

## 서울 시내 일부 주차장의 공기중 섬유농도에 영향을 미치는 인자 분석

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과

문 지 영 · 김 현 욱

— Abstract —

### The Factor Analysis of Airborn Fiber Concentrations at Parking Lots in Seoul

Ji Young Moon and Hyunwook Kim

*Department of Occupational Hygiene, Graduate School of Occupational Health,  
Catholic University, Seoul, Korea*

This study was conducted to analyze the relationship between the types of fiber and its content and the levels of airborne fiber concentrations at eight parking lots where sprayed insulation material was found on the walls and ceilings. Also this study was designed to find the relationship between the levels of airborne fiber concentrations and such variables as air current, humidity, total exhaust volume, surface condition of insulation material and building age.

The results obtained were as follows :

1. No significant correlation was found between the levels of airborne fiber concentration and the building age, air current, humidity, total exhaust volume, space and the number of traffics.

2. A significant correlation was found between the levels of airborne fiber concentration and the MMMF content of the insulation material( $r=0.7594$ ). However, no significant correlation was found between the levels of airborne fiber concentration and total fiber content of insulation material.

3. The differences of the airborne fiber concentrations among Category 1, 2 and 3 classified by the degrees of surface insulation material maintenance were very significant.

4. Two bulk samples contained 30% crocidolite and 1% anthophyllite. The MMMFs, in all parking lots, included mineral wool, cellulose fiber, trace cellulose fiber, trace fiber glass and vermiculite.

5. The mean value and the range of airborne fiber concentrations at 8 parking lots were  $0.0239 \pm 0.0095$  f/cc and 0.0054-0.0447 f/cc, respectively. The fiber concentrations of 35 out of 38 samples(92%) were over 0.01 f/cc which is the Environment Administration's recommended asbestos level for the underground space.

This study suggests that most of building insulation materials used in Korea, contain MMMF and sometimes asbestos. Currently, MMMF pollution levels may exceed the Environment Administration's recommended level for underground space. It has been found that airborne fiber concentrations increased significantly with MMMF content and with the maintenance condition of surface material. Therefore, it is recommended that a proper management technique should be developed and immediately implemented since the conditions of surface material will be gradually deteriorated due to building age and usage. Since health hazards of the MMMF, similar to those of asbestos, are being gradually acknowledged, a proper management technique which is applicable to control total airborne fiber concentrations, both asbestos and MMMF, be developed and an acceptable indoor air standard be promulgated as early as possible.

**Key Words** : Airborne fiber concentration, Parking lot, Asbestos, MMMF, PCM

## 서 론

현재 전 세계적으로 사용되고 있는 여러 섬유들 가운데 가장 오래된 것은 석면이라고 알려져 있다. 석면이 우리 생활에 언제부터 사용되어 왔는지는 정확히 알 수 없으나 기원전 3000년부터 사용되었을 것이라는 연구결과에서 처럼 우리 인류가 석면을 사용한 것은 대단히 오래되었음을 짐작할 수 있다 (Lee 등, 1979).

석면은 자연계에서 산출되는 섬유상 광물질의 총칭으로, 물리 화학적 특성인 고강도, 고탄성률, 내열, 불연성, 단열성, 내약품성, 내알칼리성, 고절연성, 방음성, 내마찰성 등이 우수하여 절연체, 보강재, 충전재, 수지의 유동 흐름을 제어하는 조절재, 분산재, 비연마제 등의 용도로 건축자재, 마찰재, 방직품, 도료 등의 공업재료로 광범위하게 이용되고 있다(Dunnigan과 Seymoar, 1990).

이와 같은 석면의 여러 가지 특성 때문에, 석면제품은 우리 일상생활에 대단히 유용한 물질로 사용되고 있으나 석면제품의 표면이 손상되면 섬유질(fibers)이 공기중으로 방출되고, 공기중에 부유한 석면 분진은 호흡기를 통해 진폐증의 일종인 석면폐증(asbestosis)뿐만 아니라 폐암, 악성중피종(mesothelioma)등을 일으키는 것으로 알려져 있다. (Wagner 등, 1960 ; Selikoff와 Hammond, 1968 ; Becklake, 1976). 이 때문에 석면은 산업안전보건법에 특별한 관리가 요구되는 특정 화학물질의 하나로 규정되어 있다(노동부, 1991).

석면으로 인한 질병은 비단 석면을 취급하는 근로자 뿐만이 아니라 석면 공장 주변의 주민에게도 피해를 줄 위험성이 있으며, 심지어는 일반 대기 중에서도 저농도의 석면에 장기간 폭로되면, 중피종과 그 밖의 암을 일으킬 수 있다는 보고도 있다(Enterline, 1983). 더욱이 건물의 신축이나 개축시 현장에서 사용되는 건축용 석면 제품의 다양한 시공과정에서 상당량의 석면 섬유질이 발생되고 있으나 아직까지 규제는 가해지지 않고 있다. 또한 공공시설물인 지하철역, 극장, 도서관, 관공서, 학교, 교회, 병원 등 사람이 많이 모이는 실내에서도 방음, 방화, 내열재로 사용된 석면제품 등이 시간이 지남에 따라 노후되어, 공기저항 등으로 쉽게 마모되고 부서져 미세한 섬유로 공기중에 잔류함으로 인체의 폐속으로 흡입되어 질병을 일으키고 있다(유성환, 1992).

과거에 석면은 주로 북미, 구라파, 호주, 일본, 그리고 우리나라의 신축건물에서 화재시에 철강구조가 휘는 것을 방지하기 위하여 사용되었다. 또 건물의 콘크리트 외벽이나 천장에 화재방지(fireproofing), 흡음, 장식적인 마감재로 분무식 석면 절연체가 사용되었다. 이 분무식 절연 생산품은 사용 도중 건조해서 쉽게 부서지고 그 물질은 작업자와 인근에 있는 사람들에게 해를 주는 석면 먼지를 방출하기 때문에 1970년대 초부터 대부분의 나라에서는 분무식 석면 절연체의 사용이 금지되어 왔다. 미국은 1973년부터 건축자재로 석면을 사용하지 못하도록 금지하였으며 설치되어 있는 분무식 석면제품을 철거하도록 하였다. 하지만 건물내에 사용된 석면제품

을 영선, 개수, 철거 나아가서는 보판작업이 그 작업을 하는 사람들과 때로는 건물내에 있는 사람들에게 심각한 석면폭로를 초래할 수 있다(한국석면공업협회, 1989).

현재 미국내 빌딩의 수리에 있어 환기시설 수리공이 0.19f/cc, 목공과 전공이 0.13f/cc, 도장공이 0.08f/cc의 석면에 노출되고, 석면제거에 있어서는 습식에서 0.5 f/cc, 건식에서 16.4 f/cc의 석면이 발생되고 있다. 또한 미국 건물내 석면농도는 빌딩이 0.00004-0.00243 f/cc, 학교 건물이 0.00051 f/cc, 주거용 건물이 0.000 f/cc, 공공상업 건물이 0.00020 f/cc로 측정이 되어 미국 환경보호청(EPA)에서는 실내기준을 0.01 f/cc로 설정하여 관리하고 있다(노동과 건강 연구회, 1993).

한편 석면에 대한 규제가 강화되면서 석면대체물질로 MMMF(man made mineral fiber)에 대한 개발과 상품이 증가되고 이에 대한 연구도 증가하였다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 석면대체물질로서 유리섬유(glass fiber), 암면(rock wool), 세라믹 섬유(ceramic fiber), 철섬유(steel fiber), polypropylene fiber 및 탄소섬유(carbon fiber) 등이 있다(오세민, 1992). 암면은 현무암, 안산암 등의 암석을 용융하여 섬유화하였고, 유리섬유는 규사, 장석 등을 용융화한 섬유로, 모두 굵기가 4-28  $\mu\text{m}$ , 섬유길이가 100 $\mu\text{m}$  이상되어 굵기가 0.1-1 $\mu\text{m}$ 인 석면과는 크기로서 쉽게 구분되어 진다. 이들은 건물의 빈 공간의 틈새(loose-fill)에 보온재로 사용되기 위해 phenol formaldehyde 수지(또는 무기질 binder)와 결합되어 건물내부에 살포된다(유성환, 1992). 하지만 이들 인공 무기질 섬유를 사용한 건축자재에서도 석면과 유사한 형태의 섬유가 발생됨으로 인체에 흡입될 때 건강장애를 일으킬 수 있게 됨으로 이들 제품에서 발생하는 섬유의 농도와 특성도 조사할 필요성이 증대되고 있다.

환경 대기중에 있는 석면 섬유의 수준은 0.0004-0.0005 f/cc이고, 석면 절연체 또는 기타 제품이 들어 있는 전형적인 건물에 있어서는 상주자가 0.001 f/cc이하에 폭로된다. 이들 섬유의 대부분은 길이가 5 $\mu\text{m}$ 이하 정도이고 사람에게 위험하다고 간주되는 범위에 들지는 않는다(한국석면공업협회, 1989). 그러나 대형-고층 빌딩일수록 석면을 포함한 물질을 화재방지용으로 사용하는 경우가 많고 건물의 연한

이나 보수작업에 의해 석면은 공기 중에 대량으로 부유되어 환기시설을 통해 건물 전체로 확산될 수 있기 때문에, 현재 환경처에서는 석면에 대한 지하공간 환경기준 권고치를 0.01 f/cc로 제시하여 관리하고 있기는 하지만(작업환경측정기술협의회, 1994), 더불어 독성학적인 면에서 볼 때 섬유대 섬유로서는 MMMF가 chrysotile보다 더 유해할 수 있다는 연구 발표를 통해(Leddell과 Miller, 1991) 공기중의 석면을 포함한 그 외의 섬유도 관리할 수 있는 실내기준치를 설정하여 대형빌딩이나 공공시설을 이용하는 사람들을 보호해야 할 필요가 있다고 보겠다.

최근 석면의 유해성에 대해 관심이 고조되고 있는 가운데 현재까지 보고된 연구는 작업환경 또는 특수 환경에서의 폭로에 관한 것이 대부분을 차지하는 데에 비해 일반 환경 대기중의 석면 분포 실내에 관한 연구는 매우 적은 편이어서 일반 대중이 어느 정도의 석면에 폭로 되는지는 잘 알 수 없는 실정이다(김종규와 유영식, 1989). 이에 본 조사에서는 흡음과 화재방지를 목적으로 천장에 분무식 절연물질이 시공되어 있고 또한 일반인의 출입이 많은 서울 일부 주차장을 선정하여 절연 물질에 포함되어 있는 물질의 종류를 동정하고 석면 함유율을 분석하여 공기중 섬유농도와와의 관련성을 알아보고, 또한 주차장 운행 차량수, 총 배기량, 면적, 기후조건(기류, 습도), 건물의 연한, 절연물질의 표면관리 상태에 따른 공기중 섬유농도와와의 관련성도 규명하여 서울 시내의 각 주차장 특성별로 일반 대기중의 섬유농도를 파악함으로써, 발생원의 추정 및 규제 기초자료로 활용됨을 목적으로 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

흡음과 화재방지를 목적으로 천장에 분무식 절연 물질이 시공되어 있는 서울 시내 주차장중 지하 7곳, 옥외 1곳을 조사 대상으로 하여 1994년 2월 19일부터 4월 30일까지 지역별 공기시료와 물질시료를 채취하였다.

### 2. 측정 방법

1) 물질시료 : 각 주차장 별로 천장에 시공된 절연

물질에 분무기로 물을 분사하여 섬유가 날리지 않도록 한 후에 물질 5-10g 정도를 편셋으로 채취하여 준비된 용기에 오염이 되지 않도록 넣고 봉하였다.

시료의 분석은 미국 Illinois주의 National Loss Control Service Corporation(NATLSCO)에 의뢰하여 미국 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 'Method 9002' (1989 a)과 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)의 'Test method 600' (1982) 분석 방법에 의해 평광현미경을 이용하여 실시하였다.

2) 지역별 공기시료 : 주차장 내 공기중 섬유농도를 측정하기 위하여 각 주차장의 면적에 따라서 random number diagram을 이용하여 시료채취 펌프의 위치를 선정하였다. 시료의 채취는 filter의 면적을 고려하여 유량을 1-2 l/min으로 보정(SKC digital calibrator, USA) 한 개인용 공기채취 펌프(SKC model 224, USA)에 직경 25mm, pore size 0.8 $\mu$ m의 mixed cellulose ester membrane filter(Milipore type AA, USA)와 길이 50mm의 cowl(nuclepore, USA)을 open face로 연결하여 지상에서 1-1.5m의 위치에서 7-8시간 동안 실시하였다.

시료의 분석은 NIOSH와 OSHA(Occupational Safety and Health Administration, 노동성 산업안전보건청)에서 추천하는 공정시험법인 'NIOSH 7400' 방법에 의해 위상차현미경(Nikon type 104, Japan)을 이용하여 실시하였다(NIOSH, 1989 b ; OSHA, 1991).

시료는 acetone/triacetin 방법으로 투명화시켜 제조한 다음 Walton-Beckett graticule이 삽입된 위상차현미경(Nikon type 104, Japan)을 이용하여 400배의 배율에서 'A rule'에 따라 길이 5 $\mu$ m 이상, 길이 대 너비의 비(aspect ratio)가 3 : 1이상인 섬유만을 계측하였다.

3) 공기중 섬유농도의 계산 : 현미경으로 계측한 섬유수와 공기 채취량으로 공기중 섬유농도를 다음식을 적용하여 구하였다.

$$AC = \frac{(F)(A)}{(1000)(N)(FR)(MFA)}$$

AC= 공기중 섬유농도(airborne fiber concen-

tration, fibers length>5 $\mu$ m), fiber/cc

F = 계측한 5 $\mu$ m이상의 섬유수

A = filter의 유효면적

N = 계측한 시야수

FR= 펌프의 유속(l/min)

MFA=현미경으로 계측한 1 시야의 면적(Walton-Beckett graticule의 경우 0.0086mm<sup>2</sup>)

T = 시료포집 시간(min)

4) 공기중 섬유농도의 분포 : 작업 환경중의 분진 등 입자상 물질의 측정치는 정규분포보다 대수 정규분포(lognormal distribution)를 하고 있으며, 공기중의 섬유의 분포도 대수 정규분포를 한다고 보고되고 있다. 따라서 본 조사에서도 섬유의 측정치는 평균, 표준편차와 기하평균(geometric mean), 기하표준편차(geometric standard deviation)로 같이 계산하였다.

5) 기후조건(기류와 습도)의 측정 : 공기시료의 측정때마다 펌프 주위, 약 1m 정도 떨어진 위치에서 환기장치가 작동되고 있을 때와 작동되지 않을 때로 나누어 각각의 기류와 습도를 측정(SKC ALNOR model 360, USA)하여 평균치를 구하였다.

### 3. 통계방법

기중 섬유농도에 영향을 미칠 수 있는 건물의 연한, 총 환기량, 평균 운행 차량수, 기후조건(습도, 기류), 물질시료의 섬유 함유율 등을 변수로 하여 수집된 자료는 SAS 통계 프로그램으로 각 변수의 평균과 표준편차를 구하였으며, 각 변수 사이의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 또 절연물질의 관리상태에 따라 3개의 범주로 나누어 ANOVA test를 실시하였다.

## 성 적

본 연구의 대상 주차장 8곳에 대한 조건은 표1과 같으며 건물 A-G는 지하주차장, H는 천정이 있는 옥외 주차장이다.

대상 건물의 노후정도를 시공된 연도별로 보면, 70년대에 지어진 곳이 1곳, 80년대에 지어진 곳이 5곳, 90년대에 지어진 곳이 2곳이었다. B가 1976년 10월에 지어져 가장 오래된 건물의 주차장이었으

며, 다음으로 D가 1980년 8월, H가 1981년 11월, E와 F가 1985년 5월, G가 1987년 12월, C가 1991년 10월의 순서로 지어졌으며 A가 1993년 11월로 가장 최근에 만들어진 건물의 주차장이었다.

표2는 대상 주차장의 물질시료를 편광현미경으로 분석한 것으로 석면 이외의 섬유는 MMMF로 분류하였다.

대상 주차장 8곳 중 2곳이 석면과 MMMF를 함께 함유하고 있었으며 나머지 6곳에서는 MMMF만이 관찰되었다. 석면 함유 물질(Asbestos Containing Material, ACM)이 주차장 천장에 시공된 곳은 B와 F로써 B의 물질시료에는 crocidolite가 30%, F의 물질시료에는 anthophyllite가 1% 포함되어 있었다. 이와는 달리 MMMF는 대상 주차장 8곳의 물질시료에 모두 포함되어 있었으며 조사된 MMMF의 종류를 살펴보면 mineral wool만이 사용된 것이 5곳, mineral wool과 trace cellulose fiber가 함께 사용된 곳이 1곳, cellulose fiber와 trace fiber glass가 함께 사용된 곳이 1곳이었고 나머지 1곳은 cellulose fiber와 특이하게도 자연섬

유의 한 종류인 vermiculite가 함께 사용되었다.

대상 주차장의 공기중 섬유 농도는 표3과 같다.

가장 높은 공기중 섬유농도를 나타낸 곳은 D로써 0.0369 f/cc가 조사되었고 다음이 H의 0.0321 f/cc, C의 0.0309 f/cc, G의 0.0275 f/cc, E의 0.0234 f/cc, F의 0.0201 f/cc, A의 0.0140 f/cc, 그리고 B의 0.0064 f/cc순위였다. 대상 주차장 8곳의 공기중 평균 섬유농도는  $0.0239 \pm 0.0095$  f/cc, 범위는 0.0054-0.0447 f/cc로 나타났다. 이는 전체적으로 우리나라의 석면 사업장에 대한 석면의 허용농도인 chrysotile 2 f/cc, amosite 0.5 f/cc, 그리고 crocidolite 0.2 f/cc 보다는 낮지만 환경처의 지하공간 환경농도 권고치와 미국 EPA의 석면 실내 기준인 0.01 f/cc보다는 높았고 0.01 f/cc를 초과하는 대상 주차장은 신축된지 가장 오래된 B를 제외한 A, C, D, E, F, G 및 H로 총 8곳 중 7곳(88%)이었다. 또한 각 주차장의 섬유농도의 GSD는 각각 1.2051 f/ee, 1.1876 f/ee, 1.3379 f/ee, 1.0337 f/ee, 1.1136 f/ee, 1.1319 f/ee, 1.0759 f/ee, 1.0268 f/ee로 2를 초과하지는 않았다.

Table 1. Characteristics of 8 parking lots

Parking lot	Age (months)	Space (m <sup>2</sup> )	Traffic (cars/day)	Exhaust volume (m <sup>3</sup> /h)	Air current (m/s)	Humidity (%)
A	5	1310.8	50	1440000	0.15	35.3
B	210	4201.7	800	650000	0.47	38.2
C	30	3801.7	700	699300	0.25	30.5
D	164	4530.3	800	2021040	0.55	37.3
E	107	22988.5	2000	2970000	0.32	28.5
F	107	7957.5	2500	3240000	0.22	47.4
G	76	34757.2	2000	3600000	0.35	34.9
H	149	137.7	40	N/A	0.3	57.9
Mean	106	9960.7	1111	1827543	0.34	38.8

N/A : not ok

Table 2. Type and content of fibers in bulk samples

Parking lot	Type of asbestos identified	asbestos content(%)	Type of MMMF identified	MMMF content(%)
A	-	-	mineral wool and trace cellulose fibers	30
B	crocidolite	30	mineral wool	20
C	-	-	mineral wool	30
D	-	-	mineral wool	80
E	-	-	cellulose fibers and trace fiberglass	30
F	anthophyllite	1	cellulose fibers and	30
G	-	-	mineral wool	70
H	-	-	mineral wool	80

MMMF : man made mineral fiber

**Table 3.** Distribution of airborne fiber concentration of 8 parking lots

Parking lot	No. of samples	Airbone fiber concentration(f/cc)			
		Mean±SD	GM(f/cc)	GSD	Range
A	4	0.0140±0.0019	0.0139	1.2051	0.0120-0.0172
B	3	0.0064±0.0009	0.0063	1.1876	0.0054-0.0076
C	6	0.0309±0.0945	0.0298	1.3379	0.0211-0.0447
D	4	0.0369±0.0010	0.0369	1.0377	0.0356-0.1386
E	8	0.0234±0.0023	0.0233	1.1136	0.0195-0.0263
F	4	0.0201±0.0022	0.0200	1.1319	0.0174-0.0235
G	4	0.0275±0.0017	0.0275	1.0759	0.0261-0.0293
H	5	0.0321±0.0008	0.0321	1.0268	0.0054-0.0331
Total	38	0.0239±0.0095	0.0208	1.7802	0.0054-0.0447

**Table 4.** Distribution of airborne fiber concentrations by surface condition of insulation materials

Category	ACM		MMMFM	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
1	0.0275±0.0017	0.0174-0.0235	0.0333±0.0067	0.0211-0.0447
2	-	-	0.0269±0.0041	0.0195-0.0293
3	0.0064±0.0009	0.0054-0.0076	0.0140±0.0019	0.0120-0.0172
Total	0.0170±0.0106	0.0054-0.0235	0.0247±0.0080	0.0120-0.0447

Category 1 : significantly damaged surface material

Category 2 : damaged friable surface material

Category 3 : potential damage

ACM : asbestos containing material

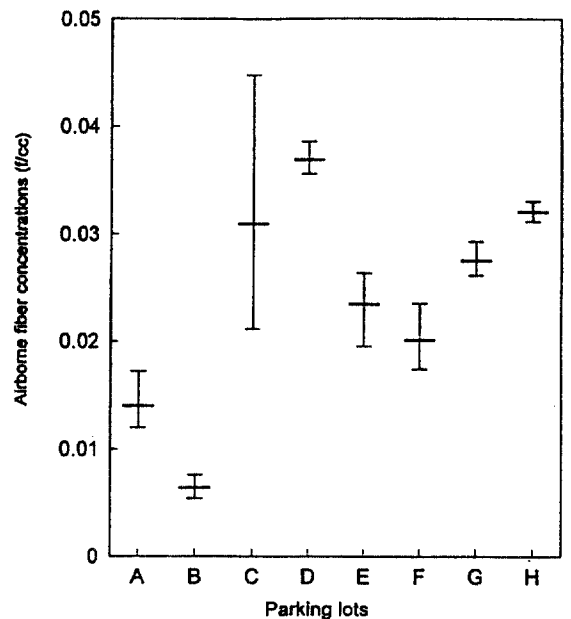
MMMFM : man made mineral fiber

그림 1은 공기중 섬유농도의 범위와 평균을 보여 준다.

표2와 표3의 자료를 토대로 각 건물 주차장들의 물질시료내 포함된 물질의 종류와 관리상태에 따라 공기중 섬유 농도를 분류하면 표 4와 같다.

Category 1은 절연물질의 손상된 부분이 전체 표면적의 25%이상으로 그 범위가 광범위하고 손상정도가 매우 심각한 상태로 주차장 C,D,H,F가 여기에 속한다. Category 2는 절연물질이 상호간 결합력이 약해서 진동 등의 가벼운 물리적 자극에도 쉽게 부스러지는 상태이지만 손상범위가 25%이하인 곳으로 주차장 B,E,G가 여기에 속한다. Category 3은 주차장을 통행하는 차량이나 기류 등을 통해서 잠재적으로 절연물질의 표면이 손상당할 가능성이 있는 곳으로 주차장 A가 여기에 속한다.

Category 1의 ACM과 MMMFM가 시공되어 있는 곳의 공기중 섬유농도는 각각  $0.0275 \pm 0.0017$  f/cc,  $0.0333 \pm 0.0067$  f/cc로 매우 유의한 차가 있었다( $p < 0.001$ ). Category 2에서 ACM이 시공되어

**Fig. 1.** Distribution of airborne fiber concentrations in 8 parking lots

**Table 5.** Correlation coefficients for seven parameters

	Fiber Conc.	Space	Bldg. age	Traffics	Air Cur.	Humidity	Exhaust
Fiber Conc.	-						
Space	0.0946	-					
Bldg. age	0.0737	-0.1237	-				
Traffics	0.0425	0.8972**	0.0447	-			
Air Cur.	0.2669	0.0198	0.8413**	0.0845	-		
Humidity	0.1216	-0.4148	0.3849	-0.4636	0.1007	-	
Exhaust	0.0475	0.7776*	-0.1793	0.8362**	-0.1447	-0.3361	-

\* P<0.05

\*\* P<0.01

Fiber conc. : airborne fiber concentration

Bldg. age : building age

Air cur. : air current

**Table 6.** Correlation coefficient for three parameters

	Airbone fiber conc.	MMMf cont.	Total fiber cont.
Airbone fiber conc.	-		
MMMf cont.	0.7594*	-	
Total fiber cont.	0.5165	-0.0134	-

\*p<0.05

MMMf cont. : MMMF content in bulk

Total fiber cont. : total fiber content in bulk

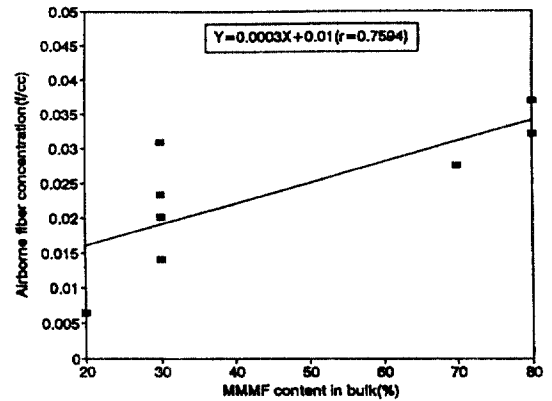
있는 곳은 본 조사 대상 중 해당되는 곳이 없었으며 MMMF가 시공되어 있는 곳의 공기중 섬유 농도는  $0.0269 \pm 0.0041$  f/cc이었다. Category 3의 ACM이 시공되어 있는 곳의 공기중 섬유 농도는  $0.0064 \pm 0.0009$  f/cc이고 MMMF가 시공되어 있는 곳은  $0.0269 \pm 0.0041$  f/cc로 매우 유의한 차가 있었다 ( $p < 0.01$ ). 또한 ACM이 시공되어 있는 Category 1과 3 사이에 매우 유의한 차가 있었으며 ( $p < 0.001$ ), MMMF가 시공되어 있는 Category 1, 2, 3 사이에도 매우 유의한 차가 있었다 ( $p < 0.001$ ).

표5는 각 건물 주차장의 6가지 지수와 공기중 섬유 농도와의 상관관계를 보여준다. 공기중 섬유농도와는 관계없이 각 주차장의 면적과 통행차량수와의 사이에는 매우 유의한 상관관계가 있었으며 ( $p < 0.001$ ), 기류는 주차장의 연한과 매우 유의한 상관관계를 보였고 ( $p < 0.01$ ), 배기량은 면적과 유의한 상관관계를 ( $p < 0.05$ ), 통행차량수와는 매우 유의한 상관관계를 나타내는 것으로 조사되었다 ( $p < 0.01$ ).

표6은 공기중 섬유농도와 물질시료내에 포함된 섬유량과의 상관관계를 나타낸 것으로 물질시료내의 석면 함유량은 시료수가 너무 적어 ( $n=2$ ) 분석에서

제외시켰다. 공기중 섬유농도는 물질시료의 MMMF 함유량과 서로 유의한 상관관계가 있었으나 ( $P < 0.05$ ) 물질시료의 총 섬유 함유량과의 상관관계는 유의하지 않았다.

그림 2는 물질시료의 MMMF 함유량과 공기중 섬유농도 사이의 상관관계 ( $r=0.7594$ )를 보여준다.



**Fig. 2.** Relationship between MMMF content in bulk and airborne fiber concentration.

## 고 찰

서울 시내 일부 주차장 중 내부 흡음과 화재방지를 목적으로 분무식 절연물질이 시공된 8곳을 대상으로 실시한 본 조사에서는 절연물질에서 채취한 물질시료가 석면을 함유하고 있는 곳이 B와 F 2곳으로 측정되었다. 건물 B의 주차장은 1976년에 시공된 건물로 본 조사대상중 가장 오래된 건물이며 물질시료에 crocidolite 30%가 포함되어 있고, 건물

F의 주차장은 1985년에 시공된 건물로 anthophyllite 1%가 포함되어 있었다. 이는 내화 및 단열재로 쓰이는 분무식 절연물질(sprayed insulation, 또는 뽀질재료라고도 함)의 석면비율이 50-80%라고 추정한 유성환(1992)의 조사보다는 더 낮은 값을 보였다.

한편 물질시료내 30%의 crocidolite를 함유한 B 건물의 지하 주차장의 공기중 섬유 농도가 0.0064 f/cc, 1%의 anthophyllite를 함유한 F건물 지하 주차장의 공기중 섬유농도가 0.0201 f/cc로 조사되어, 50-80%의 석면 함유율을 지닌 물질이 사용된 지하 주차장에서 일상활동에 의해 발생하는 공기중 섬유농도가 0.003 f/cc로 측정된 유성환(1992)의 조사보다는 더 높은 값이었다. 30%의 석면을 포함하고 있는 B와 1%의 석면을 포함하고 있는 F의 공기중 섬유농도는 석면의 함량과 서로 역상관( $r = -0.7072$ )을 나타내고 있으나 이는 통계 처리하기에 그 자료의 수가 너무 적어( $n=2$ ) 서로의 상관울 논할 수는 없으므로 더 많은 자료수집과 조사를 통하여 물질시료의 석면 함유율과 공기중 섬유농도와의 연관성을 규명해야 할 필요성이 있을 것으로 생각된다. B주차장의 물질시료에 포함되어 있는 crocidolite

는 amosite와 더불어 건강장해 위험이 다른 석면에 비해 더 큰것으로 알려져 전 세계적으로 그 사용을 엄격하게 규제하고 있으며 국내에서는 1987년 11월부터 그 수입을 금지하였기 때문에 B건물의 결과치를 통해서 수입금지 조치 전 우리나라에서는 석면의 유해성에 관계없이 crocidolite가 무분별하게 사용되었음을 추측할 수 있고 현재 신축된지 15년 이상이 되는 노후된 석면 함유 건물들을 보수나 철거할 때는 특별한 조치가 필요할 것으로 생각된다.

본 조사에서 물질시료의 분석에 사용된 편광현미경법(Polarized Light Microscope Method, PLM method)은 바닥타일과 건물 단열재와 같은 석면제품에 대한 가장 손쉬운 분석방법으로, 석면의 굴절계수와 동일한 굴절용액(refractive liquid)을 사용할 때 편광에 의해서 나타나는 색깔의 변화현상 등을 이용한 구별방법이다. 그러나 PLM은 석면의 감별만을 위한 방법으로 해상도가 낮아서 직경이  $1\mu\text{m}$ 이하되는 섬유에 대한 섬유에 대한 분석이 불가능한 단점을 가지고 있어 공기중의 석면농도 분석에는 사용되지 않고 있다(NIOSH, 1989 a). 한편 지역별 공기시료의 분석에 사용된 위상차현미경법(Phase Contrast Microscope Method, PCM method)은 filter에 포집된 섬유를 계수하여 농도만을 산출하는 방법으로 filter의 투명화, 공기 흡입량, 종횡비의 적용에서 크게 AIA(Asbestos International Association)/ILO방법과 P & CAM 239 방법에 대한 차이점에 대해 백남원(1987)은 상세히 비교한 바 있다. PCM은 PLM과는 달리 섬유의 종류를 식별할 수 없는 단점을 가지고 있으며 직경이  $0.5\mu\text{m}$  이하인 섬유는 관찰할 수 없다.

**Table 7.** Comparison with maximal asbestos fiber concentrations reported in various public building and this study

Reference	Year	Concentrations(f/cc)
Pinchin	1982	0.202
Burdett ad jaffrey	1986	0.013
Chatfield	1988	0.003
Chesson <i>et al.</i>	1990	0.033
Ganor <i>et al.</i>	1992	4.0
This study	1994	0.0447

**Table 8.** Comparison of airborne fiber concentration by surface condition of insulation material

	Type of spray application	No. of samples	Type of asbestos identified	Airborne fiber conc.(f/cc) Mean(range)
Burdett and Jaffrey (1986)	damaged friable	13	amosite, chrysotile	0.0142(0.004-0.075)
	friable	3	chrysotile	0.0041(0.004-0.005)
	sealed friable	6	chrysotile	<0.0010(all<0.002)
		8	amosite, chrysotile	0.0066(<0.002-0.001)
		6	not detected	0.0085(0.002-0.0025)
This	Category 1	4	anthophyllite	0.0201(0.0174-0.0235)
		15	not detected	0.0330(0.211-0.0447)
	Category 2	12	not detected	0.0255(0.0195-0.0293)
	Category 3	3	corcidolite	0.0064(0.0054-0.0076)
		4	not detected	0.0140(0.0120-0.0172)



Ganor 등(1992)의 조사에서는 ACM이 사용된 Israel Kibbutz의 일반 건물에서 천장 표면의 손상에 의해 공기 중에서 높은 수준의 석면이 발생되었다고 보고되었으며 이때 측정된 공기중 석면의 농도는 4.0 f/cc로 이전에 발표되었던 다른 보고들보다 20배나 더 높은 값이었다. 이는 ACM이 시공되어 있는 천정의 표면에 끊임없이 외부의 물리적인 자극이 가해지고 있었기 때문에 이렇게 큰 농도 차이가 발생되었다고 추측된다. 본 조사에서 주차장 내 공기중 섬유농도는 전체 평균이  $0.0239 \pm 0.0095$  f/cc, 범위는 0.0054-0.0447 f/cc로 Ganor 등(1992)의 연구보다 낮은 값으로, 본 조사대상 주차장의 천장 표면에 현재 기류를 제외하고는 외부의 물리적인 자극이 가해지지 않고 있지만 몇몇 건물에서는 표면관리 상태가 좋지 않았고 또 진동 등 외부적인 자극이 생길 수 있으므로 앞으로 공기중 섬유농도는 더욱 높아질 가능성이 있을 것으로 예상된다.

Burdett와 Jaffery(1986)의 학교, 실험실, 가정, 사무실 등 43곳의 장소에서 235개의 시료를 분석한 연구에 의하면 공기중 평균 섬유농도가 0.01 f/cc 이하로 측정된 것이 43곳중 8곳이고 나머지는 모두 0.01 f/cc를 초과하지 않았으며, 전체 235개의 시료 중 31개(13%)만이 0.01 f/cc를 초과하는 것으로 조사되었으나 본 조사에서는 8곳 장소중 공기중 평균 섬유농도가 0.01 f/cc 이하인 곳이 1곳, 0.01-0.02 f/cc인 곳이 1곳, 0.02-0.03 f/cc인 곳이 3곳, 0.03 f/cc이상인 곳이 3곳으로 총 38개 중 35개(92%)의 시료가 0.01 f/cc를 초과하였고 단지 3개(8%)의 시료만이 0.01 f/cc를 초과하지 않아서 전체적으로 본 조사에서 훨씬 더 높은 섬유 농도를 보였다.

표7은 여러 연구자들에 의해 발표된 공기중 석면 섬유농도의 최고 농도를 본 조사의 측정치와 비교한 것이다(Ganor 등, 1992). 이것으로 본 조사의 대상인 주차장이 Pinchin과 Ganor 등의 연구를 제외한 다른 여러 연구들의 대상인 일반 건물들 보다 공기중으로 더 많은 량의 섬유가 발생된다고 볼 수 있다.

절연물질의 표면 관리 상태에 따른 공기중 섬유농도를 Burdett와 Jaffery(1986)의 보고와 비교하면 표8과 같고, 이것은 절연물질의 표면 손상 정도가 클수록 공기중 섬유농도가 높게 나타난 본 조사의 결과와 일치하는 것이다. 그러므로 시공된 표면이 손상받지 않도록 관리를 철저히 하여 손상된 부분이

있는 곳은 즉시 보수하는 등의 관리기법 등이 필요할 것으로 생각된다.

절연물질 표면의 관리상태에 따라 분류한 범주들 사이에서 ACM이 시공된 곳보다 MMMF로 시공된 곳의 공기중 섬유농도가 더 높게 측정되었다. 이는 절연물질내의 MMMF 함량이 훨씬 많은 점도 고려할 수 있겠지만, ACM이 사용된 건물의 공기중 섬유농도가  $0.0142 \pm 0.0070$  f/cc로, ACM이 사용되지 않은 건물의 섬유농도가  $0.0257 \pm 0.0073$  f/cc로 측정된 Mossman 등(1990)의 연구결과와 비교하여 절연물질내의 석면은 MMMF보다 공기중으로 덜 발생하는 것으로 추측된다. 이와 같이 석면을 포함하고 있는 절연물질에서 MMMF를 포함하고 있는 절연물질보다 더 낮은 농도의 섬유가 발생하는 것은 사용된 결합재가 다를 수 있고, 또 석면이 MMMF보다 더 강하게 결합재(binding material)와 결합하는 것이 원인일 것으로 사료되는 바, 석면과 MMMF 각각의 결합재에 대한 결합 특성에 관한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

최근 석면과 MMMF에 대한 연구가 활발히 전개되고 있고 또 발표된 바에 따르면 대부분 섬유상 입자들이 암을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있으며(IARC, 1988; WHO, 1988) 암을 유발하는 섬유상 입자는 석면 종류에만 국한되는 것이 아니라 자연에서 생성되는 erionite, attapulgite 같은 광물성 섬유와 slag, rock, glass, ceramic등에서 유래되는 MMMF도 모두 포함이 되므로 공기중의 석면을 비롯한 모든 섬유상 입자의 관리도 대단히 중요할 것으로 보인다(Liddell과 Miller, 1991). 공기중으로 발생하는 섬유를 억제시키기 위한 Brown과 Angelopoulos(1991)의 연구에서는 봉합재(capsulant)가 기류나 접촉 등에 의한 자극으로부터 섬유의 발생을 억제시킬 수 있다고 발표한 바 공기중 섬유농도를 줄이기 위해서는 외국에서 시행되고 있는 봉합(encapsulation)처리를 하거나 결합력을 향상시킬 수 있는 결합재의 개발 및 사용이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

## 맺 음 말

본 조사에서는 분무식 절연물질이 시공되어 있는 서울 시내 일부 8곳 주차장에 대하여 절연물질에 포

함되어 있는 섬유유 종류와 그 물질의 함량을 분석하여 공기중 섬유농도와와의 관계, 그리고 주차장 운행 차량수, 총 배기량, 기류 및 습도, 절연물질의 표면관리 상태, 건물의 노후 정도 등 각 주차장의 특성에 따른 공기중 섬유농도와와의 관계를 연구하였다.

결과는 다음과 같았다.

1. 공기중 섬유농도는 건물의 연한, 기류와 습도, 총 배기량, 면적 및 통행 차량수와 유의한 상관이 없었다.

2. 공기중 섬유농도는 절연물질내 포함된 MMMF의 양과 유의한 상관이 있었으나 ( $r=0.07594$ ) 절연물질에 포함된 총 섬유유 양과는 유의한 상관이 없었다.

3. 절연물질의 표면 관리 상태에 따라 분류한 Category 1, 2, 3의 공기중 섬유농도 사이에는 매우 유의한 차이가 있었다.

4. 주차장 8곳중 B와 F의 2곳에서 crocidolite 30%, anthophyllite 1%가 확인되었고, 각 주차장에서 확인된 MMMF는 mineral wool, trace cellulose fiber, trace fiber glass, cellulose fiber 그리고 vermiculite이었다.

5. 8곳의 공기중 섬유농도는  $0.0239 \pm 0.0095$  f/cc, 범위는 0.0054-0.0447 f/cc로 총시료 38개중 35개(92%)가 석면의 지하공간 환경의 기중 권고치인 0.01 f/cc를 초과하였다.

본 조사의 결과로 보아 절연물질이 사용된 우리나라 건물중에는 석면을 함유하고 있는 건물이 아직도 있고 많은 수의 건물도 MMMF를 포함하고 있으며 현재 오염도는 지하공간 환경기중 권고치를 상당수준 초과하였다. 또한 절연물질의 MMMF 함유량과 건물의 표면관리 상태에 따라 공기중 섬유농도가 유의하게 높아지며, 점차로 건물 연한이 증가할수록, 사용도가 높을수록 표면 관리상태가 악화될 것으로 본다면 이에 대한 관리대책 마련이 시급하다고 생각된다. MMMF도 석면과 같이 그 유해성이 점차 밝혀지고 있는 바 우리나라에서도 석면 뿐만이 아닌 실내의 공기중 총 섬유농도를 관리할 수 있는 관리기법의 도입 및 실내 기준치를 설정해야 할 것이다.

#### 참고문헌

Becklake MR : *Asbestos related disease of the lungs*

*and other organs : Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis* 1976 ; 114 : 187-227

Brown SK, Angelopoulos M : *Evaluation of erosion release and suppression of asbestos fibers from asbestos building products. Am Ind Hyg Assoc J* 1991 ; 52 : 363-371

Burdett GH, Jaffery SAMT : *Airborne asbestos concentrations in buildings. Ann Occup Hyg* 1986 ; 30 : 185-199

Corn M : *Asbestos and disease : An industrial hygienist's perspective. Am Ind Hyg Assoc J* 1986 ; 47 : 515-523

Dunnigan J, Seymoar NK : *A Scientific Update on Asbestos and Health, Quebec, The asbestos institute, 1990, 23-31*

작업환경 측정 기술 협의회 : '94 작업환경 측정기관 산업위생 담당자 연수 교육. 1994, 248-250

Ganor E, Fischbein A, Brenner S From P : *Extreme airborne asbestos concentrations in a public building. Brit J Ind Med* 1992 ; 49 : 486-488

한국석면공업협회 : 석면과 건강에 관한 최신 학술 정보. 1989

International Agency for Research on Cancer : *Man Made Mineral Fibers and Radon in Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks of Chemical to Humans, Lyon, IARC, 1988, 43*

김종규, 유영식 : 서울지역의 Asbestos 환경농도분석. 한국대기보전학회지 1989, 5(2) : 36-41

Lee DHK, Irving HK, Selidoff Ij : *Historical backgrounds to the asbestos problem. Environ Research* 1979 ; 18 : 300-314

Liddell D, Miller K : *Mineral Fibers and Health, London, CRC press, 1991, 182-185*

노동부 : 유해물질의 허용농도(노동부 고시 제 91-21호), 199

노동과 건강연구회 : 석면사용, 이대로 좋은가? 1993.

Mossman BT, Bignon J, Corn M, Seaton A, Gee JBL : *Asbestos, Scientific developments and implications for public policy. Science* 1990 ; 247 : 294-301

NIOSH : *NIOSH Manual of Analytical Methods : Asbestos(bulk) Method No. 9002, 1989 a*

NIOSH : *NIOSH Manual of Analytical Methods :*

- Asbestos fibers in air, Method No. 7400, 1989 b.*
- 오세민 : 석면 취급 사업장의 석면폭로 실태 조사 및 작업환경 개선에 관한 연구. 산업보건연구논문지 1992 : 3-10
- 백남원 : Review of current methods for sampling and analysis of airborne asbestos. 서울대학교 보건학논문집 1987
- Silnikoff IJ, Hammond EC : *Environmental epidemiology : community effects of nonoccupational environmental asbestos exposure. Am J Public Health* 1968 ; 59 : 1658-1666
- U.S. Environmental Pollution Agency : *Test Method : Interim method for the determination of asbestos in bulk insulation samples. EPA-600/M4-82-020, Atlanta, GA, US Dept. of Health and Human Service Publication, 1982*
- Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P : *Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the north western cape province. Brit J Ind. Med* 1960 ; 17 : 260-271
- World Health Organization : *Environmental Health Criteria, Geneva, WHO, 1988, 34-35*
- 유성환 : 건축자재의 시공방법에 따라 발생하는 석면 섬유와 인공 무기질 섬유의 특성 비교 연구, 고려대학교 박사학위논문, 1992