

## 석면함유 건축물의 관찰조사를 통한 실내공기 중 섬유 농도 변화 요인 추정

이승철<sup>1</sup> · 김부욱<sup>2</sup> · 이광용<sup>3</sup> · 신용철<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>고용노동부 화학사고예방과, <sup>2</sup>근로복지공단 직업성폐질환연구소,  
<sup>3</sup>안전보건공단 산업안전보건연구원, <sup>4</sup>인제대학교 보건안전공학과 · 보건과학정보연구소

### Estimation of Factors Influencing Airborne Fiber Concentrations through an Observation Survey of Asbestos-containing Materials in Buildings

Seungchul Lee<sup>1</sup> · Boowook Kim<sup>2</sup> · Gwang Yong Yi<sup>3</sup> · Yong Chul Shin<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Chemical Accident Prevention Division, MOEL

<sup>2</sup>Occupational Lung Diseases Institute, KCOMWEL

<sup>3</sup>Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

<sup>4</sup>Department of Occupational Health and Safety Engineering · Institute for Health Science,  
Technology & Information, Inje University

#### ABSTRACT

**Objectives:** The objective of this study is the estimation of factors influencing airborne fiber concentrations by means of an observation survey of asbestos-containing materials in buildings.

**Methods:** Forty-five samples were collected from four commercial buildings by NIOSH Method 7400 and classified according to current condition, potential activity, construction year, and operations and maintenance(O&M).

**Results:** Airborne fiber concentrations by current condition(classified as good, fair and poor) were significantly different( $p<0.05$ ). Concentrations by potential activity were significantly different among groups( $p<0.05$ ), and those from the low activity group were higher than those from the middle activity group. Based on construction year, airborne fiber concentrations from the decade of the 1990's were higher than those from the 1960's. When O&M status was considered, airborne fiber concentrations from 1960's buildings were lower than those buildings not operated and maintained( $p<0.01$ ), because dust generation was influenced by O&M status. It was found that airborne fiber concentrations were related to current condition and potential activity via regression analysis, but the coefficient of determination was low. Also, correlation analysis showed that the higher the potential activity, the more current condition is worsened, but the relationship was not significant( $r=-0.455$ ,  $p>0.05$ ).

**Conclusions:** Airborne fiber concentrations in asbestos-containing buildings had weak relationships with current condition and potential activity.

**Key words:** asbestos, current condition, potential activity, construction year, O&M

#### I. 서 론

공기 중에 존재하는 섬유상 물질은 분진의 형태로

인체에 흡수되어 기관지 및 폐질환 등의 질병을 일으키는데, 그 중 석면은 장기간 노출될 경우 약 15~30년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성중피종,

\*Corresponding author: Yong Chul Shin, Tel: 055-320-3676, E-mail: ycshin@inje.ac.kr  
Department of Occupational Health and Safety Engineering · Institute for Health Science, Technology & Information, Inje University. #197, Inje-ro, Kimhae-si, Gyeongnam 621-749  
Received: July 24, 2014, Revised: June 22, 2015, Accepted: June 23, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인후두암, 유방암, 난소암, 신장암, 췌장암, 부고환암, 임파선암, 원형무기폐, 흉수 및 흉막염 등을 유발할 수 있다(Becklake, 1976; Park & Paik, 1988).

내구성, 단열성 및 불연성 등의 성질을 가진 석면은 천장재, 슬레이트 및 밤라이트 등의 건축자재와 브레이크라이닝 및 패드 등의 마찰재, 가스켓 등의 조인트 시트 등 산업용 및 일반 생활 주거 공간에 다량 사용되어 왔는데, 우리나라의 경우 석면함유 제품의 제조·수입·양도·제공 또는 사용의 전면 금지(MoEL, 2015)로 인해 이를 제품화하는 공정은 없으나, 석면함유 건축물(Asbestos Containing Materials in buildings, ACMs)에 의한 공기중 노출은 여전히 작업장 및 일반 환경의 주민들에게 많은 위험요소가 되고 있다. 이를 해결하고자 고용노동부는 2009년 산업안전보건법 제38조의3을 신설하여 ACMs의 해체·제거 시 관련 규정을 준수토록 하였고, 2010년에는 산업안전보건기준에 관한 규칙에 해체·제거 대상이 아닌 ACMs의 유지·관리 의무를 신설하여 시행하였다.

ACMs 중 공기중 노출수준에 문제가 되는 것은 비고형으로서 건축물의 표면에 살포되어 기류, 건축물의 진동, 유지보수, 건축물의 노후화 등으로 인해 쉽게 부스러져 공기 중으로 석면 섬유를 비산시킬 우려가 있는 경우이다(KOSHA, 2008). 우리나라는 상대적으로 미국에 비해 비산 가능한 형태의 ACMs가

많지 않지만 현재 상태 및 잠재적 손상가능성으로 섬유가 비산될 가능성은 충분하다고 판단된다. 실내 농도를 제어하기 위해서는 섬유를 비산시키는 요인을 알아야 하며, 그 각각의 요인에 따라 실내 농도와 의 연관성을 분석하는 것이 반드시 필요하다.

미국재료시험협회(American Society for Testing and Materials, ASTM)와 영국 보건안전청(Health and Safety Executive, HSE)에서는 유지·관리에 고려되는 요인으로 현재 상태, 잠재적 손상가능성, 물질평가, 우선순위평가 등의 방법을 제시하고 있다. 이 기본 요소들을 바탕으로 이 연구에서는 현재 상태, 잠재적 활동성, 건축년도, 유지·관리 여부 별로 공기중 농도의 차이 및 상관성을 분석하여 공기중 석면 및 기타 섬유 농도에 영향을 주는 요인을 추정하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 대상

부산시의 석면함유물질 실태조사 자료를 통해 석면조사가 완료된 상업용 건물 4곳을 선정하여 진행하였다. 그 중 ACMs가 존재하는 실(Rooms)을 대상으로 각 실별 현재 상태, 잠재적 활동성, 건축년도, 유지·관리 여부의 평가를 진행하였고 정도의 차이가 있는 실 별로 분류 하였으며, 그 결과를 토대로

Table 1. General information on surveyed rooms

Building	Room ID	N*	Type of ACMs	Type of asbestos	Content of asbestos(%)
A	A-1	2	Ceiling tile	Chrysotile	5
	A-2	4	Ceiling tile	Chrysotile	8
	A-3	2	Ceiling tile	Chrysotile	3
B	B-1	3	Ceiling tile	Chrysotile	3
	B-2	2	Ceiling tile	Chrysotile	10
	B-3	2~3	Ceiling tile & tile	Chrysotile	12
C	C-1	3	Ceiling tile	Chrysotile	10
	C-2	2	Gasket	Chrysotile	40
	C-3	3~5	Ceiling tile & cement board	Chrysotile	10
D	D-1	3~5	Ceiling tile	Chrysotile	15
	D-2	6~8	Ceiling tile	Chrysotile	10
	D-3	2	Ceiling tile	Chrysotile	10

\*Number of occupants

각 건물별 3개의 실을 선정 후 총 45개의 공기중 시료를 채취하였다. Table 1은 대상 건물의 석면사용 현황으로서 ACMs의 형태는 천장텍스가 대부분이었으며(75%) 천장텍스와 바닥타일, 시멘트보드가 동시 존재하는 곳(17%) 그리고 가스켓(8%)이었으며, 모두 백색면으로 3~40%의 분포율을 나타내었다.

2. 요인별 정도 및 등급에 대한 분류 기준

1) 현재 상태

ASTM E2356(ASTM, 2010)의 방법을 바탕으로 자재의 시각적 평가에 기초를 두었다. 평가 대상 실에서 주거하거나 일하는 사람들 또는 장비, 가구, 기계, 설치 및 제거나 부적절한 유지·관리에서 발생된 물리적 손상과 내부 또는 가까운 곳의 기계적인 장비로부터 발생하는 진동, 내부 공기의 흐름, 누수, 화학

적 반응으로 인한 부식 등의 환경적 손상의 요인을 기준으로 그 손상정도를 1점부터 10점까지 평가하였으며, 점수에 따라 좋음(Good), 보통(Fair), 나쁨(Poor)의 세 가지 요인으로 등급화하였다. 주관적 요소가 반영되는 관계로 관련분야에 10년 이상, 5년, 2년, 1년 미만 종사하고 있는 조사자 별로 평가하여 객관성을 유지하였으며, 구체적인 평가 방법은 Table 2에 나타내었다.

2) 잠재적 활동성

HSG227(HSE, 2002)의 우선순위평가 알고리즘에서 일부를 발췌하였으며 보행, 장비의 세팅 등 사람이 할 수 있는 모든 활동을 포함하고 조사대상 실에서의 업무 또는 주거가 ACMs를 건드리는 범위의 정도를 반영하였다. 인터뷰를 통해 이용자 수(없음, 1

Table 2. Qualitative assessment and quantitative ratings for current condition by ASTM E2356

Qualitative ranking	Quantitative rating	Description of current condition
Good	7, 8, 9, 10	Surfacing material has no visible damage or small amounts of damage; covering on thermal system insulation is intact or has small amounts of damage; miscellaneous materials intact; no visible debris or small amounts of debris.
Fair	4, 5, 6, <7	Surfacing material has moderate but not extensive amounts of visible damage; covering on thermal system insulation is cut or torn, exposing moderate but not extensive amounts of insulation; moderate but not extensive damage to miscellaneous materials such as floor tile; moderate but not extensive amounts of visible dust and debris. Damage: up to 25% localized damage and up to 10% distributed damage.
Poor	1, 2, 3, <4	Extensive damage to surfacing material; covering on thermal system insulation is cut or torn extensively and insulation itself is damaged; miscellaneous materials such as floor tile extensively damaged and underlying mastic exposed; extensive amounts of debris. Damage: over 25% localized damage and over 10% distributed damage.

Table 3. Quantitative assessment for potential activity by HSG227

Assessment factor	Score	Examples of score variables
Number of occupants	0	None
	1	1 to 3
	2	4 to 10
	3	>10
Frequency of use of area	0	Infrequent
	1	Monthly
	2	Weekly
	3	Daily
Average time in use	0	<1 hour
	1	≥1 to <3 hours
	2	≥3 to <6 hours
	3	≥6 hours
Type of activity in area	0	Rare disturbance activity
	1	Low disturbance activities
	2	Periodic disturbance
	3	High levels of disturbance

~3명, 4~10명, 10명 이상), 공간 사용 빈도(희귀함, 매일, 매주, 매일), 공간 사용 시간(1시간 이하, 1~3시간, 3~6시간, 6시간 이상), 활동 형태(침해 활동이 극히 드문, 침해 활동이 낮음, 주기적인 침해, 지속적인 침해)에 관한 정보를 조사한 후 정량화하였고, 그 점수를 합하여 0에서 4점은 낮음(Low), 5점에서 8점은 보통(Medium), 9점에서 12점은 높음(High)으로 정성화하였다. 위의 요소를 모두 포함하여 잠재적 활동성이라 칭하였으며, 구체적인 평가 방법은 Table 3에 나타내었다.

### 3) 건축년도, 유지·관리 여부

건축년도는 대상 건물의 건축물 대장을 이용하였고 확인 불가능한 건물에 대해서는 시설관리자와의 인터뷰를 통해 조사하였으며, 건물의 용도 변경을 위한 대상 실의 리모델링은 없었다.

유지·관리 또한 시설관리자와의 인터뷰 후 시야를 통해 직접 확인하였고 유지·관리를 하지 않은 ACMs와 고착화(Encapsulation) 등의 유지·관리가 되어있는 ACMs로 구분하였다.

### 3. 시료채취 및 분석

공기중 시료의 채취는 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공식시험법인 NIOSH Method 7400(NIOSH, 1994a)에 따라 cellulose ester membrane filter(공극 0.8  $\mu\text{m}$ , 직경 25 mm)와 50 mm 카울(Cowl)이 장착된 cassette(SK 225-321, USA)를 시료채취기(Gilian GilAir-3 Samper, MSA ESCORT® LC Pump, USA)에 연결하여 2.6 L/min의 유량으로 374분~417분 동안 시료를 채취하였다. 유량 보정은 비누거품미터를 이용하여 시료 채취 전 후 각각 3회씩 실시하여 측정값을 평균하였으며, 시료채취는 바닥에서 1.2 m~1.8 m 사이의 위치에 근로자 업무시간 동안 이루어졌다. 시료채취 중 모든 에어컨, 환기시설 등의 공기 흐름에 의한 요소는 차단하였고, 창문은 모두 밀폐한 후 진행하였으며 온도, 습도, 누수, 부식 등의 기타 요인은 고려하지 않았다.

시료의 분석은 위상차현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM)법을 이용하였는데, 먼저 시료를 아세톤 증기화 장치를 이용하여 투명화 시키고 소량의 트리야세틴

을 떨어뜨려 기포가 생기지 않도록 전처리 한 후 Walton-Beckett 그래티쿨이 삽입된 위상차 현미경을 이용하여 약 400배의 배율에서 섬유를 계수하였고, 그 방법은 A rule에 따라 섬유의 길이가 5  $\mu\text{m}$  이상이고 길이와 직경의 비가 3:1 이상인 것을 계수하되, 그 시야의 수가 100개를 넘지 않도록 하였다.

그리고 공기중 시료에서 석면의 존재 여부를 확인하기 위해 NIOSH Method 7402(NIOSH, 1994b)에 따라 Cellulose ester membrane filter(공극 0.45  $\mu\text{m}$ , 직경 25 mm)와 50 mm 카울(Cowl)이 장착된 Cassette(SK 225-327, USA)를 시료채취기에 연결하여 2.2 L/min의 유량으로 411분~420분 동안 채취하였다. 채취된 여과지는 슬라이드 글라스에서 투명화용액(35% dimethyl formamide, 15% glacial acetic acid 및 50% distilled water)을 소량 떨어뜨린 후 약 70°C 슬라이드 건조기에서 10분간 투명화 시키고, 저온플라즈마 회화로를 이용해 여과지 표면의 약 10%를 식각(Etching) 처리한 뒤(ISO, 1995), 탄소코팅기를 이용하여 표면에 얇은 탄소막을 생성시켜 약 9 mm<sup>2</sup> 크기로 잘라서 200mesh TEM Grid 위에 놓은 후 Jaffe washer(50% dimethyl formamide, 50% acetone)를 이용하여 여과지는 용해시키고 석면 및 기타 무기물질은 탄소막에 부착시켰다. 전처리 된 TEM grid는 에너지 분산형 X선 분광기(Energy Dispersive X-ray system, EDX)가 장착된 투과전자현미경(Transmission electron microscopy, TEM)을 이용하여 분석하였으며, Spot 크기 100 nm로 100초 간 EDX 스펙트럼을 얻어 화학적 조성을 분석하였고 전자회절(Selective Area Electron Diffraction, SAED) 분석을 통해 광물의 결정구조를 확인하였다.

### 4. 자료의 분석

공기중 섬유 농도는 Shapiro-Wilk 검정결과 대수정규분포를 보였으나, 생체의 노출부하량(Body burden)을 잘 나타내는 지수는 기하평균보다는 산술평균으로 알려져 있어(Seixas et al., 1988) 산술평균 및 표준편차와 기하평균 및 기하표준편차를 같이 나타내었다. 현재 상태, 잠재적 활동성에 따른 각 등급별 공기중 섬유 농도는 일원배치 분산분석(Analysis of variance, ANOVA) 및 Duncan 검정에 의한 사후분석을 실시하였으며, 건축년도, 유지·관리 여부에 따른

공기중 섬유 농도는 T-test를 실시하여 농도의 차이를 비교하였다. 또한, 공기중 농도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위하여 단변량 분석에서 유의한 차이를 보인 요인을 독립변수로 두어 공기중 섬유 농도와 다중회귀분석(Multiple regression analysis)을 실시하였고, 그 요인에 따른 공기중 농도의 상관관계를 분석하기 위하여 피어슨 상관분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였으며, 정량평가 방법을 통해 평가된 각 점수를 이용한 잠재적 활동성과 현재 상태와의 상관관계를 분석하기 위하여 스피어만 상관분석(Spearman correlation analysis)을 실시하였다.

산술평균 및 표준편차와 기하평균 및 기하표준편차는 Excel 2007(Microsoft Office Inc.)을 이용하였고 모든 데이터의 통계 분석은 PASW Statistics 18(SPSS Inc.)를 이용하였으며, 일부 도표의 작성은 SigmaPlot 12.0(SPSS Inc.)을 이용하였다.

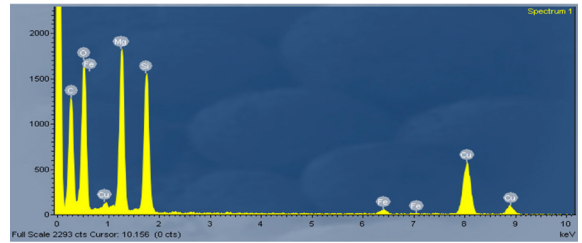
### III. 결과 및 고찰

요인별 농도 비교 및 통계 분석의 데이터는 PCM 분석에 의한 결과값을 이용하였는데, 이는 석면을 포함한 기타 섬유까지 계수한다는 한계점으로 인해 석면 농도가 아닌 섬유 농도로 표현하였다. 다만 석면의 존재 여부는 TEM을 이용하여 확인하였는데, Figure 1은 TEM과 EDX를 이용한 석면의 동정 결과로 A 건물의 A-1실에서 발견된 백석면의 EDX 스펙트럼(a)과 이미지(b), SAED 패턴(c)을 나타낸 것이다.

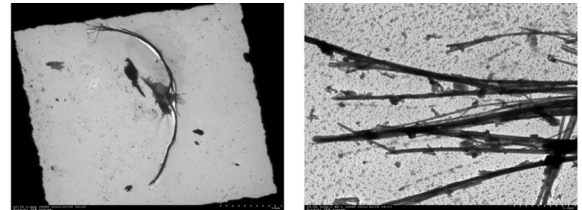
#### 1. 요인별 공기중 섬유 농도의 차이

##### 1) 현재 상태

Table 2에서 제시한 방법을 이용하여 각 실험 ACMs의 현재 상태를 평가하였다. 조사 대상 실의 ACMs는 대부분이 천장텍스이고 바닥타일 1곳, 시멘트보드 1곳으로 구성되어 기타물질로 분류하였다. 객관성을 유지하기 위해 관련분야에 10년 이상, 5년, 2년, 1년 미만 종사하고 있는 조사자 5명이 동시에 평가하였고 평가된 점수의 평균값을 산출하여 정성화하였다. Figure 2는 그 결과를 나타낸 것으로 A-2, B-3, D-1, D-3의 ACMs가 좋음(Good), A-3, B-2, C-2, D-2가 보통(Fair), A-1, B-1, C-1, C-3이 나쁨(Poor)으로 평가되었고 각 등급별 비율은 좋음(Good)이 33%,



(a) Energy dispersive X-ray spectrometer spectrum



(b) Image



(c) Selected area electron diffraction pattern with diagnostic features labelled

Figure 1. Result of asbestos identification by TEM and EDX

보통(Fair) 33%, 나쁨(Poor) 33%였다.

현재 상태별로 나쁨(Poor)으로 분류된 ACMs의 기하평균이 0.0028 f/cc로 가장 높았고, 보통(Fair)이 0.0027 f/cc, 좋음(Good)이 0.0019 f/cc 순으로 Table 4에 그 값을 나타내었다. 좋음(Good)으로 평가된 경우 기하평균이 0.0019 f/cc로 보통(Fair)이나 나쁨(Poor)으로 분류된 경우에 비해 낮게 나타났다(p<0.05). 이는 손상의 정도를 두 개 또는 세 개의 그룹으로 세분화한 방법에서는 차이가 있으나 조사자의 시각적 평가에 의해 시행된 연구결과로서 Chesson et al.(1990)의 표면의 손상정도가 공기중 석면 농도에 영향을 준다고 보고한 결과와 Moon & Kim(1994)의 표면의 관리 상태 등 손상정도에 따라서 공기중 석면 농도는 매우 유의한 차이가 있었다는 보고와 일치한다. 반면 Crump & Farrar(1989)의 연구에서 손상정도에 따른 실내공기 중 석면 농도의 차이는 통계적으로 유의하지

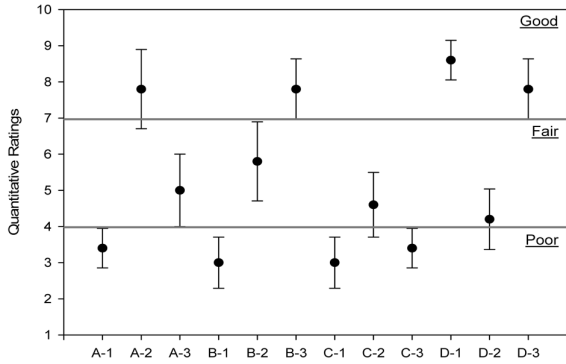


Figure 2. Assessment of current condition

않았다고 보고한 결과와는 대조되는데, 이는 ACMs가 사용되지 않은 건물에서의 농도값을 하나의 그룹으로 포함시켜 분석을 한 것으로 본 연구와는 방법 면에서 다소 차이가 있었다고 추정된다.

2) 잠재적 활동성

Table 3에서 제시한 방법을 이용하여 ACMs가 존재하는 각 실의 잠재적 활동성을 평가하였다. 근로자들의 인터뷰와 시각평가를 통해 각 요소별로 점수화한 후 점수의 분포에 따라 4점 이하는 낮음(Low), 5점에서 7점 이하는 보통(Medium), 8점 이상은 높음(High)으로 정성화하였다. Figure 3은 그 결과를 나타낸 것으로 A-2, B-2, C-1, C-3가 높음(High), A-1, A-3, B-1, D-1, D-2가 보통(Medium), B-3, C-2, D-3가

낮음(Low)으로 조사되었고, 높음(High)이 33%, 보통(Medium)이 42%, 낮음(Low)이 25%의 비율을 나타내었다.

잠재적 활동성이 높음(High)으로 분류된 실에서의 기하평균이 0.0033 f/cc로 가장 높았고 낮음(Low)이 0.0022 f/cc, 보통(Medium)이 0.0020 f/cc 순으로 Table 5에 그 값을 나타내었다. 높음(High)으로 분류된 실의 경우 보통(Medium)의 경우보다 기하평균이 높게 나타났다(p<0.05), 낮음(Low)으로 분류된 실의 기하평균은 보통(Medium)의 경우보다 오히려 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 이는 근로자수, 사용빈도, 사용시간, 활동형태의 요소 외에도 본 연구에서 고려하지 않은 기류, 온도, 습도 등 기타 요인에 의해 공기중 섬유 농도가 영향을 받았다고 추정된다.

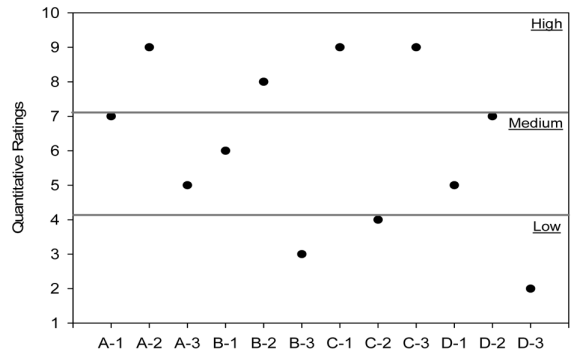


Figure 3. Assessment of potential activity

Table 4. Airborne fiber concentrations by current condition

Current condition	N*	Fiber concentration in air, fibers/cc		
		Mean ± SD†	GM(GSD)‡	Range
Good	16	0.0021 ± 0.0009	0.0019(1.2)	0.0011 ~ 0.0036
Fair	15	0.0031 ± 0.0015	0.0027(1.3)	0.0009 ~ 0.0053
Poor	14	0.0030 ± 0.0012	0.0028(1.2)	0.0016 ~ 0.0051

\*Number of samples, † Mean ± Standard deviation, ‡ Geometric mean(Geometric standard deviation)

Table 5. Airborne fiber concentrations by activity

Potential activity	N*	Fiber concentration in air, fibers/cc		
		Mean ± SD†	GM(GSD)‡	Range
High	14	0.0035 ± 0.0012	0.0033(1.2)	0.0016 ~ 0.0053
Medium	20	0.0024 ± 0.0012	0.0020(1.3)	0.0009 ~ 0.0049
Low	11	0.0024 ± 0.0011	0.0022(1.2)	0.0011 ~ 0.0047

\*Number of samples, † Mean ± Standard deviation, ‡ Geometric mean(Geometric standard deviation)

**Table 6.** Airborne fiber concentrations by Year of construction and O&M status

Year of construction/ O&M status	N*	Fiber concentration in air, fibers/cc		
		Mean ± SD†	GM(GSD)‡	Range
In the '60s/ Encapsulation	24	0.0023 ± 0.0012	0.0020(1.3)	0.0009 ~ 0.0053
In the '90s/ None	21	0.0033 ± 0.0012	0.0031(1.2)	0.0016 ~ 0.0051

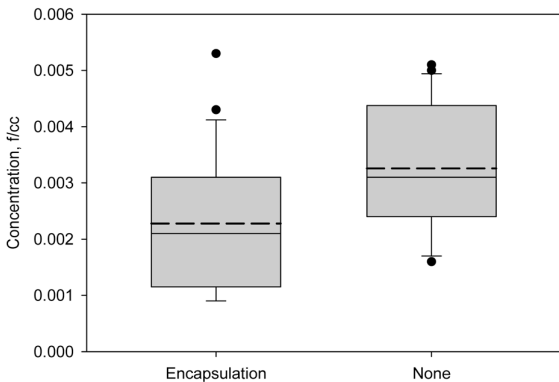
\*Number of samples, † Mean ± Standard deviation, ‡ Geometric mean(Geometric standard deviation)

**Table 7.** Statistics describing the relationship of airborne fiber concentrations between current condition and activity

Factors	Current condition vs potential activity		
	Good vs Low	Fair vs Medium	Poor vs High
Pearson correlation coefficient(r)	0.070	0.502	0.465
p-value	0.838	0.057	0.094

3) 건축년도 및 유지·관리 여부

대상 건물의 건축물 대장과 인터뷰를 통한 건축년도를 조사한 결과 1967년, 1993년, 1995년으로 조사되었고 용도 변경을 위한 리모델링은 없었다. 1960년대와 1990년대 두 개의 그룹으로 나누었으며 각 50%의 비율을 차지하였다. 유지·관리 여부별로 보면 1960년대의 건물이 ACMs의 표면에 모두 고착화(Encapsulation)가 되어 있었고, 1990년대의 건물에는 어떠한 조치가 되어 있지 않았다. 1990년대 건물의 기하평균이 0.0031 f/cc로 1960년대 건물의 기하평균보다 오히려 높았으나, 유지·관리의 여부로 판단해 보면 고착화가 되어 있는 곳의 기하평균이 0.0020 f/cc로 그렇지 않은 곳의 기하평균보다 낮게 나타났다(p<0.01)(Table 6, Figure 4). 이는 건물의 노후화 등과는 상관없이 유지·관리의 여부가 분진의 비산에 영향을 미친다고 판단된다.

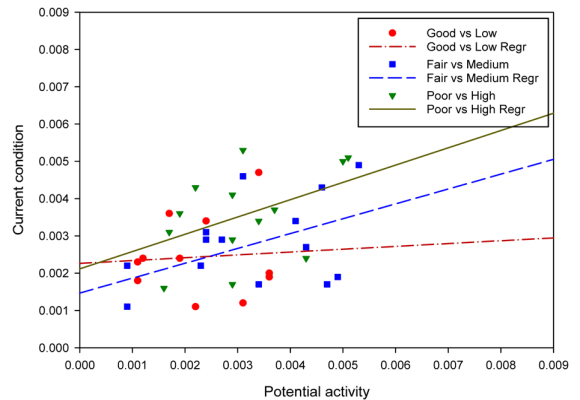


**Figure 4.** Airborne fiber concentrations by O&M status

2. 요인별 상관 및 회귀분석

현재 상태와 잠재적 활동성에 따른 공기중 농도의 상관관계를 분석하기 위하여 공기중 농도의 데이터를 현재 상태와 잠재적 활동성이 각각 좋음(Good)과 낮음(Low), 보통(Fair)과 중간(Medium), 나쁨(Poor)과 높음(High)으로 구분하여 피어슨 상관분석을 실시하였다. 그 결과 보통(Fair)과 중간(Medium), 나쁨(Poor)과 높음(High)의 관계에서 상관관계를 나타내었으나 (r=0.502, r=0.465) 통계적으로 유의하지는 않았다 (p>0.05)(Table 7, Figure 5).

그리고 단변량 분석에서 유의한 차이를 보인 현재 상태와 잠재적 활동성이 공기중 농도에 영향을 미치는지의 여부를 분석하기 위하여 두 요인을 독립변수로 두고 종속변수인 공기중 농도와의 다중회귀분석을 실시하였다. 이때 현재 상태와 잠재적 활동성은 서열적



**Figure 5.** Plot of airborne fiber concentrations between current condition and potential activity

**Table 8.** Statistics describing the regression between airborne fiber concentrations and current condition

Dependent variable	Independent variable	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients beta	t-value	p-value
		B	Standard error			
Fiber concentration in air	Current condition $\chi_1$	0.0010	0.0004	0.3794	2.3271	0.0249*
	Current condition $\chi_2$	0.0009	0.0004	0.3365	2.0643	0.0452*

$R^2=0.136$ , adjusted  $R^2=0.095$ ,  $df=2$ ,  $F=3.301$ ,  $p=0.047$

\* $p<0.05$

**Table 9.** Statistics describing the regression between airborne fiber concentrations and potential activity

Dependent variable	Independent variable	Unstandardized Coefficients		Standardized coefficients beta	t-value	p-value
		B	Standard error			
Fiber concentration in air	Potential activity $\chi_1$	-0.0012	0.0004	-0.4619	-2.8397	0.0069*
	Potential activity $\chi_2$	-0.0011	0.0005	-0.3700	-2.2749	0.0281†

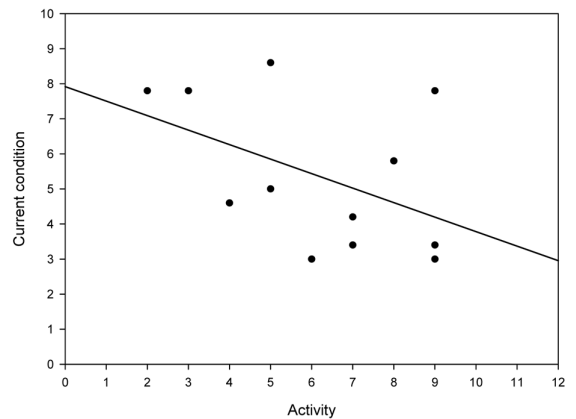
$R^2=0.176$ , adjusted  $R^2=0.137$ ,  $df=2$ ,  $F=4.497$ ,  $p=0.017$

\* $p<0.01$ , † $p<0.05$

도로서 질적변수이기에 더미변수(Dummy variable)로 변환한 후 분석하였다.

종속변수인 공기중 농도를 기준으로 현재 상태의 경우 회귀모형에서  $F=3.301$ ,  $p=0.047$ 로 각 등급별 모두 통계적으로 유의하여 공기중 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며(Table 8), 잠재적 활동성 또한 회귀모형에서  $F=4.497$ ,  $p=0.017$ 로 각 등급별 모두 통계적으로 유의하여 공기중 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 9). 그러나 현재 상태와 잠재적 활동성 모두 수정된  $R^2$ 이 0.095, 0.137로 각각 13%, 17%의 낮은 설명력을 나타내고 있기에 현재 상태와 잠재적 활동성만으로 공기중 농도를 추정하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단된다. 기존의 선행연구가 거의 존재하지 않아 추정하기 어려우나 Kim(1995)이 대형 건축물 20곳을 대상으로 한 연구에서 공기중 석면 농도가 주차대수, 환풍기 가동여부, 온도 등과 관련이 없고 습도만 유의한 관계를 나타낸다고 보고하였다. 앞서 평가된 잠재적 활동성에서도 통계적으로 유의하진 않았으나 낮음(Low)으로 분류된 실의 기하평균이 보통(Medium)의 경우보다 오히려 높았던 이유도 이러한 요인의 영향을 받았다고 추정할 바, 앞으로는 본 연구에서 고려하지 않은 ACMs의 양, 기류, 온도, 습도 등의 기타 요인에 의한 연구가 더욱 필요한 것으로 사료된다.

또한, 정량평가 방법을 통해 평가된 각 점수를 이



**Figure 6.** Relationship between current condition and activity collected quantitative assessment

용하여 잠재적 활동성과 현재 상태와의 상관관계를 분석하기 위하여 각 점수를 이용한 상관분석을 실시하였다. 현재 상태에 대한 분류는 점수가 높을수록 좋은 상태를 나타내며, 잠재적 활동성에 대한 분류는 점수가 높을수록 활동성도 커지는 것을 나타낸다. 따라서 현재 상태와 활동성에 관한 데이터는 서열척도로서 비모수법인 스피어만 상관분석을 실시하였으며, 그 결과 잠재적 활동성이 클수록 손상의 정도가 나빠지는 음의 상관관계 형상을 나타내었으나 통계적으로 유의하지는 않았다( $r=-0.455$ ,  $p>0.05$ )(Figure 6). ACMs의 상태는 직접적인 접촉에 의한 손상이 가



장 크다고 할 수 있다. 하지만 위에서 평가한 잠재적 활동성 그리고 기타 누수, 부식 등의 잠재 요소에 의해서도 상태는 악화될 수 있다고 인지하여야 하며, 손상의 정도에 따라 공기중 섬유 농도는 달라지듯이 최대한 현재의 상태를 유지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 석면함유 건축물의 실내공기 중 섬유 농도를 측정하여 요인별로 공기중 농도에 영향을 주는 요인을 추정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 현재 상태가 좋음(Good)인 경우 기하평균이 0.0019 f/cc로 보통(Fair)이나 나쁨(Poor)에 비해 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). 이는 표면의 손상정도가 공기 중 농도에 영향을 준다고 보고한 연구와 일치한다.

2. 잠재적 활동성이 높음(High)인 경우 보통(Medium)의 경우보다 기하평균이 높게 나타났으나 ( $p < 0.05$ ), 낮음(Low)인 경우는 오히려 보통(Medium)의 경우보다 낮게 나타났다. 이는 근로자수, 사용빈도, 사용시간, 활동형태의 요소 외에도 본 연구에서 고려하지 않은 기류, 온도, 습도 등 기타 요인에 의해 공기 중 섬유 농도가 영향을 받았다고 추정된다.

3. 건축년도 별로는 1990년대 건물의 기하평균이 1960년대 건물의 기하평균보다 오히려 높았으나, 유지·관리 여부별로는 고착화(Encapsulation)가 되어 있는 곳의 기하평균이 그렇지 않은 곳의 기하평균보다 낮게 나타났다( $p < 0.01$ ). 이는 건물의 노후화 등과는 상관없이 유지·관리의 여부가 분진의 비산에 영향을 미친다고 판단된다.

4. 현재 상태와 잠재적 활동성에 따른 공기중 농도의 상관관계는 보통(Fair)과 중간(Medium), 나쁨(Poor)과 높음(High)의 관계에서 상관관계를 나타내었으나 ( $r = 0.502$ ,  $r = 0.465$ ) 통계적으로 유의하지는 않았고, 회귀분석 결과는 모두 통계적으로 유의하였다 ( $p < 0.05$ ). 다만, 낮은 설명력( $R^2 = 0.136$ ,  $R^2 = 0.176$ )으로 인해 현재 상태와 활동성만으로 공기중 농도를 추정하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단된다.

5. 정량평가 방법을 통해 평가된 각 점수를 이용하여 잠재적 활동성과 현재 상태와의 상관관계를 분석

한 결과 활동성이 클수록 손상의 정도가 나빠지는 음의 상관관계 형상을 나타내었으나 통계적으로 유의하지는 않았다( $r = -0.455$ ,  $p > 0.05$ ). 누수, 부식 등 본 연구에서 고려하지 않은 기타 요소도 파악되어야 할 것이다.

본 연구가 석면을 포함한 실내공기 중 섬유 농도에 영향을 주는 요인을 추정하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

#### References

- American Society for Testing and Materials(ASTM). Standard Practice for Comprehensive Building Asbestos Surveys. DOI.10.1520/E2356-10, 2010
- Beaklake MR. Asbestos-related diseases of the lung and other organs: their epidemiology and implications for clinical practice. *Am Rev Respir Dis* 1976;114(1): 187-227
- Chesson J, Hatfield J, Schultz B, Dutrow E, Blake J. Airborne asbestos in public buildings. *Environ Res* 1990;51(1):100-107
- Crump KS, Farrar DB. Statistical analysis of data on airborne asbestos levels collected in an EPA survey of public buildings. *Regul Toxicol Pharmacol* 1989; 10(1):51-62
- Health and Safety Executive(HSE). A comprehensive guide to Managing Asbestos in premises. ISBN 978.0.7176. 2381.5/HSG227, 2002
- International Organization for Standardization(ISO). ISO 10312, Ambient air-determination of asbestos fibers-direct transfer transmission electron microscopy method, ISO, 1995
- Kim HW. Asbestos Content in Friable Sprayed-on Surface Material and Airborne Fiber Concentrations in Commercial Buildings. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1995;5(2):137-146
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). A Study on the Distribution Status of Asbestos Containing Materials and Development of a Model of Asbestos Map in the Business Buildings, KOSHA, 2008-112-1304
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). The prohibition of asbestos-containing materials in manufacturing, importation, transfer, provision or using, MoEL, Public Notice No 2015-18. 2015
- Moon JY, Kim HW. The Factor Analysis of Airborn Fiber Concentrations at Parking Lots in Seoul. *J Korean Soc*

Occup Environ Hyg 1994;4(2):157-167  
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Method 7400. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed, NIOSH, 1994a  
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Method 7402. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed, NIOSH, 1994b

Park DY, Paik NW. Worker Exposure to Asbestos Fibers in Asbestos Slate Manufacturing and Asbestos Textile Industries. J Environ Health Sci 1988;14(2):13-27  
Seixas NS, Robins TG, Moulton LH. The use of geometric and arithmetic mean exposures in occupational epidemiology. Am J Ind Med 1988;14(4):465-477