

대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기증 석면오염 및 관리실태¹⁾

가톨릭대학교 산업보건대학원

김 현 옥

— Abstract —

Asbestos Content in Friable Sprayed-on Surface Material and Airborne Fiber Concentrations in Commercial Buildings

Hyunwook Kim

Graduate School of Occupational Health, Catholic University

Twenty(20) large commercial buildings located in Seoul with friable sprayed-on surface insulation material on ceilings were investigated for asbestos content in bulk material by polarized light microscopy and for airborne fiber concentrations in buildings by phase contrast microscopy. In addition, such building-related variables as building age, numbers of traffic, airflow, surface conditions of the ceiling, temperature, and humidity were studied for any correlation with airborne fiber concentrations. The results were as follows:

1. Chrysotile asbestos was found in two bulk samples with 3-5% content and with <1% in one sample out of total 20 bulk samples collected. Glass fiber and mineral wool were the two major constituents of the bulk samples.
2. The ceiling surfaces were very friable in 16 buildings and were relatively hard in 4 buildings. The friability of the surface material was dependent upon the type and the amount of binder that had been mixed with the sprayed-on surface material.
3. Airborne fiber concentrations were log-normally distributed and the geometric mean(geometric standard deviation) fiber concentrations in the underground parking lots, inside buildings, and outdoor ambient air were 0.0063(1.97) f/cc, 0.0068(2.29) f/cc, and 0.0033(2.36) f/cc, respectively.
4. No significant relationship of airborne fiber concentrations and all building-related variables studied except humidity was found.

The results of this study suggest that the sprayed-on surface insulation material found in some commercial buildings may possibly be contaminated with asbestos. Since most of the ceiling surfaces surveyed were very friable and poorly maintained and the airborne fiber concentrations were relative-

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

ly high, there is a possibility of asbestos fiber contamination in these buildings, particularly at those buildings with asbestos-contaminated surface material. Since poorly maintained surface conditions were thought to be a source of high airborne fiber concentrations, there is a urgent need of a systematic operation and maintenance program. Further study of non-occupational asbestos exposure in general population utilizing advanced analytical technique such as transmission electron microscopy is highly recommended.

I. 서 론

석면은 그 물리화학적 특성인 내열, 내마모, 방음, 단열성 등의 좋은 특성으로 인하여 우리 사회에서 많이 사용되고 있는 물질중의 하나이다. 또한 값도 저렴하기 때문에 절연체, 충전재, 방직품, 건축자재로 벽재, 미장재, 바닥타일 등 많은 때는 3000여종 이상의 제품에 사용되어 왔다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 인체에 대한 발암성 및 진폐 유발성 때문에 많은 나라에서 그 사용이 금지되어 있다. 우리나라에서도 그 유해성을 인정하여 청석면 및 황석면의 수입을 금지시키고 제품에 사용을 금지시키거나 규제하고 있다. 그러나 백석면의 경우는 아직 이렇다할 규제가 없어 연간 8만톤 이상의 석면이 수입되고 있고 수입 석면의 80% 이상이 건축자재에 사용되고 있다 (백남원, 1994).

석면은 장기간 노출될 경우 대략 15년에서 30년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성 중피종 등을 유발하며 한번 진단되면 아직 이렇다할 치료방법이 없다. 대체적으로 석면폐의 경우 질병의 발생과 석면 섬유사이에는 양-반응관계를 보이며 (Becklake et al. 1980) 악성중피종과 폐암의 경우는 화학적 성질과 함께 섬유의 굵기, 길이, 모양 등의 물리적 성질이 질병의 발생과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다 (Lippmann, 1988). 이러한 석면의 위험으로부터 석면 취급근로자를 보호하기 위하여 우리나라에서는 작업장내의 환경기준으로 석면의 종류에 따라 0.2-2fibers/cm³(f/cc)의 기준을 정하여 근로자를 보호하고 있으나 (노동부, 1991) 이 기준도 미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH)의 권고기준인 0.1f/cc에 비하면 높은 수준이다 (NIOSH, 1994). 일반 대기중 석면에 대해서는 외국에서도 아직 뚜렷한 기준이 마련되지 않고 있으나 이스라엘의 경우 일반환경과 실내 권고안으로 0.0016f/cc(B-

renner et al. 1990)이 제안되었다. 그러나 우리나라는 아직 일반 실내환경에 대하여는 기준이 마련되어 있지 않다.

건축자재에 사용되는 석면중 문제되는 것은 비고형으로 건물의 표면에 살포되어 기류, 건물의 진동, 유지보수, 건물의 노후화 등의 문제로 쉽게 부스러져 유해한 석면 섬유를 다량으로 발생시킬 우려가 있는 경우이다. 미국에서는 건물 내에 석면의 사용을 금지하고 있으며, 건물 내에 예전에 사용했던 석면함유 건축자재가 있는 경우는 상태가 좋으면 그 상태로 유지하도록 권고하고, 상태가 좋지 않을 경우는 제거, 밀폐, 덧씌우기 등을 권고하고 있다 (Morse, 1994). 그러나 우리나라에서는 이에 대한 인식이 낮아 아직도 건물 내에 석면을 사용하고 있으며 사용된 건축자재도 유지관리상태가 되어있지 않은 상태이다.

우리나라에서 석면에 관한 연구는 미약하며 그나마 대부분이 작업환경에 대한 것이 대부분이다. 우리나라의 경우 슬레이트 제조시 0.04-4.75f/cc, 방직업 0.10-17.3f/cc, 브레이크 라이닝 제조시 0.08-3.08f/cc 등으로 보고되고 있다 (백남원과 이영환, 1991). 일반 대기 중에서는 서울 중앙 지역에서 0.0022f/cc를 보였고 교통량이 증가함에 따라 증가함을 보였다 (유영식과 김종규, 1989). 그러나 비고형 건축자재를 사용한 실내환경에 관한 연구는 아직 보고된 바 없다. 외국의 경우 이러한 실내환경에 대한 연구가 점차 관심의 대상이 되고 있으며 일부 연구결과에서 건물내의 석면농도는 비고형일 경우, 사람의 왕래나 활동이 많을 경우 높은 농도를 보이는 것으로 보고되고 있다 (Corn, 1994).

따라서 본 연구는 우리나라 대형건물내에 비고형 건축자재를 사용한 경우, 비고형 건축자재내 석면함유 여부와, 기중섬유 농도를 측정하여 현재의 오염 정도를 조사하고, 이러한 석면함유 표면자재의 관리 상태도 조사하여 현재의 실태를 파악하도록 하였다.

II. 대상 및 방법

1) 대상 건물 및 측정장소

본 연구에 포함된 대상건물은 서울에 소재한 대형 건축물로 총 20곳을 선정하였다. 이들 건물에서 기중 섬유농도의 측정은 각 건물내부 표면에 부서지기 쉬운 표면살포된 건축재료가 노출되어 있는 장소로 주로 지하주차장으로 활용되는 곳과, 표면 살포된 재료가 천장 마감재로 덮여있는 지상 실내공간 및 실내 오염과 대비할 수 있는 건물 밖의 외부장소에서 실시하였다.

2) 방법

a. 시료채취방법

석면의 포집은 미국 NIOSH에서 추천하는 NIOSH 7400 방법을 사용하여 기중 석면 섬유를 포집하였다 (NIOSH, 1994). 이 방법은 직경 25mm, 기공 0.8 μ m, 셀룰로우스 멤브레인 필터를 사용하여 50 mm 카울이 장착된 포집기로 포집하는 방법으로 본 연구에서는 지하공간내 시료에 대해서는 유속을 분당 1-2.5리터로 하고 분석에 영향을 미치지 않도록 기중의 부유분진을 고려하여 충분한 시간동안 지역 시료 채취방법을 이용하여 포집하고, 옥외는 분당 16리터로 고유량펌프를 사용하여 포집하였다.

석면 함유여부를 판정할 물질시료의 채취는 미국 EPA에서 추천하는 방법을 사용하여 건축재료의 균일성과 건축물의 면적에 따라 대표성이 있는 시료를 채취하도록 하였으며 시료 채취기구는 자체 제작하여 사용하였다.

b. 분석방법

기중 석면 섬유의 분석은 NIOSH 7400방법(NIOSH, 1994)인 위상차현미경 분석법 (phase contrast microscopy, PCM)을 사용하였다. 이 방법은 아세톤/트리아세틴으로 필터를 투명하게 하고 고정시키며 Walton-Beckett Graticule이 삽입된 위상차현미경을 사용하여 400배 배율에서 "A" 계수법에 따라 길이가 5 μ m 이상이고 길이대 직경비가 3:1 이상인 가늘고 긴 섬유를 세며, 세기는 graticule 필드로 최소 20필드, 최대 100필드까지 세며, 100 필드내에서는 섬유의 수가 100개를 넘으면 필드수에 관계없이 세기를 마쳤다.

물질시료내 석면 함유여부의 판정은 미국 EPA 추천법인 EPS-600/M4-82-020 (EPA, 1982)과 NIOSH 9002 방법 (NIOSH 1994)인 편광현미경법 (polarized light microscopy, PLM)을 이용하여 석면의 표면특성, 굴절율, 색, 복굴절율, 소광위치, 다색성, 분산색 등의 특성을 이용하여 석면의 함유여부 및 종류를 판정하였고, NIOSH의 반경향적 방법을 이용하여 함유량을 추정하였다.

c. 기타 변수의 측정

기중 석면의 농도에 영향을 줄 것으로 판단되는 변수인 공기와 흐름, 차량 대수, 건물의 년한, 표면재료의 상태, 기온, 습도를 측정하여 기중 농도와외 관련성을 분석하였다. 기온, 습도, 공기의 흐름은 열선풍속계를 이용하였고, 표면재료의 상태는 EPA 방법에 따라 구분하였고, 차량의 대수 등은 평균 주차대수로 수량화하였다.

d. 결과분석

자료의 분석은 SAS 통계분석 프로그램을 활용하였다. 기중 섬유농도는 분포검정 결과 대수정규분포를 함께 따라 기하평균과 기하표준편차로 나타내었으며, 기타 건물관련 변수들과 기중 섬유농도와의 관계는 분산분석과 회귀분석을 실시하였다.

III. 결 과

표 1에 연구에 포함된 건물의 설립년도, 주차면적, 일일 평균 주차대수, 비교형 자재의 위치 및 표면 상태, 그리고 현재 관리상태를 요약하였다. 대상 건물은 85년이전 건축한 곳이 6 곳, 86-90년도 건축이 5 곳, 90년대 이후에 건축된 곳이 11 곳이었다.

지하 주차장내에 환기 시설은 설치된 곳이 18 곳이었으며 그중 가동 유무를 조사한 결과 절반 이하인 8곳에서만 가동되고 있었고 나머지는 가동시키지 않고 있었다.

비교형 자재 분포 현황을 보면 조사대상 건물의 80%인 16 개소에서 천장과 빔에 분부 살포되어 있었으며 이중 1개소는 벽면의 상부 절반 정도까지와 1개소는 들어가는 통로에까지 광범위하게 살포되어 있었다. 나머지 4개소(20%)에서는 단지 빔에만 살포되어 있었다.

Table 1. General characteristics of buildings surveyed

Bldg. code	Year built	Parking area(m ²)	Avg.# cars pkd	Vent. Op.	Surf. mgt	Location of sprayed surface material & conditions
JG	1987	13950	250	Y	A	ceiling,soft, damaged (<5%)
SS	1985	6600	120	N	B	ceiling,soft, damaged (<10%)
DW	1994	2120	40	N	A	ceiling-soft, beam-med hard
HS	1992	9060	140	Y	A	beam only-med hard
SU	1992	1560	60	N	A	ceiling only,hard
YW	1984	1650	50	Y	C	beam,soft, damaged (>40%)
CK	1987	6600	60	Y	B	ceiling, soft, damaged (<10%)
CH	1984	8270	150	N	A	ceiling, beam & wall, hard
SY	1985	8930	30	N	A	ceiling & hallway, soft
KM	1984	330	25	N/A	A	ceiling & beam, soft
SB	1990	660	70	N	B	beam only, med-hard, damaged (<10%)
RE	1988	8760	100	Y	A	ceiling, soft
LO	1979	15870	270	Y	A	ceiling, soft
BU	1988	660	70	N	B	ceiling, soft, damaged (<10%)
TY	1993	830	130	Y	A	ceiling, soft
KS	1991	730	22	N/A	A	ceiling, soft
SO	1990	990	40	Y	A	ceiling, soft
RO	1991	1260	30	N	B	beam only, soft, damaged (<10%)
BC	1986	330	40	N	A	ceiling, soft
AX	1991	1330	300	N	A	ceiling, soft

NOTE : surface management: A-well maintained B-fair condition C-bad condition (damaged)

soft : fibrous spray, fluffy & easily friable

med-hard : medium hard surface - cementitious spray

hard : cementitious spray (fiber mixed with bonding agent)

Vent : Ventilation operating (Y-operating, N-Not operating, N/A-not installed)

Avg.# cars pkd : Average number of cars parked

살포된 비고형 자재의 형태는 16개소에서 섬유상 물질이 매우 부서지지 쉬운 상태로 살포되어 있었고, 나머지 4곳에서는 결합제와 섞여져 살포되어 있어 손으로 만져보았을 경우 약간 딱딱한 경우와 매우 단단한 경우가 각각 2 곳이었다.

노출된 비고형 물질의 관리상태를 A : 관리상태 좋음, B : 부분적으로 파손/섬유방출 가능성 있음, C : 파손된 면적이 25%이상 3가지로 구분하였을 때, A가 14 곳, B가 5 곳, 그리고 C가 1 곳이었다. C로 구분된 곳은 시료 채취 당시에는 거의 40 % 이상의 표면이 심하게 파손되어 있었다.

표 2에는 건물내 노출된 표면에서 채취한 물질시료를 PLM으로 분석한 결과와 지하 주차장, 지상실내 및 건물밖 대기중에서 채취한 기중 시료를 PCM으로 분석한 결과를 각 대상 건물별로 구분하여 수

록하였다.

물질시료를 분석한 결과 20개 시료중 17개에서 유리섬유와 무기광물섬유(mineral wool)가 검출되었고, 3개 시료에서만 백석면(chrysotile)이 소량 검출되었다. 석면 함유량을 NIOSH 정성방법으로 추정된 결과 2개시료는 함유량이 3-5%이었으며 나머지 1개에서는 <1%이었다.

표 3에 기중 석면시료 분석 결과를 요약하였다. 지하주차장 및 건물내 시료 각각 1개가 시료 채취중 펌프의 작동 중지로 시료채취를 못하였고, 지하주차장에서 채취한 시료 1개가 과도한 분진 포집으로 계수가 불가능하여 분석에서 제외하였다. 지하주차장에서 채취한 시료 39개중 17개 (44%), 건물내에서 채취한 시료 19개중 2개 (11%), 대기중 시료 20개중 11개 (55%)가 분석결과 섬유밀도가 7개/mm³ 이하

Table 2. Summary of results for PLM and PCM analyses

Bldg. code	Date sampled	Bulk samples (PLM)	Airborne samples (PCM) - f/cc			
			Parking 1	Parking 2	Indoor	Outdoor
JG	12/94	GF, MW	0.0046*	0.0081	0.0035	0.0033*
SS	12/94	GF, MW	0.0065*	note 1	0.0061	0.0020*
DW	1/95	GF, MW, CH(<1%)	0.0118 0.0019*	0.0032*	0.0057	0.0000*
HS	1/95	GF, MW, CH(3-5%)	0.0044	0.0025*	0.0076	0.0099
SU	1/95	GF,	0.0069*	0.0075	0.0024*	0.0033
YW	1/95	GF, MW	0.0075	0.0250	0.0140	0.0062
CK	1/95	GF, MW,	0.0139	0.0038*	0.0043	0.0053
CH	1/95	GF, CH(3-5%)	0.0134	note 2	0.0288	0.0013*
SY	1/95	GF, MW,	0.0075	0.0084	0.0007*	0.0025*
KM	2/95	GF, MW,	0.0066	0.0059	0.0114	0.0014*
SB	2/95	GF, MW	0.0127	0.0024*	0.0064	0.0037
RE	2/95	GF, MW	0.0048*	0.0011*	0.0060	0.0016*
LO	5/95	GF, MW	0.0173	0.0107	0.0040*	0.0131
BU	6/95	GF, MW	0.0144	0.0107	0.0121	0.0085
TY	5/95	GF, MW	0.0128	0.0079	note 1	0.0063
KS	4/95	GF, MW	0.0022*	0.0039*	0.0111	0.0046
SO	3/95	GF, MW	0.0033*	0.0049*	0.0051	0.0020*
RO	4/95	GF, MW	0.0034*	0.0050*	0.0145	0.0020*
BC	4/95	GF, MW	0.0097	0.0036*	0.0115	0.0064
AX	4/95	GF, MW	0.0109	0.0092	0.0140	0.0004*

bulk samples: GF-glass fiber, MW-mineral wool, CH-chrysotile

* (airborne samples): <limit of detection (fiber density <7 fibers/μm²)

note 1) sample loss due to pump fault

2) unable to count due to overloading

Table 3. Summary of airborne fiber concentrations by PCM analyses

	Underground Parking lots	Inside building	Outdoor ambient air
Number of samples	39	19	20
GM (f/cc)	0.0063	0.0068	0.0033
GSD	1.97	2.29	2.36
Range(f/cc)	0.0011-0.0250	0.0006-0.0287	0.0004-0.0131
No.<LOD (%)	17 (44%)	2 (11%)	11 (55%)
No.>(0.01 f/cc)	11 (28.2%)	8 (42.1%)	1 (5.0%)

GM:geometric mean GSD:geometric standard deviation
LOD:limit of detection

로 PCM의 검출한계 (limit of detection, LOD) 이하였다.

PCM 분석시 정량한계 (limit of quantitation, LOQ)인 0.01 f/cc를 초과하는 비율을 그룹별로 살

펴보면 지하주차장 시료 39개중 11개(28.2%), 실내시료 19개중 8개(42.1%), 그리고 건물밖 대기시료에서는 20개중 1개(5%) 이었다.

본 연구에서는 공기중 섬유농도가 대수정규 분포를 함에 따라 각 그룹간 평균농도를 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 나타내었다(그림 1). 건물내에서 측정된 농도가 0.0068f/cc로 가장 높았고 지하주차장에서 측정된 농도도 0.0063f/cc로 비슷하였으며 두 그룹간에 통계적인 차이가 없었다. 그러나 건물밖 대기중에서 측정된 농도는 0.0033f/cc를 보여 앞의 두 그룹과 통계적으로 유의하게(p<0.01) 낮았다. 본 연구에서는 통계분석시 LOD 이하의 농도에 대하여 LOD-substituted 농도를 사용하지 않고 실제로 계산한 농도를 사용하여 통계분석에 사용하였다 (Kinney et al. 1994).

지하주차장에서 측정된 기중 섬유농도와 건물 관

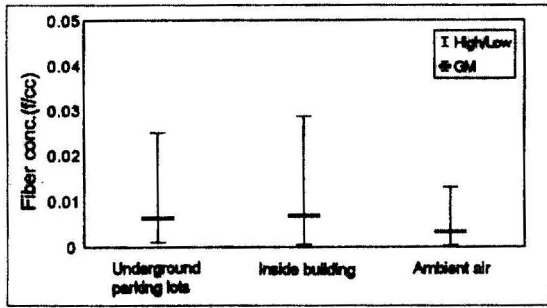


Fig. 1. Average airborne fiber concentrations by area.

련변수인 건물의 년한, 환풍기 가동 여부, 실내기류, 표면상태, 손상 정도, 온도, 습도와 관련을 분석한 결과 습도만 지하주차장의 섬유농도에 영향을 미칠뿐 ($p < 0.05$) 다른 변수들은 관련이 없는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구는 우리나라 대형건물에 화재방지용이나 흡음재 등으로 천장이나 철골 빔에 분무 사용되고 있는 비고형 건축자재내에 석면의 함유여부와 함유량을 조사하고 공기중 섬유농도를 조사하기 위하여 실시되었다. 조사대상 건물내 표면에서 채취한 물질시료의 분석 결과 20개중 17개 시료에서 유리섬유와 무기광물섬유를 함유하고 있는 것으로 판명되었고 나머지 3개의 시료에서 백석면이 검출되었다. 이중 1개는 <1% 이하의 함량으로 보아 불순물로 섞인 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서 석면 발견율은 20개 시료중 2개인 10% 이었다. 이것은 미국의 경우 20% 이상의 건물에서 석면이 존재하고 있다는 (U.S. EPA, 1984) 것과 비교하면 절반정도의 낮은 수치이나 이것만으로 우리나라의 건물내 석면오염 실태를 추정하기는 어려울 것이다. 그 이유로는 조사 대상건물 20개소중 1개소를 제외하고는 모두 80년도 이후에 신축된 건물로 80년대이면 벌써 석면의 유해성이 널리 알려져 있어 미국에서는 건물내 석면사용이 금지된 시점이었고 이러한 영향이 우리나라에도 알려져 건물에 석면대체품인 유리섬유와 기타 광물성 섬유가 사용되기 시작하였기 때문에 시대적인 차이가 있을 것으로 판단된다. 그러나 우리나라에서는 아직도 건물내 석면함유 자재의 사용을 전면적으로 금지하는 법률이 제정되지 않았고 94년

도에 건축자재로 사용된 석면량이 전체 수입량의 80%를 상회하는 것으로 발표되었고(백남원, 1994) 본 조사에서 빠진 70년도 이전에 건축된 건물이 아직도 상당수 존재하기 때문에 건물내에 석면문제점은 이러한 백분율을 상회할 것으로 여겨진다. 또한 건물 표면만이 아니라 보일러나 온수 파이프 보온재, 천장 흡음재, 내장 마감재, 바닥 타일재 등에 사용된 석면 함유 건축자재 등도 감안한다면 본 조사의 석면오염 백분율 수치는 상당히 낮은 수치일 것으로 판단된다.

본 조사에서 공기중 섬유농도의 분포를 분석한 결과 대수정규분포를 하여 기중농도를 기하평균과 기하표준편차를 사용하여 나타내었다. 이는 저농도 석면농도가 대수정규분포를 한다는 연구결과 (Sheehan & Reynolds, 1992)와 같았으나, 대부분의 수치가 감지되지 않는 저농도 실내 석면농도인 경우 대수정규분포보다는 이항분포(binomial distribution)가 더 적합할 것(Reynolds et al., 1994)으로도 보고된 바 있어 앞으로 이에 대한 연구도 필요하다고 하겠다.

이번 조사에서 건물내에서 측정된 공기중 섬유농도는 지하주차장이 평균 0.0063f/cc였고, 실내공간이 0.0068f/cc였다. 이 결과는 1994년 8개 건물내 지하주차장 평균 섬유농도가 0.0208f/cc이었다는 연구결과보다 상당히 낮았다 (문지영과 김현옥, 1994). 그러나 이것은 조사대상 건물의 상태가 문지영과 김현옥(1994)의 경우는 손상되었던 건물이 많았던 반면 본 연구에서는 비교적 표면상태가 양호한 건물이 많이 포함되었던 것이 한 원인으로 판단된다. 따라서 문지영과 김현옥의 연구에서 손상되지 않은 건물내 섬유농도만 비교해보면 0.0064f/cc로 본 연구와 거의 비슷해짐을 알 수 있다.

건물내부 실내에서 측정된 평균 섬유농도는 0.0068f/cc이었으며, PCM의 정량한계인 0.01f/cc를 넘는 시료수는 42.1%이었고 최대치는 0.0287f/cc 이었다. 이 결과를 PCM으로 측정한 다른 연구결과와 비교하여 보면 병원내 석면함유재가 빔에 분무살포된 기계실이나 의사집무실 등에서 측정된 농도 0.0063f/cc와 배경농도인 0.0052f/cc (Shaikh, 1994)와는 거의 유사한 결과를 보였고 단열재 설치 후 기중 섬유농도가 0.001-0.010f/cc (van der Wal et al., 1987), 0.0078-0.0113f/cc (Dodgson

et al. 1987), 신축건물에 인공무기섬유 단열재 설치후 섬유농도가 0.003-0.015f/cc라 발표한 연구결과 (Miller et al., 1995)와도 비슷하였다. 이 결과는 프랑스 파리에서 인공무기섬유 단열재가 설치된 79개 건물내부 농도를 PLM으로 분석한 0.063-0.225f/cc (Gaudichet et al., 1989)보다는 낮은 농도이었다. 그러나 학교, 일반건물, 병원 등 43개 건물에서 채취한 235개 시료를 분석한 결과 0.01f/cc 이상이 13%이었고 최대치가 0.075f/cc (Burdett & Jaffrey, 1986) 이었던 결과와 비교해 볼 때 본 연구 결과가 최대치는 낮으나 평균농도는 비교적 높은 농도이었다. 분석방법이 상이하여 PCM 결과와 투과전자현미경 분석법 (transmission electron microscopy, TEM) 결과를 비교할 수는 없으나 TEM으로 측정된 경우 71개 학교에서 평균농도가 PCM 상당농도로 0.00024f/cc (Corn, 1991), 50개 공공건물과 개인건물에서 평균이 0.00006f/cc (HEI-AR, 1991)인 결과에 비해서는 매우 높은 농도이었다. 이렇게 연구마다 상이한 농도가 발표되는 이유는 우선적으로 분석방법이 다르고, 각 건물별 표면상태 및 건물내 활동, 공기의 흐름 등 변수가 많기 때문으로 추정된다. 건물외부 대기환경중에서 측정된 섬유농도 범위는 0.0004-0.0130f/cc, 기하 평균이 0.0033f/cc이었다. 이것은 1989년 서울 중앙지역에서 측정된 농도인 0.0022f/cc (유영식과 김종규, 1989) 보다 약간 상승한 결과이다. 그 이유로는 교통량의 증가가 대기중 석면농도의 증가에 영향을 주며 (유영식과 김종규, 1989) 자동차 브레이크 라이닝이 석면섬유 방출의 주요 원인 (Bruckman, 1978)임을 감안할 때, 대기중 농도가 증가한 것은 그동안 서울에서 자동차가 많이 증가한 때문으로 사료된다. 외국의 경우와 비교해 보면 프랑스 파리의 대기중 농도를 편광현미경분석법 (polarized light microscopy, PLM)으로 분석한 결과인 0.002-0.004f/cc와 거의 일치하는 수준이었다 (Gaudichet et al., 1989). 본 연구 결과는 PCM을 사용한 결과이므로 대기중 석면농도를 TEM을 이용하여 석면만 검출하여 기중 농도로 발표한 연구와 비교할 수는 없으나, 분석방법간의 차이를 고려하지 않고 단지 발표된 농도만으로 단순 비교해 보면 도심지내 농도가 0.002f/cc (Corn, 1994), 도심지 교차로에서 측정된 0.00055-0.0062f/cc (Jaffrey, 1990)와

비교해 약간 높은 농도를 보였다. 그러나 미국과 일본에서 시행된 연구결과 전역지역 대기중 PCM 상당농도가 0.0005f/cc (Kohyama, 1989), 중량농도를 PCM상당농도로 변환한 0.0005f/cc (HEI-AR, 1991)와 비교해보면 10배 정도 높았다. 이러한 결과는 대기중 석면농도는 대부분이 PCM의 검출한계 이하인 저농도이며 PCM은 석면의 선택적 선택성이 불가능하기 때문에 다른 기중섬유의 영향으로 과추정하는 결과를 보여 대기중 석면농도를 측정할 때는 TEM과 같은 분석방법이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

이번 연구결과에서 건물내 표면관리 상태에 따른 기중 섬유농도의 차이는 없었다. 그러나 이것은 표면관리 상태가 좋지 않은 건물의 수가 1개소로 적어 비교 대상이 적었으며, 대부분의 건물이 비교적 건물연한이 짧은 신축된 것으로 대체적으로 표면상태가 좋아서 실질적인 차이를 나타낸 것으로는 볼 수 없었다. 분부살포된 석면함유 물질이 있는 건물에서 공기가 순환되더라도 기중 석면의 농도가 상승하지 않았던 경우도 보고되었으나 (Burdett & Jaffrey, 1986), 49개 정부건물을 대상으로 한 연구 결과 (Chesson et al., 1990) 표면손상정도가 농도에 영향을 주는 것으로 나타났고 비록 8개로 적은 수의 건물에서 연구된 것이지만 우리나라 연구 (문지영과 김현욱, 1994)도 표면관리 상태와 기중 섬유농도 간에 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되어 기중 섬유농도를 낮은 수준으로 유지하려면 건물내 노출된 표면을 관리할 적절한 기법을 도입하여야 할 것으로 사료된다.

그러나 건물내에 존재하는 석면농도는 일반적으로 매우 낮은 것으로 보고되고 있다. 따라서 산업화된 나라에서 일반대기중 석면노출로 인하여 폐암이나 악성종괴종에 이환된 역학적 증거는 없으나 대기중 여러 석면이 혼합된 경우는 이러한 질병이 발생한 경우가 있었다 (Gardner & Saracci, 1989). 반면에 건물 유지보수를 하는 경우는 작업을 행하는 근로자가 상당한 양의 석면에 노출되는 것으로 보고되었다. 표면 살포된 백석면이 존재하는 건물에서 배경농도가 0.02f/cc이었을 때 건물을 유지하던 건물관리인이 1.6-4.0f/cc, 보수공사에 참여한 근로자가 1.4-17.1f/cc 의 농도에 노출되었으며 (Sawyer, 1977), 보수공사시 목공, 전기공, 페인트공 등 그룹도

0.008-0.19f/cc의 농도에 노출되는 것으로 보고되었다 (Paik et al. 1983) 또한 건물내로도 석면이 비산하는 것으로 보고되었다 (Corn, 1994). 그러므로 석면존재 건물의 유지보수를 담당하는 근로자에 대한 대책이 마련되어야 할 것이며, 또한 유지보수 공사중 대기중에 방출된 석면이 건물내 다른 위치로 전파되지 않도록 적절한 관리방법이 마련되어야 할 것이다.

본 연구에서 물질시료의 정성분석은 PLM을 이용하였고, 기중 섬유농도 정량분석은 PCM으로하였다. 때문에 공기중 시료에서 섬유내에 석면, 유리면, 암면 등의 함유여부를 알 수 없었다. 그러나 물질시료에서 대부분 암면과 유리섬유가 함유되었기 때문에 공기중 시료에도 이들이 포함되어 있을 가능성은 매우 높다고 하겠다. 유리섬유나 암면에 대해서 현재 건강장애에 대한 연구가 지속되고 있고 국제발암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC 1988)에서는 이들을 발암추정물질로 규정하고 있다. 따라서 충분한 연구결과가 있기까지는 이들 물질에 대한 노출을 최소한으로 줄이는 노력이 필요할 것이다. 기중석면 분석시 사용된 PCM 방법을 산업환경이 아닌 일반 대기중에 적용할 경우 단점은 여러 연구에서 지적되었다. Corn (1994)은 PCM의 단점으로 석면과 비석면 섬유의 구분 불능과 해상도 때문에 직경 0.2 μ m 이하의 석면 감지 불능을 단점으로 지적하였고, NIOSH 7400 방법(1994)의 검출한계가 0.01f/cc 로 대부분의 대기중이나 건물내 농도가 이 범위 이하인 환경농도에는 부적합하다고 하였다. 또한 대기중에는 비석면 섬유가 많이 존재하여 (Burdett & Jaffrey 1986, Gazzi & Crockford 1987, Rodelsperger et al, 1989) PCM과 TEM 두가지 방법을 비교했을 경우 PCM 방법이 과추정된 결과를 보인 것으로 보고되었다. 따라서 앞으로 직업성 노출이 아닌 비직업성이나 일반 대기중 석면의 농도를 연구할 경우에는 석면 섬유만 정성, 정량분석할 수 있는 TEM 방법을 사용하여야 의미있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

서울시내 소재 건물중 내부 표면에 비고형 분무식

건축자재가 존재하는 건물 20개소를 선정하여 비고형 물질내 석면함유 여부를 PLM으로 분석하고, 지하주차장, 건물실내, 또 건물밖 대기중에서 기중 섬유농도를 PCM으로 분석하였고 건물에 관련된 여러 변수를 조사하여 섬유농도와와의 관련성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 조사된 20개 건물에서 채취된 비고형물질의 석면함유 여부를 조사한 결과 3개에서 백석면이 발견되었으며 2개소에서 석면 함유량이 3-5%이었고 나머지 1개소는 <1%이었다.

대부분의 시료는 유리섬유와 무기광물섬유로 판명되었다.

2) 비고형 건축자재 형태는 16개소가 분무살포된 매우 부서지기 쉬운 형태이었으며 나머지 4개소가 결합재가 섞인 약간 단단하거나 매우 단단한 형태이었다. 표면 관리상태는 양호한 경우가 14개소, 보통인 경우가 5개소, 불량인 경우가 1개소이었다.

3) 기중섬유농도는 대수정규분포를 하고있었으며 지하주차장내 기하평균이 0.0063f/cc(기하표준편차 1.97), 건물내 0.0068f/cc(2.29), 대기중 농도가 0.0033f/cc(2.36) 이었다.

4) 지하주차장에서 측정된 기중 섬유농도와 건물 관련된 변수인 건물의 년한, 표면상태, 손상정도, 주차대수, 환풍기 가동여부, 온도 등과는 관련이 없었으며 습도만 유의한 관계가 있었다.

이상의 결과에서 우리나라에서 건물내부에 비고형 건축자재를 사용한 건물중 일부는 석면을 함유한 것으로 추정되며 기중 섬유농도는 비교적 높게 나타나 석면오염 가능성이 높다고 하겠다. 또한 건물내 표면 상태는 일부 건물에서 매우 열악한 상태에 있어 건물내 섬유농도를 증가시키는 원인으로 보이며 따라서 체계적인 유지보수 프로그램의 도입이 시급하다고 하겠다. 앞으로 우리나라에서는 건물내 비직업성 노출이나 대기중 석면농도에 관련한 연구가 더욱 필요하며 이러한 연구는 TEM 방법을 이용하여야 할 것으로 사료된다.

(감사의 글 : 본 연구를 수행하는데 비고형 건축자재의 채취 및 기중 석면농도를 측정할 가톨릭대학교 산업보건대학원생 이동원, 위상차현미경 분석과 자료분석을 담당했던 현재 성남병원 산업보건연구소의 김강윤 분석사, 그리고 측정 및 분석 장비를 적

극 지원했던 가톨릭 산업의학센터의 노영만 교수님, 미국 신시내티 소재 NIOSH에 연수중 분석에 도움을 주신 관동대학교 유상환 교수님, 그리고 본 논문을 검토하여 주신 서울대 백남원 교수님 등 여러분에게 감사드립니다.)

참 고 문 헌

노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제 91-21호, 1991

문지영, 김현욱: 서울시내 일부주차장의 공기중 섬유농도에 영향을 미치는 인자분석. 한국 산업위생학회지 1994; 4(2):157-167

백남원: 우리나라 석면 취급근로자의 석면 폭로실태와 석면폐 발생에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원, 노동부 직업병 예방을 위한 학술연구용역사업, 1994

백남원, 이영환: 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1991;1(2):144-153
유영식, 김종규: 서울지역의 Asbestos 환경농도 분포. 한국대기보전학회지 1989; 5(2): 36-41

Becklake MR, Gibbs GW, Arhirii M, Hurwitz S: Exposure to asbestos and respiratory abnormality: the influence of fibre type and nature of exposure. in *Biological Effects of Mineral Fibers*, Wagner JC, Ed., IARC Sci-entific Publication No. 30, Lyon, France, 1980

Brenner S, Ganor E, Anavi Z: Asbestos fibers in the ambient air of Israel. *Environmental Management and Health, An International Journal* 1990;1:13-16

Bruckman L: A study of airborne asbestos fibers in Connecticut. *Workshop on Asbestos: Definitions and Measurement Methods*, National Bureau of Standards, U.S. Dept. of Commerce, NBS Special Publication No. 506, 1978, 179-190

Burdett GJ, Jaffrey SAMT: Airborne asbestos concentrations in buildings. *Ann Occup Hyg* 1986;30(2): 185-199

Chesson J, Hatfield J, Schultz B, Dutrow E, Blake J: Airborne asbestos in public buildings. *Environmental Research* 1990;51(1):100-107

Corn M: Airborne concentrations of asbestos in non-occupational environments. *Ann Occup Hyg* 1994; 38(4):495-502

Dodgson J, Harrison GE, Cherrie JW et al: Assessment of Airborne Mineral Wool Fibers in Domestic Houses. *Repost No. TM/87/18 Institute of Occupational Medicine, Edinburgh, UK* 1987

Environmental Protection Agency: *Interim Method for the Determination of Asbestos in Bulk Insulation Sam-*

ples. EPA-600/M4-82-020, 1982

Gardner MJ, Saracci R: Effects on health of non-occupational exposure to airborne mineral fibers. in *Non-Occupational Exposure to Mineral Fibres*, Bignon J, Peto J, Saracci R, Editors, Lyon, France, International Agency for Research on Cancer, IARC Scientific Publications No. 90, 1989, 375-397

Gaudichet A, Petit G, Billon-Galland MA, Defour G: Airborne mineral fiber levels in the non-occupational environment. in *Non-Occupational Exposure to Mineral Fibres*, Bignon J, Peto J, Saracci R, Editors, Lyon, France, International Agency for Research on Cancer, IARC Scientific Publications No. 90, 1989, 291-

Gazzi D, Crockford GW: Indoor asbestos levels on a housing estate (determined by transmission electron microscopy). *Ann Occup Hyg* 1987;31(4):429-439

HEI-AR: Asbestos in Public and Commercial Buildings: A Literature Review and Synthesis of Current Knowledge. *Health Effects Institute-Asbestos Research. Cambridge, Massachusetts* 1991

International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 43, Man-Made Mineral Fibers and Radon, Lyon, France 1988

Jaffrey SAMT: Environmental asbestos fibre release from brake and clutch linings of vehicular traffic. *Ann Occup Hyg* 1990;34(4):529-534

Kinney PL, Satterfield MH, Shaikh RA: Airborne fiber levels during asbestos operations and maintenance work in a large office building. *Appl Occup Env Hyg* 1994;9(11):825-835

Kohyama MS: Airborne asbestos levles in non-occupational environments in Japan. in *Non-Occupational Exposure to Mineral Fibres*, Bignon J, Peto J, Saracci R, Editors, Lyon, France, International Agency for Research on Cancer, IARC Scientific Publications No. 90, 1989, 262-276

Lippmann M: Review: Asbestos exposure indices. *Environ Resp* 1988; 46: 86-106

Miller ME, Lees PSJ, Breyssse PN: A comparison of airborne manmade vitreous fiber concentrations before and after installation of insulation in new construction housing. *Appl Occup Env Hyg* 1995;10(3):182-187

Morse RG: Operations and maintenance practices recommended by regulatory agencies. *Appl Occup Env Hyg* 1994;9(11):793-798

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): *Manual of Analytical Methods, 4th Ed., Asbestos and other fibers by PCM No. 7400, Asbestos (bu-*

lk) by PLM No. 9002, 1994

Paik NW, Walcott RJ, Brogan PA : *Worker exposure to asbestos during removal of sprayed material and renovation activity in buildings containing sprayed material. Am Ind Hyg Assoc J* 1983;44:428-432

Reynolds SJ, Kreiger RA, Bohn JA, Fish D, Marxhausen T, McJilton, : *Factors affecting airborne concentrations of asbestos in a commercial building. Am Ind Hyg Assoc J* 1994;55(9):823-828

Rodelsperger K, Teichert KU, Marfels H, Spurny K, Arhelger R, Voitowitz HJ : *Measurement of inorganic fibrous particulates in ambient air and indoors with the scanning electron microscopy. in Non-Occupational Exposure to Mineral Fibres, Bignon J, Peto J, Saracci R, Editors, Lyon, France, International Agency for Research on Cancer, IARC, Scientific Publications No. 90, 1989, 361-366*

Sawer RN : *Asbestos exposure in a Yale building. Environ Res* 1977;13:146-169

Shaikh RA, Satterfield MH, Kinney PL : *Airborne fiber levels in a hospital operations and maintenance program. Appl Occup Env Hyg* 1994; 9(11): 811-824

Sheehan MJ, Reynolds JW : *Airborne asbestos analysis of low fiber density samples: A comparison of the A and B counting rules of the NIOSH Method 7400. Appl Occup Env Hyg* 1992 7(1):38-41

van der Wal JF, Ebens R, Tempelman J : *Man-made mineral fibers in homes caused by thermal insulation. Atmos Environ* 1987;21(1):13-19

U.S. Environmental Protection Agency : *Asbestos in buildings: A national survey of asbestos-containing friable materials (EPA 560 15-84-006). Washington, D.C. EPA* 1984