무를 파악하는 것과 동시에 실내공기질과 관련된 사무실 환경정보를 사전에 파악하여 측정전략을 수립하기 위해서였다. 근무자 면담 조사는 약 30분 동안 해당 부서의 대표자와 함께 수행

4) NAAQS : National Ambient Air Quality Standard

하였으며, 해당 부서에서 행해지는 업무의 주된 내용과 흐름, 실내 공기질과 관련된 주관적인 느낌, 근무 환경과 관련된 애로사항 등에 대한 정보를 수집하였다.

## 2. 대상 유해인자 선정 및 측정

도서관 내에서의 실내 공기질 조사 대상은 ① 공기 중 유해물질로 미세먼지, 석면, 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 등으로 공기를 직접 포집하는 능동식 시료채취방법으로 수행하였다. 또한, 일부 대표적인 구역에 대해서는 실시간 측정기기를 이용하여 실내 환경조건 즉, 일산화탄소 및 이산화탄소, 오존 농도를 동시 측정하였다. ② 생물학적 유해인자로 미생물, 엔도톡신, 집먼지 진드기를 대상으로 선정하였고 곰팡이, 그람음성박테리아, 도서·바닥 표면의 미생물은 표면 채취를 하였고 집먼지 진드기는 먼지 포집 방식으로 진행하였다. ③ 일산화탄소·이산화탄소·일산화질소 측정을 위한 공기 포집은 측정 장비로 인한 소음 방지를 최소화하기 위해 방음 효과가 있는 샘플링 박스에 각 측정인자 별 채취기구를 설치하여 지역시료 채취 방법으로 수행하였다.

### 가. 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)

공기 중 미세먼지는 여과지를 이용하여 일정시간 이상 공기를 포집하고 측정 전·후 여과지의 무게 차이를 이용하여 계산한 흡입성 먼지 농도를 계산하였다. 측정 전 PVC(Polyvinyl Chloride, PVC, 공극 0.4 $\mu$ m, 직경 25mm) 여과지는 흡입성 먼지를 측정할 수 있는 IOM (Institute of Occupational Medicine) 샘플러에 장착한 후 0.1 $\mu$ g 단위까지 측량이 가능한 초정밀 저울을 이용하여 무게를 측정하였다. 공기 포집을 위한 여과지는 PVC 여과지를 분당 2L의 유량으로 약 8시간 동안 수행하였고, 포집 후 실험실로 운반하여 약 24시간 동안 항온 항습 조건(온도 22 $\pm$ 3 $^{\circ}$ , 상대습도 45 $\pm$ 5%)에서 보관 후 측정 전과 같은 방식으로 무게를 측정하였다. 필터를 이용한 중량 측정과 병행하여 실시간 먼지 측정이 가능한 직독식 기기를 이용하여 일정시간 동안 해당 구역 내의 먼지를 측정하였다. 측정간격은 1분으로 하여 공기 중 입자의 수 농도와 입자의 중량 농도를 실시간으로 측정하였다. 측정기기는 먼지 중량을 측정할 수 있는 Dust Monitor를 이용하였다.

### 나. 석면(Asbestos)

공기 중 석면 측정 및 분석은 실내공기질 공정시험기준<sup>5)</sup>의 「실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법(ES-02303.1b)」과 미국산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)의 공정시험법 7400에서 제시하고 있는 측정 및 분석

5) 국립환경과학원 고시 제 2017-58호

절차에 따라 수행하였다. 본관 건물 시공 당시 석면이 함유된 건축자재가 사용된 건물로 석면 지도를 통해 측정 대상 곳곳이 석면 건축자재가 사용된 구역임을 확인하였다. 석면 자재 사용 여부와 관계없이 모든 측정대상 구역에서 공기 중 석면 섬유도 함께 측정하였다. 시료는 셀룰로스에스터(Mixed cellulose ester, 공극 0.8 $\mu$ m, 직경 25mm)막 여과지가 장착된 카세트 홀더를 분 당 2.5L의 공기를 포집할 수 있는 고유량 펌프에 연결하여 분석에 필요한 최소 공기량(1,200L) 이상을 포집하였다.

시료는 분석실험실 내에서 2등분으로 절단한 후, 슬라이드글라스 위에 올려 현미경으로 잘 구분할 수 있도록 전처리 과정을 거쳤다. 슬라이드글라스 위에 올린 여과지는 증기화 장치에 넣어 아세톤을 40~60mL를 떨어뜨린 후 증기에 의해 투명화 시켰다. 투명화 된 여과지는 트리아세틴 용액 2~3방울 떨어뜨린 후 커버글라스로 고정시킨 후 분석을 진행하였다. 현미경 분석은 위상차 현미경을 이용하여 섬유 형태의 먼지 길이가 5 $\mu$ m 이상, 길이와 폭의 비가 3:1 이상인 것만 계수하였다. 현미경법으로 계수한 섬유 개수는 여과지의 유효 포집면적과 현미경으로 측정한 1개 시야의 면적, 채취한 공기량을 이용하여 최종 공기 농도를 결정하였다. 최종 결정된 석면 섬유 농도는 본관 석면 지도와 비교하여 석면 건축자재 함유 여부에 따른 차이를 확인하였다.

#### 다. 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs)

실내 공기 중 휘발성유기화합물은 스테인리스 스틸 재질의 고체흡착관(Tenax TA®)을 0.2L/min의 저유량 펌프에 연결하여 약 2시간 동안 공기를 채취하였다. 측정 여재는 해당 측정대상 공간을 대표할 수 있는 구역에 설치하여 지역시료 방법으로 채취하였다. 채취한 시료는 분석 전까지 -20°C에서 냉동 보관하였다. 시료분석은 열탈착기가 장착된 가스크로마토그래피 질량분석기(Gas chromatography mass spectrometer detector)를 이용하여 정성 및 정량분석을 수행하였다. 분석 대상 물질은 건강상 영향이 큰 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), 에틸벤젠(ethylbenzene), 자일렌(xylene)을 위주로 정량 분석하였다.

#### 라. 포름알데히드(Formaldehyde)

포름알데히드 측정 분석은 실내공기질 공정시험기준의 「실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법(ES-02303.1b)」과 미국산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)의 공정시험법 2016에 따라 실리카가 코팅된 2,4-DNPH 카트리지를 저유량 펌프에 연결하여 0.2L/min의 유량으로 채취하였다. 측정 과정에서 실내 공기 중 오존의 영향을 방지하기 위하여 오존 스크러버를 카트리지 앞에 부착하였다. 분석은 고성능액체크로마토그래피 자외선 검출기(HPLC-UVD)를 사용하여 포름알데히드에 대해 정성 및 정량 분석하였다.

마. 공기 중 미생물(곰팡이, 그람음성박테리아, 총박테리아)

공기 중 미생물은 곰팡이, 박테리아(부유세균), 그람음성박테리아를 대상으로 하였다. 배지는 각각 SDAC(Sabouraud dextrose agar with chloramphenicol), TSA(Trypticase Soy Agar), MAC(MacConkey agar)를 이용하였다. 샘플러(Anderson sampler, SKC, USA)를 28.3L/min의 유량으로 설정하여 샘플러에 각각의 배지를 장착하고, 해당 측정 장소 내 대표 지점에서 5-10분 동안 채취하였다. 각 배지를 이용한 측정 전·후로 미생물 오염을 방지하기 위해 알코올 솜을 이용하여 소독한 후 측정하였다. 더불어 외기에 의한 영향을 파악하기 위해 도서관 건물 외부에서 실내 측정과 동일한 방식으로 측정하였다. 측정이 완료된 배지들은 배양기 내에서 각 배지에 맞는 온도 조건 하에서 박테리아 배지는 37°C 조건에서 48시간, 곰팡이 배지는 25°C 조건에서 120시간 배양기에서 배양하며, 성장한 집락수(colony)는 24시간마다 계수하였다. 최종 집락수는 실내공기질 공정시험 기준의 집락계수 환산표에 따라 보정한 후 최종 농도로 산정하였다.

도서관 이용자와 근무자가 자주 접하는 도서에서의 표면 미생물과 카펫 재질의 바닥 재질로 구성된 일부 장소에서 표면 미생물을 채취하였다. 도서는 고문헌 5권, 최근 도서관에서 대출 빈도가 높은 상위 5권 중 3권, 신착도서 3권을 대상으로 일정 면적을 표면 채취용 도구(Pipette swab, 3M, Korea)를 이용하여 3회 반복하여 채취한 후 셀라인 용액에 보관하여 실험실로 운반하였다. 바닥 표면은 카펫과 발판을 대상으로 표면 채취를 실시하였고, 재질에 따라 각각 10cm×10cm 면적에서 채취하였다. 표면 미생물을 채취한 셀라인 용액은 각각 1mL씩 분주하여 공기 중 미생물 채취에 사용되었던 동일한 배지에 같은 조건에서 배양하였다. 다 자란 미생물은 집락수를 계수하여 단위 면적 당 미생물 수를 계수한 후 균종을 파악하였다.

바. 엔도톡신(Endotoxin)

엔도톡신 채취를 위한 시료는 유리섬유 여과지(Glass fiber filter, 직경 37mm)를 은박지로 싸 후 고압멸균기(MLS 3020, Sanyo Inc, Japan)를 이용하여 121°C, 15psi 조건에서 약 15분 동안 멸균처리 하였다. 멸균 후 건조기(MOV-212F, Sanyo, Japan)를 이용하여 100°C에서 1시간 이상 건조시켰다. 필터 장착을 위한 카세트는 70% 알코올을 뿌린 후 클린벤치 내에서 자외선을 이용하여 소독하였으며, 멸균 처리된 필터는 오염 방지를 위해 클린벤치에서 카세트에 장착하였다. 시료 채취 후 시료는 약 4°C 이하의 냉장 상태에서 운반 및 저장하였다. 엔도톡신은 Microplate Reader(ELx808, Cambrex, USA)와 WinKQCL 프로그램(LONZA, 3.1 ver.)을 이용하여 분석하였다.

사. 집먼지 진드기(House Dust Mite)

먼지 포집은 진공청소기(ZE 350, Electrolus, Dweden)의 호스 앞쪽에 포집필터(Duststream™, collector filter, UK)를 장착하여 먼지를 충분히 수거할 수 있는 카펫, 책장

위 등에서 포집하였다. 포집 필터에 포집된 먼지는 지퍼 백에 담아 밀봉하고 분석 전까지 냉장 보관하였다. 분석은 채취한 먼지를 425 $\mu\text{m}$  직경의 체(sieve)로 여과하여 먼지의 무게를 잰 후, 투여할 PBST(Phosphate buffered saline with Tween 20) 용액의 양을 계산한다. PBST 용액을 실험용 튜브에 투여하여 200rpm 조건에서 약 2시간 동안 시료를 진탕(shaking)한 후, 다시 원심분리기(2,000 rpm, 4°C 조건)로 약 20분 동안 분리한 뒤 시료의 상층액 일부를 분리하여 분석하였다.

아. 일산화탄소(carbon monoxide)·이산화탄소(carbon dioxide)·일산화질소(nitrogen monoxide)  
일산화탄소와 이산화탄소는 전기화학적 센서가 장착된 Indoor Air Quality Monitor (Model. Q-Trak 7565, TSI Inc., USA)를 이용하여 동시에 측정하였으며, 휴대용 온·습도계(Model. TR-72Ui, T&D Inc, Japan)를 능동적 시료채취 상자와 함께 배치하여 전 측정 대상 구역에서 실내온도와 습도를 동시에 측정하였다. 일산화질소는 다중전기식 센서가 장착된 Graywolf(Model. IQ-601, Graywolf Inc, USA) 기기를 이용하여 측정하였다.

## IV. 실내 공기질 측정 결과

### 1. 공기 중 유해물질

#### 가. 미세먼지(PM<sub>10</sub>)

측정대상 구역에 직독식 기기와 여과지를 이용하여 측정한 실내 공기 중 미세먼지 결과는 <표 4>와 같이 환경부의 실내공기질관리법 유지기준과 고용노동부의 사무실 공기관리지침에서 제시하는 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해서 낮은 수준이었다. 다만, 자료복원실과 기계실(사무실)은 실내 공기질 기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 낮았으나, 다른 구역에 비해서는 상대적으로 높은 86.6 $\pm$ 4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 86.0 $\pm$ 13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 이 두 공간은 환기가 충분하지 못한 조건이며, 측정 당일 외기 미세먼지 농도가 높아(약 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 외기의 유입으로 인한 영향이 컸던 것으로 판단된다. 또한 근무자들에게서 공기질이 나쁠 것 같은 장소로 꼽힌 지하 보존서고의 경우에도 127.8 $\pm$ 17.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치보다는 낮았으나 다른 구역에 비해 상대적으로 높은 수치를 보였다.<sup>6)</sup> 복사실은 25.9 $\pm$ 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 복사기로부터 발생하는 먼지와 밀폐된 공간에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다.

이용자 출입이 빈번한 로비에 위치한 북 카페에서 측정한 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도는 58.3 $\pm$ 6.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이었으며 실내 공기질 기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 40% 정도 수준이었다. 그러나 측

6) 자료복원실, 기계실도 동일한 날짜에 외기 미세먼지가 높은 상태에서 측정한 농도임

<표 4> 공기 중 유해물질 기준 및 측정 결과

구 분	중량농도(µg/m <sup>3</sup> ) <sup>7)</sup>		석면 (f/cc) <sup>8)</sup>	휘발성유기화합물(µg/m <sup>3</sup> )					포름알 데히드 (µg/m <sup>3</sup> )	
	PM <sub>10</sub>	흡입성 먼지 <sup>9)</sup>		총휘발성유 기화합물 <sup>10)</sup>	벤젠 <sup>11)</sup>	톨루엔	에틸벤젠	자일렌		
기 준	환경부	150	-	0.01	500	-	-	-	-	100
	고용부	150	-	0.01	500	-	-	-	-	120
	WHO	150	-	-	-	-	-	-	-	100 <sup>12)</sup>
대출실	11.8±13.8	20.9	N.D <sup>13)</sup>	160.7	< LOD <sup>14)</sup>	7.8	1.8	2.8	2.1	
상호대차	10.6±0.6	18.6	N.D	164.7	< LOD	9.0	2.6	4.0	2.2	
연간물(사)	14.3±3.0	14.8	N.D	158.4	< LOD	17.6	4.4	7.5	2.9	
단행본(사)	16.7±1.2	11.0	N.D	163.3	< LOD	48.5	4.2	7.3	0.8	
디도탑	-	8.2	N.D	147.4	0.7	3.5	0.8	0.8	7.6	
고문헌(사)	24.8±3.4	11.5	N.D	145.8	1.1	6.0	1.5	2.0	6.9	
연구지원	-	8.0	N.D	166.0	< LOD	12.6	2.8	4.2	2.4	
정보개발	25.6±2.8	10.5	N.D	151.1	0.9	8.0	1.2	0.7	2.3	
복원실	86.6±4.7 <sup>15)</sup>	27.3	N.D	314.4	< LOD	104.2	12.0	12.7	2.9	
촬영실	-	2.3	N.D	146.6	< LOD	6.0	1.6	1.4	4.8	
보존처리	-	3.1	N.D	151.6	1.3	7.3	1.8	2.3	5.5	
고문헌(1)	4.66±1.42	2.3	N.D	161.7	2.2	7.3	8.2	6.6	4.7	
고문헌(2)	-	6.5	N.D	163.9	0.3	22.8	3.8	3.1	5.6	
고문헌(3)	-	4.7	N.D	146.3	0.5	10.2	3.0	5.2	2.9	
준비실	-	10.3	N.D	146.8	< LOD	4.3	1.0	0.6	1.9	
보존서고1	127.8±	73.6	N.D	139.1	1.7	16.8	5.6	5.5	1.6	
보존서고2	17.0	76.1	N.D	143.4	1.7	17.4	5.9	5.5	1.6	
기계실(사)	86.0±13.7	48.1	N.D	159.7	1.1	11.2	8.0	9.7	0.7	
기계실	-	55.8	N.D	143.4	< LOD	16.5	11.9	10.0	2.6	
복사실	25.9±3.6	18.4	N.D	150.9	0.2	4.0	0.7	0.9	1.5	
로비	58.5±6.3	18.0	N.D	167.0	< LOD	15.3	6.3	5.7	2.5	
정보검색실	-	21.4	N.D	162.6	< LOD	10.4	2.4	3.6	1.8	
신착자료실	20.3±3.9	13.7	N.D	148.7	< LOD	2.6	0.2	2.0	1.3	
연간물자료	-	7.8	N.D	148.9	< LOD	3.4	0.5	0.7	1.4	
참고자료실	-	12.4	N.D	148.1	< LOD	3.1	0.2	0.3	1.0	
단행본 1	-	7.8	N.D	-	< LOD	-	-	-	1.8	
단행본 2	-	5.1	N.D	146.9	< LOD	12.7	2.5	3.9	0.6	
단행본 3	14.3±3.6	6.1	N.D	158.0	< LOD	16.4	4.2	7.2	0.7	
단행본 4	17.4±1.0	6.5	N.D	-	< LOD	-	-	-	0.8	
단행본 5	-	15.2	N.D	155.7	< LOD	11.5	2.9	5.1	1.5	
단행본 6	-	7.3	N.D	-	< LOD	-	-	-	0.9	
단행본 7	-	5.4	N.D	168.2	0.14	5.5	0.8	1.4	0.9	
1열람실	98.5±13.4↑ 57.2±4.5↓	57.5↑ 21.7↓	0.0004	154.8	1.95	21.7	6.8	3.5	3.1	
공동학습	-	26.0	N.D	138.6	< LOD	15.9	4.7	3.5	3.9	
2열람실	78.4±13.8↑ 36.4±4.3↓	41.8↑ 20.1↓	N.D	151.3	< LOD	16.4	5.0	5.8	3.2	
3A열람실	71.9±35.4↑	35.7↑ 21.5↓	N.D	159.1	< LOD	13.3	5.3	4.5	3.7	
3B열람실	-	39.7↑	N.D	155.8	< LOD	12.7	5.0	7.4	2.7	

정 당일 외기 미세먼지 농도(약  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ )가 높아 외기에 의한 영향으로 다른 구역에 비해 농도가 높았던 것으로 판단된다. 로비를 제외한 일반자료실(서고)에서의 미세먼지 농도는 평균  $17.3\pm 3.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준 대비 낮은 수준을 유지하고 있었다.

열람실의 공기 중 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ ) 농도 측정은 외기 미세먼지 농도가 높은 날과 보통인 날, 두 번에 걸쳐서 측정하였다. 외기 미세먼지 농도가 높을 때(외기  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 열람실에서의 미세먼지의 평균 농도가  $82.9\pm 13.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실내공기질 기준  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 낮은 수준이었다. 외기 미세먼지 농도가 보통 수준(외기  $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ )일 때 재 측정된 실내 미세먼지 농도는 제1열람실에서  $57.2\pm 4.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 제2열람실에서  $36.4\pm 4.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하여 외기 미세먼지의 영향을 받는 것으로 나타났다.

여과지를 이용하여 중량법으로 측정한 흡입성 먼지는  $\text{PM}_{10}$  보다 더 큰 입자까지 측정된 것으로 공간 별로  $8.0\text{--}20.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 평균 농도는  $12.9\pm 4.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 흡입성 먼지 농도는 중앙대출실과 상호대차실에서 다른 공간에 비해 다소 높게 측정되었지만 유의한 차이는 아니다. 자료복원실과 기계실(사무실 포함), 보존서고에서 각각  $27.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $73.6\text{--}76.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $48.1\text{--}55.8\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 다른 구역보다 높았다.

열람실의 흡입성 먼지 농도 결과에서도 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ )의 결과와 유사한 결과를 보였는데 외기 미세먼지 농도가 높을 때에는  $35.7\text{--}57.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 보통일 때에는 약  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 감소하였다. 특히, 이용 열람석이 많고 공간이 넓은 제1열람실에서는 다른 열람실에 비해 미세먼지 농도가 높았다. 따라서 이용자 수가 많을수록 출입 빈도도 높아지므로 사람에게 의한 외부 공기의 유입이 열람실 내 미세먼지 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

#### 나. 석면(Asbestos)

<표 4>에서 보듯이 석면 함유 농도는 제1열람실을 제외한 도서관 내에서 공기 중 석면은 검출되지 않았다. 즉, 도서관 내에서 평상시에는 공기 중으로 석면이 비산되지 않음을 의미한다. 제1열람실에서 석면함유가  $0.00004\text{개}/\text{cc}$ 의 농도로 나타났으나 실내공기질관리법과 고용노동부의 권고기준인  $0.01\text{개}/\text{cc}$  보다 낮은 수준이었으며 함유 형태가 석면과 유사하였을

- 
- 7) 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ , 환경부 실내공기질관리법 및 고용노동부 사무실 공기 관리지침 기준) :  $\text{PM}_{10}$  이하
  - 8) 석면(2017년까지의 공기질관리법 권고기준) :  $0.01\text{f}/\text{cc}$ (2018년 이후 제외), 고용노동부 사무실 관리지침 :  $0.01\text{f}/\text{cc}$  이하
  - 9) 흡입성 먼지는 필터를 이용한 중량법으로 측정된 결과이며  $\text{PM}_{10}$ 은 실시간 모니터링으로 측정하였으므로, 두 방법의 측정 원리가 상이하여 자료가 일치하지 않을 수 있음
  - 10) 총휘발성유기화합물 :  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하
  - 11) 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 실내공기질 유지기준 및 권고기준 미설정
  - 12) WHO 포름알데히드 관리기준 : 30분 평균  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하
  - 13) N.D(Not Detected) : 불검출
  - 14) LOD(Limit of Detection) : 분석기기가 검출할 수 있는 최소 농도(검출한계)
  - 15) 외기 미세먼지 농도가 높은 날 측정치 :  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018년 1월 17일 기준  $\text{PM}_{10}$  기상 측정치)

뿐만 실제 석면 섬유인지 여부는 현미경 상으로 확실하게 판단하기 어려우므로 공기 중 석면 섬유 비산으로 인한 지나친 우려는 하지 않아도 되는 수준이었다.

#### 다. 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs)

도서관 내에서 측정한 공기 중 총휘발성유기화합물은 공간 별로 큰 차이는 없었으며 실내 공기질관리법 권고기준  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 낮은 수준이었다. 개별 휘발성유기화합물 중 벤젠은 일반 대기 중에 존재하는 농도 수준이었으나 자료복원실에서  $314.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 구역에 비해 약 두 배 높은 수치였다. 자료복원실의 경우 훼손된 도서의 제본작업에 사용되는 접착제 용기가 작업대 위에 비치되어 있는 상태였으며 측정 당시 대량의 신문자료가 복원실 내로 이관되어 보관 중이었다. 접착제 용기의 성분을 확인한 결과 톨루엔이 주성분이었으며 개별 휘발성유기화합물을 분석한 결과에서도 공기 중 톨루엔이  $104.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 검출되었다. 또한 자료복원실 내에는 캐노피 후드<sup>16)</sup>가 설치되어 있었으나 사용하지 않는 상태였고, 제본과 관련된 업무가 외주형태로 변경됨에 따라 실제 이 공간 내 작업은 거의 이루어지지 않는 상황이었다.

#### 라. 포름알데히드(Formaldehyde)

도서관 내 포름알데히드 농도는  $0.7\sim 7.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 실내공기질관리법 유지기준인  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 사무실 공기관리 지침에서 제시하는 권고기준  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 낮은 수준이었다.

## 2. 생물학적 유해인자

### 가. 공기 중 미생물(곰팡이, 그람음성박테리아, 총박테리아)

공기 중 미생물(곰팡이) 농도는 불검출(N.D) 되거나  $7.1\sim 50.2\text{CFU}/\text{m}^3$ 으로 환경부의 실내공기질 권고기준인  $500\text{CFU}/\text{m}^3$  보다 10%에도 못 미치는 낮은 수준이었다. 다만, 단행본자료실과 기계실이 ( $159.7\text{CFU}/\text{m}^3$ )이 상대적으로 높은 수치를 보였다. 단행본자료실은 반납된 많은 양의 단행본 자료를 서가에 배열하기 위하여 근무자와 상근 학생들의 왕래가 잦았는데 이로 인해 농도가 높아질 수 있으며, 기계실의 경우 외부 공기로부터 환기가 안 되는 곳에 위치하고 있었으며 청소상태, 기계실 주변 환경 등에 의해 공기 중 곰팡이가 높았던 것으로 보인다.

공기 중 미생물(총박테리아) 농도는 불검출(N.D) 되거나  $7.1\sim 50.2\text{CFU}/\text{m}^3$ 으로 환경부의 실내공기질 권고기준인  $500\text{CFU}/\text{m}^3$  보다 낮은 수준이었다. 다만, 보존서고에서 최대  $353.4\text{CFU}/\text{m}^3$ 로 가장 높았으나 기준 대비 약 44% 수준이었다. 지하 2층에 위치한 보존서고는 총 두 차례에 걸쳐 측정하였는데 두 차례 모두 온·습도 조건은 비슷하였으나 상대 습도가

16) 작업 중 발생하는 유해물질을 제거하기 위한 국소배기장치

〈표 5〉 공기 중 생물학적 유해물질 측정 결과

기 준	미생물(CFU/m <sup>3</sup> )			엔도톡신 (EU/m <sup>3</sup> )
	곰팡이	그람음성 박테리아	총박테리아	
한 경 부	500	-	800	-
고용노동부	-	-	800	-
Netherlands		-		50
중앙대출실	42.4	N.D	N.D	0.02
상호대차실	28.3	N.D	7.1	0.04
연속간행물(사)	50.2	N.D	25.1	0.14
단행본자료(사)	159.7	N.D	42.4	0.07
디지털도서관팀	7.1	N.D	35.3	0.01
고문헌자료실	N.D	N.D	17.7	0.02
학술연구지원팀	28.3	N.D	7.1	0.01
학술정보개발팀	10.6	N.D	14.1	0.11
자료 복원실	79.2	N.D	57.2	0.2
고문헌촬영실	7.1	N.D	10.6	< LOD
고문헌보존처리실	14.1	N.D	32.2	0.4
고문헌 서고 1	10.6	N.D	N.D	< LOD
고문헌 서고 2	N.D	N.D	7.1	< LOD
고문헌 서고 3	7.1	N.D	N.D	0.1
자료등록준비실	N.D	N.D	N.D	< LOD
보존 서고 1	21.2	N.D	353.4	0.2
보존 서고 2	N.D	7.1	35.3	0.2
기계실 사무실	79.2	7.1	108.1	0.2
기계실	159.7	14.1	123.0	0.4
복사실	7.1	N.D	50.5	< LOD
로비(북 카페)	21.2	7.1	28.3	0.53
정보검색실	28.3	N.D	28.3	0.03
신착자료실	28.3	N.D	71.4	< LOD
연간물 자료실	21.2	N.D	21.2	< LOD
참고자료실	21.2	N.D	61.5	< LOD
단행본자료실 1	N.D	N.D	21.2	0.09
단행본자료실 2	N.D	N.D	N.D	0.05
단행본자료실 3	N.D	N.D	14.1	0.02
단행본자료실 4	14.1	N.D	21.2	< LOD
단행본자료실 5	7.1	N.D	71.4	0.02
단행본자료실 6	7.1	N.D	N.D	< LOD
단행본자료실 7	N.D	N.D	31.6	< LOD
제1 열람실	14.1	N.D	159.7	0.12
공동학습실	21.2	7.1	7.1	-
제2 열람실	N.D	N.D	35.3	0.05
제3A 열람실	50.2	N.D	159.7	0.25
제3B 열람실	N.D	N.D	86.2	0.27

높을 때 높은 수준을 보였다. 열람실은 7.1-159.7CFU/m<sup>3</sup>로 편차가 컸는데 열람실은 시간에 따라 이용자 수와 출입 변동이 심한 곳으로 이에 따른 영향이 있었다. 특히, 3열람실은 곰팡

이 농도와 더불어 박테리아 농도도 800CFU/m<sup>3</sup>로 가장 높아 열람실 구역 중에서는 공기 중 미생물 오염 정도가 상대적으로 높았다.

그람음성박테리아는 로비에 위치한 북 카페에서 7.1CFU/m<sup>3</sup>로 검출되었으나 이 외 다른 장소에서는 모두 검출되지 않았고 당일 도서관 실외의 공기 중에서 포집한 농도 11.6CFU/m<sup>3</sup>보다도 낮은 수준이었다.

나. 엔도톡신(Endo toxin)

공기 중 엔도톡신의 국내 기준은 없으나 네덜란드에서는 직업성 기준(50EU/m<sup>3</sup>)이 설정되어 있다. 본 연구에서 조사된 엔도톡신의 농도는 검출한계치(< LOD) 이거나 최대 0.53 EU/m<sup>3</sup>으로 10% 미만 수준이었다. 북 카페에서의 공기 중 엔도톡신 농도가 0.53EU/m<sup>3</sup>로 이정민(2014) 등이 연구에서 밝힌 대형병원 로비에서의 농도(0.60EU/m<sup>3</sup>) 보다 낮은 수준으로 나타났다.

다. 집먼지 진드기(House Dust Mite)

집먼지 진드기(북아메리카형, 유럽형)에 관한 기준이 설정되어 있지는 않지만, 디지털도서관팀과 학술정보개발팀 내 자료등록 준비실에서 채취한 먼지에서 집먼지 진드기는 검출한계 미만으로 확인되었다. 학술연구지원팀과 상호대차실 바닥의 카펫에서 채취한 먼지에서는 북아메리카형 집먼지 진드기(38.0ng/g)와 유럽형 집먼지 진드기(23.8ng/g)가 확인되었으나, 이 수치는 김성호(2012) 등이 연구한 국내 겨울철 일반 가정집에서 측정된 농도(북아메리카형 634.9ng/g, 유럽형 34.8ng/g) 보다 낮은 수준 이었다.

<표 6> 집먼지 진드기 측정 결과

대 상	채취 지점	집먼지 진드기(ng/g)	
		북아메리카형 (Der. f1)	유럽형 (der. p1)
학술연구지원팀, 상호대차실	바닥 카펫	38.0	23.8
디지털도서관팀	복사기 주변, 시스템실	< LOD	< LOD
자료등록 준비실	책장 위	< LOD	< LOD
보존 서고	책, 책장 위	< LOD	< LOD
기계실(사무실)	의자, 소파, 계기판 상부	38.4	21.1
복사실	카펫, 인쇄기	18.5	13.4
고문헌 서고	책, 책장 주변	0.1	< LOD
로비, 북카페	카펫, 의자, 스톨	49.5	30.5
연속간행물자료실	책장 위	< LOD	< LOD
단행본 3자료실	책장 위	7.7	2.9
단행본 6자료실	책장 위	3.4	1.7
단행본 7자료실	책장 위	< LOD	< LOD

라. 도서 및 바닥표면에서의 생물학적 유해인자

도서에서 채취한 표면 곰팡이의 평균 농도와 편차는  $16.7 \pm 33.5 \text{CFU}/100 \text{cm}^2$ 이었으며, 총 박테리아의 평균 표준편차는  $66.7 \pm 146.4 \text{CFU}/100 \text{cm}^2$ 이었다. 표면 미생물의 국내 기준은 없으나 신간 도서와 인기 도서에 비하여 고문헌 도서에서 표면 곰팡이( $27.7 \text{CFU}/100 \text{cm}^2$ )와 총 박테리아( $92.0 \text{CFU}/100 \text{cm}^2$ )가 높았다. 배양한 곰팡이와 박테리아를 종 분류한 결과 곰팡이의 경우 병원성이 있는 종은 나타나지 않았다.

바닥의 측정 대상은 모든 측정 지점에서 천 재질의 카펫과 매트에서 시료를 채취하였다. 총박테리아가 높았던 로비 출입구( $6,850 \text{CFU}/100 \text{cm}^2$ )는 도서관 이용자 대다수가 도서관 내 이용시설을 이용하기 위하여 출입증(학생증 등)을 리더기에 터치할 때 이용자가 서 있는 바닥의 카펫에서 시료를 채취하였다. 곰팡이를 종 분류한 결과 병원성 미생물은 없었지만 박테리아를 종 분류한 결과에선 병원성 미생물 중 *Kocuria marina*가 고문헌 출입구 바닥 매트에서 확인되었다. 로비에 위치한 북 카페의 카펫, 의자, 스톨에서 채취한 시료에서 다른 곳보다 높은 집먼지 진드기(북아메리카형  $49.5 \text{ng/g}$ , 유럽형  $30.6 \text{ng/g}$ )가 확인되었다. 하지만 이수치는 김성호(2012) 등이 연구한 일반 가정집에서 측정된 농도(북아메리카형  $634.9 \text{ng/g}$ , 유럽형  $34.8 \text{ng/g}$ ) 보다 낮은 수준이었다.

<표 7> 도서 및 바닥표면에서의 미생물 측정 결과

대 상	장 소	시료	미생물(CFU/100cm <sup>2</sup> )			비고
			곰팡이	총박테리아	그람음성박테리아	
도서	고문헌	21	27.7±40.6	92.0±179.0	N.D	
	신간도서	9	13.3±29.6	77.8±152.5	N.D	
	인기도서	12	N.D	14.2±18.8	N.D	
도서 평균±표준편차		42	16.7±33.5	66.7±146.4	N.D	
바닥	로비 출입구	1	100	6,850	N.D	롤카펫
	북 카페	1	20	120	N.D	일반카펫
	연속간행물실	1	50	70	N.D	롤카펫
	상호대차실	1	90	400	N.D	롤카펫
	고문헌자료실	1	120	750	10	바닥매트
	복사실	1	30	900	N.D	롤카펫
	로비	1	10	10	N.D	일반바닥
바닥 평균±표준편차			60.0±43.2	1,300±2,471.3	2.9	

3. 일산화탄소 · 이산화탄소 · 일산화질소

도서관 내에서 측정된 일산화탄소·이산화탄소·일산화질소 농도는 모든 구역에서 환경부와 고용노동부, WHO 기준보다 낮은 것으로 측정되었다. 다만, 복사실에서의 이산화탄소 농도가 최고 600ppm 이상 증가한 것으로 측정되었다.

〈표 8〉 이산화탄소·일산화탄소·이산화질소 농도

기 준	CO(ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
환 경 부	10	1,000	0.05
고용노동부	10	1,000	0.05
W H O	-	-	0.12
중앙대출실	0.66±0.09	507±34	0.05
상호대차실	0.44±0.20	478±26	0.02±0.01
연속간행물(사)	-	-	0.03
단행본자료(사)	-	-	0.04±0.01
고문헌서고(사)	0.15±0.06	439±27	0.03±0.01
학술정보개발팀	0.38±0.13	419±59	-
자료복원실	-	-	0.04
고문헌서고	0.53±0.08	418±39	0.02
보존 서고	-	-	0.03
기계실(사무실)	-	-	0.04±0.01
복사실	0.09±0.10	576±69	0.04

## V. 결론

도서관은 단위 인구밀도가 높고 한번 출입하면 오랜 시간동안 상주하는 곳이며, 외부의 소음 차단과 보안을 위해 건물의 기밀성을 강화함에 따라 밀폐된 공간이 많은 것이 특징이다. 이런 환경적 요인에 따라 도서관은 유해인자에 의한 공기의 오염이 쉽고 자연환기가 부족하여 이용자의 건강을 침해할 수 있기 때문에 실내 공기의 관리가 중요하다고 할 수 있다.

S대학 중앙도서관은 이런 도서관의 환경적 특성을 고려하여 도서관 내 공기질 측정·분석을 실시하고 측정 결과를 토대로 오염된 유해인자를 제거하여 이용자들이 안심하고 도서관을 이용할 수 있도록 쾌적한 환경을 제공하고자 하였다. 도서관 내에서의 실내 공기질 측정 대상을 ① 공기 중 유해물질(미세먼지, 석면, 휘발성유기화합물, 포름알데히드) ② 생물학적 유해인자(미생물, 엔도톡신, 집먼지 진드기) ③ 일산화탄소·이산화탄소·이산화질소 측정 등 세 영역으로 구분하여 다음과 같은 측정결과를 도출하였다.

① 공기 중 유해물질 가운데 미세먼지(PM<sub>10</sub>)를 측정한 결과 대부분 구역에서 환경부의 실내공기질관리법 유지기준과 고용노동부의 사무실 공기관리지침에서 제시하는 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 보다 낮은 수준이었다. 다만, 자료복원실과 기계실(사무실)은 실내 공기질 기준인 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 보다 낮은 낮았으나, 다른 구역에 비해서는 상대적으로 높은 86.6±4.7 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 86.0±13.7 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 측정되었다. 이 두 공간은 환기가 충분하지 못한 조건이며, 측정 당일 외기 미세먼지 농도가 높아(약 90 $\mu$ g/m<sup>3</sup>) 외기의 유입으로 인한 영향이 컸던 것으로 보인다. 또한 근무자들에게서 공기질이 나쁠 것 같은 장소로 꼽힌 지하 보존서고의 경우에도 127.8±17.0 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 기준치 보다는 낮았으나 다른 구역에 비해 상대적으로 높은 수치를 보였다. 복사실은 25.9±3.6 $\mu$ g/

m<sup>3</sup>로 복사기로부터 발생하는 먼지와 밀폐된 공간에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다. 이용자 출입이 빈번한 로비에 위치한 북 카페에서 측정한 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도는 58.3±6.3µg/m<sup>3</sup>이었으며 실내 공기질 기준인 150µg/m<sup>3</sup>의 40% 정도 수준이었다. 그러나 측정 당일 외기 미세먼지 농도(약 90µg/m<sup>3</sup>)가 높아 외기에 의한 영향으로 다른 구역에 비해 농도가 높았던 것으로 판단된다. 열람실의 공기 중 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도 측정은 외기 미세먼지 농도가 높은 날과 보통인 날, 두 번에 걸쳐서 측정하였다. 외기 미세먼지 농도가 높을 때(외기 90µg/m<sup>3</sup>) 열람실에서의 미세먼지의 평균 농도가 82.9±13.9µg/m<sup>3</sup>로 실내공기질 기준 150µg/m<sup>3</sup> 보다 낮은 수준이었다. 외기 미세먼지 농도가 보통 수준(외기 43µg/m<sup>3</sup>)일 때 재 측정한 실내 미세먼지 농도는 제1열람실에서 57.2±4.5µg/m<sup>3</sup>, 제2열람실에서 36.4±4.3µg/m<sup>3</sup>로 감소하여 외기 미세먼지의 영향을 받는 것으로 나타났다.

② 공기 중 유해물질 가운데 석면(Asbestos)은 제1열람실을 제외한 도서관 내에서 검출되지 않았다. 즉, 도서관 내에서 평상시에는 공기 중으로 석면이 비산되지 않는 것을 확인하였다. 제1열람실에서 0.00004개/cc의 석면섭유가 발견되었으나, 실내공기질관리법의 다중이용시설과 고용노동부의 권고기준인 0.01개/cc 보다 낮은 수준이었으며 섬유 형태가 석면과 유사하였을 뿐 실제 석면 섬유인지 여부는 현미경 상으로 확실하게 판단하기 어려우므로 공기 중 석면 섬유 비산으로 인한 지나친 우려는 하지 않아도 되는 수준이었다.

③ 공기 중 유해물질 가운데 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs)은 실내공기질관리법 권고기준 500 µg/m<sup>3</sup> 보다 낮은 수준이었다. 다만, 벤젠이 자료복원실에서 314.4µg/m<sup>3</sup>로 다른 구역에 비해 약 두 배 높게 검출되었으나 일반 대기 중에 존재하는 농도 수준이었다.

④ 공기 중 유해물질 가운데 포름알데히드(Formaldehyde)는 0.7-7.6µg/m<sup>3</sup> 수준으로 실내공기질관리법 유지기준인 100µg/m<sup>3</sup>와 사무실 공기관리 지침에서 제시하는 권고기준 120µg/m<sup>3</sup> 보다 낮은 수준이었다.

⑤ 생물학적 유해인자 가운데 공기 중 미생물(곰팡이)은 결과불검출(N.D) 되거나 7.1~50.2CFU/m<sup>3</sup>으로 환경부의 실내공기질 권고기준인 500CFU/m<sup>3</sup> 보다 10%에도 못 미치는 낮은 수준이었다.

⑥ 생물학적 유해인자 가운데 공기 중 미생물(총박테리아)은 불검출(N.D) 되거나 7.1~50.2CFU/m<sup>3</sup>으로 환경부의 실내공기질 권고기준인 500 CFU/m<sup>3</sup> 보다 낮은 수준이었다. 다만, 보존서고에서 최대 353.4CFU/m<sup>3</sup>로 가장 높았으나 기준 대비 약 44% 수준이었다.

⑦ 생물학적 유해인자 가운데 공기 중 미생물(그램음성박테리아)는 로비에 위치한 북 카페에서 7.1CFU/m<sup>3</sup>로 검출되었으나 이 외 다른 장소에서는 모두 검출되지 않았다.

⑧ 생물학적 유해인자 가운데 공기 중 엔도톡신(Endo toxin)의 국내 기준이 없으며 네덜란드에서는 직업성 기준(50EU/m<sup>3</sup>)에 검출한계치(< LOD) 이거나 최대 0.53EU/m<sup>3</sup>으로 대형병원 로비에서의 농도(0.60EU/m<sup>3</sup>) 보다 낮은 수준으로 나타났다.

⑨ 생물학적 유해인자 가운데 공기 중 집먼지 진드기(북아메리카형, 유럽형)에 관한 기준이 없고 대부분 검출한계 미만으로 확인되었다. 학술연구지원팀과 상호대차실 바닥의 카펫에서 채취한 먼지에서 북아메리카형 집먼지 진드기(38.0ng/g)와 유럽형 집먼지 진드기(23.8ng/g)가 확인되었으나, 이 수치는 국내 겨울철 일반 가정집에서 측정된 농도(북아메리카형 634.9ng/g, 유럽형 34.8ng/g) 보다 낮은 수준 이었다.

⑩ 이산화탄소·일산화탄소·이산화질소 농도는 모든 구역에서 환경부와 고용노동부, WHO 기준보다 낮은 것으로 측정되었다.

## 참고문헌

- 권혁상. 2011. 『리모델링 건물의 실내공기 환경 실태조사 연구 : C대학 중앙도서관 사례 중심으로』. 석사학위논문, 중앙대학교 건축대학원, 건축공학과.
- 김성호 외. 2012. 아토피 아동 가정 내 집먼지 진드기 농도와 환경요인. 『한국환경보건학회지』, 38(3): 204-212.
- 백성욱 외. 2006. 대학 도서관 건물 리모델링에 따른 실내 공기질 영향 평가. 『한국대기환경학회지』, 22(6): 876-887.
- 유하늬 외. 2009. 인천지역 공공어린이도서관의 실내 공기질과 건축 조건과의 상관성 분석. 『한국건축환경설비학회지』, 3(2): 70-79.
- 이경민 외. 2014. 일부 종합 병원 로비의 공기 중 엔도톡신 농도에 미치는 환경 요인 평가. 『한국산업보건학회지』, 24(3): 310-320.
- 이종렬 외. 2010. 대학 도서관 건물의 실내공기오염 실태조사 및 개선 방안에 관한 연구. 『대한설비공학회지』, 22(6): 46-52.
- 국가건강정보포털 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<http://health.cdc.go.kr/health/Main.do>>
- 국가법령정보센터 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<http://www.law.go.kr/>>
- 국립환경과학원 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<http://www.nier.go.kr/NIER/index.jsp>>
- 네이버 지식백과 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<https://terms.naver.com/>>
- 미국 공조냉동공학회 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<https://www.ashrae.org/>>
- 미국 산업안전보건연구원 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>>
- 미국 환경보호청 [online]. [cited 2019. 6. 26]. <<https://www.epa.gov/>>
- 세계보건기구 홈페이지 [online]. [cited 2019. 6. 25]. <<https://www.who.int/>>
- Goodman, N.B., Wheeler, A.J., Paevere, P.J., Selleck, P.W., Cheng, M. and Steinemann A. 2018. Indoor volatile organic compounds at an Australian university. *Building and Environment*, 135: 344-351.

- Hayleeyesus, S.F. and Manaye, A.M. 2014. Microbiological quality of indoor air in university libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4: S312–S317
- Kumar, A., Singh, B.P., Punia, M., Singh, D., Kumar, K. and Jain, V. 2014. Assessment of indoor air concentrations of VOCs and their associated health risks in the library of Jawaharlal Nehru University. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(3): 2,240–2,248.
- Micheluz, A., Manente, S., Tigini, V., Prigione, V., Pinzari, F., Ravagnan, G. and Varese, G.C. 2015. The extreme environment of a library: xerophilic fungi inhabiting indoor niches, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 99: 1–7.
- Wu, Y., Lu, Y. and Chou, Ding–Chin. 2018. Indoor air quality investigation of a university library based on field measurement and questionnaire survey. *International Journal of Low–Carbon Technologies*, 13(2):192–192.

국한문 참고문헌의 영문 표기

(English translation / Romanization of reference originally written in Korean)

- Kwon, Hyuk Sang. 2011. *A study on the Indoor Air Quality after remodeling, -'C'-University Central Library case study*. M. A. thesis., Chungang University.
- Kim, Sung Ho etc. 2012. “House Dust Mites and Associated Environmental Factors in Homes of Atopic Children.” *Korean Society of Environmental Health*, 38(3): 204–212.
- Baek, Sung Ok etc. 2006. “Impact Assessment of Remodeling Works on Indoor Air Quality in a University Library Building.” *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(6): 876–887.
- Yu, Ha Nui etc. 2009. “The Relativity Analysis Between Indoor Air Quality and Architectural Conditions in Incheon Area’s Public Children’s Libraries.” *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, 3(2): 70–79.
- Lee, Kyeong Min etc. 2014. “An Assessment of Environmental Characteristics Associated with the Level of Endotoxin Concentration in Hospital Lobbies.” *The Society of Air–Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea*, 24(3): 310–320.
- Lee, Jong Ryeul etc. 2010. “A Study on the Indoor Air Quality of University Library and its Improvement.” *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 22(6): 46–52.