

경남지역의 실내외 공기 중 총섬유 입자의 농도특성 및 석면 입자의 확인 Concentration Characteristics of Indoor and Outdoor Airborne Total Fiber Particles and Identification of Asbestos in Gyeongnam Provinces

박희은 · 박정호 · 김형갑*

Hee-eun Park · Jeong-Ho Park · Hyoung-Kab Kim*

경남과학기술대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study is to identify concentration characteristics of indoor and outdoor airborne total fiber particles and asbestos in Gyeongnam Provinces.

Methods: This study investigated concentration characteristics of indoor fiber particles from 748 schools and 38 public facilities as well as outdoor particles from 11 sites through PCM (phase contrast microscope). SEM/EDX (scanning electron microscope/energy dispersive using X-ray analysis) was used to obtain physicochemical information of asbestos fiber particles. The study identified asbestos rate in the 15 samples from indoor and outdoor airborne total fiber particles.

Results: 1. The average indoor airborne concentrations of total fiber particles were 0.0011 ± 0.0007 f/cc in schools and 0.0015 ± 0.0007 f/cc in public facilities by PCM. Over 90% of the fiber particles were identified as single fibers. 2. The average outdoor airborne concentrations of total fiber particles were 0.0007 ± 0.0002 f/cc, and they were lower than those of indoor airborne concentrations. 3. The results showed that the form of asbestiform was diverse as skein of thread like form and long needle, which was relatively narrower than that of glass fiber and rock wool. 4. The results of SEM/EDX analysis of 15 areas where total fiber particle was relatively high showed that the form was rather similar to that of asbestos, but chemical composition was proven to be non-asbestos.

Conclusions: The concentration of indoor and outdoor airborne total fiber particles of Gyeongnam Provinces satisfied the IAQ (Indoor air quality) level of 0.01 f/cc and asbestos was not found in most of the samples by SEM/EDX.

Key words : Asbestos, PCM, SEM/EDX, Concentration Characteristics

I. 서 론

최근 발암성 물질인 석면의 유해성에 대한 관심이 높아지고 있다. 지금까지 석면의 노출은 석면을 취급하는 작업장내 근로자들을 대상으로 한 작업성 노출에 관한 문제가 대부분이었다면 현재에는 일반인들을 대상으로 한 환경성 노출에 대한 문제가 대두되고 있다. 최근 일반인들이 사용하는 실생활용품에서 석면이 불순물로 섞여 사용된 것이 밝혀져 사회적 이슈가 된 것도 그와 같다(강동목, 2009).

환경성 노출의 경우 석면함유건축자재의 노후화로 인한 부식, 건축물의 해체 및 제거 작업, 노후화된 차량의 브레이크라이닝, 그 밖의 석면이 함유된 제품의 사용 등 매우 많은 노출경로를 통해서 석면이 발생된다(안중주, 2009).

공기중으로 방출된 석면입자는 호흡기를 통해 체내로 들어와 석면폐증(asbestosis), 폐암(lung cancer) 및 중피종(mesothelioma) 등 악성질환을 발생시키는 것으로 보고되고 있다(Artvinii M and Bais YI., 1979). 우리나라의 경우 과거 상당량의 석면을 사용한 바

*Corresponding author: Hyoung-Kab Kim, 경남 진주시 동진로 33 경남과학기술대학교 환경공학과, Tel: 055-751-3342, Fax: 055-751-3681, E-mail: hgkim@gntech.ac.kr, Received: 2011. 10. 13., Revised: 2012. 4. 25., Accepted: 2012. 6. 1.

있어, 석면의 긴 잠복기를 고려할 때 직업성, 환경성 노출에 의한 건강문제는 지속적으로 증가 할 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 석면에 관한 연구는 계속적으로 이루어져야 할 부분이다(강동욱, 2009).

국내에 보고된 석면에 관한 연구는 석면광산, 석면취급사업장으로부터의 직업성 노출 및 석면이 사용된 건축물에 대한 석면 노출을 중심으로 한 연구가 대다수이며(윤임중 등, 1993; 박정임 등, 1995; 박동욱 등, 2009), 일반대기중이나 건축물 자재내 석면 노출에 관한 조사가 이루어지지 않은 다중이용시설 등에서 석면노출과 관련된 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 실내외 공기 중 총섬유 입자의 농도 및 석면 입자의 특성을 파악하기 위하여 경남지역의 소재 학교교사 748개소 및 다중이용시설 38개소를 대상으로 실내공기 중 섬유상 입자의 농도를 조사하였으며, 실외공기 중 섬유상 입자의 농도는 용도에 따라 주거, 상업, 공업지역, 고속도로변, 건축물 해체 작업장 주변으로 나누어 조사가 이루어졌다. 또한, 실내외 공기 중 대표 시료 총15개를 선정하여 석면과 비석면의 구분이 가능한 주사전자현미경법(SEM/EDX)을 이용하여 석면/비석면 입자를 판별하였다.

특히, 본 연구에서는 석면과 섬유의 구분이 어려운 위상차현미경법(PCM)을 통해 관찰된 섬유상 입자는 “총섬유 입자”라 하였고 주사전자현미경법(SEM/EDX)을 통해 석면으로 확인된 섬유상 입자에 대해서만 “석면”이라 명시하였다.

II. 연구방법

1. 시료채취방법

1) 실내공기중 시료채취방법

본 연구에서는 2009년 경남지역의 학교 748개 지점에 대하여 각 시군 교육청에서 학교별 1개 지점에서 채취하고 본 실험실로 보내온 748개 시료를 분석 대상으로 하였다.

한편, 교육과학기술부의 학교석면 실태조사 및 관리메뉴얼에 의하면 학교내 석면의 시료채취는 건립 시기가 오래되고 석면함유자재의 사용 가능성이 있는 교실, 특별실 등에서 시료를 채취하도록 되어있다(교육과학기술부, 2009).

다중이용시설의 경우 2008년부터 2009년까지 경

남지역 소재 병원 21개소, 대형상가 2개소, 지하상가 1개소, 지하주차장 2개소, 박물관 1개소, 도서관 1개소, 찜질방 5개소, 보육시설 5개소 등 총38개소에서 시설별 2개 지점씩 총76개 시료를 채취하였다.

시료채취 방법은 환경부의 ‘실내공기질공정시험기준’에 준하여 직경 25 mm, 공극 0.8 μm 멤브레인 필터(asbestos cassette, SKC사)를 사용하여 지상 1.5~2.0 m이내에서 흡입유량 10 L/min으로 포집하였다(환경부, 2004).

2) 실외공기중 시료채취방법

일반대기중 시료는 2010년 4월부터 10월까지 진주시 지역별 특성에 따라 주거지역 2개 지점, 상업지역 2개 지점, 공업지역 2개 지점, 고속도로변 2개 지점 등 총8개 지점에서 각 3회씩 시료를 채취하였다. 그리고 기타 건축물해체작업장 주변지역 3개 지점에서 각1회씩 시료를 채취하여 일반대기중에서 총 27개 시료를 채취하였다. 채취방법은 실내공기중 시료채취방법과 동일하게 수행되었다.

2. 시료분석방법

1) PCM분석법

시료는 ‘실내공기질공정시험기준’의 주시험법인 위상차현미경법(phase contrast microscopy, PCM)을 사용하여 섬유상 입자를 계수하였다. 위상차현미경법(CX31, Olympus사)은 먼저 포집된 필터를 1/4로 절단한 후 아세톤 증기장치를 이용하여 필터를 투명화 시킨다. 투명화 된 필터는 트리아세틴을 2~3방울 적하하여 슬라이드에 필터를 고정시킨 후 광학현미경 400배율에서 섬유상 입자를 계수하였다.

석면을 분석하는데 가장 먼저 고려되는 것은 분석 대상 물질의 모양(Morphology)이다. 이는 석면이 섬유상 형태를 가지며, 분석 방법에 따라 별도의 기준을 가지기 때문이다. 목적에 따라 현미경을 사용하여 입자의 ‘길이 대 지름 비(aspect ratio)’, 섬유의 형태가 곡선형으로 굽어 있는지 혹은 바늘과 같이 날카로운 직선형인지 여부, 섬유의 다발로 이루어져 있는지 여부 등을 관찰한다. 섬유의 형태가 곡선형으로 굽어 있는 직선형인지 여부를 관찰하여 사문석계의 석면인지 각섬석계의 석면인지를 구분하여 유추할 수 있다(임호주, 2009). 따라서 섬유상입자의 계수방법은 포집입자 중 길이 5 μm 이상, 길이와 폭의

비가 3:1이상인 섬유상 입자를 단섬유(single), 가지가 벌어진 섬유(branch), 입자 부착 섬유(bundle), 형클어져 다발을 이루는 섬유(debris)의 4가지 형태로 구분하여 계수하였다(환경부, 2004).

2) SEM/EDX분석법

섬유상 입자의 물리화학적 특성을 파악하여 실제 석면 여부를 확인하고자 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)과 함께 입자의 화학조성 분석이 가능한 에너지 분산형 X선 분석장치(Energy Dispersive using X-ray analysis, EDX)를 탑재하여 분석하였다.

사용된 SEM은 Jeol사의 JSM-5600LV이며 EDX는

Oxford사의 INCA Energy를 사용하였다. SEM은 가속전압 15 kV, working distance는 21 mm, 배율은 개별 입자의 크기와 해상도를 고려하여 관찰하였으며 EDX분석은 live time 100 sec에서 실시하였다.

III. 결 과

1. 실내공기중 섬유상 입자의 농도특성

1) 학교시설

경남지역 학교교사 총748개소를 대상으로 학교교사내 공기중 총섬유 입자의 농도특성을 조사한 결과, 평균농도가 0.0011 ± 0.0007 개/cc로 나타났다.

Table 1. Concentrations of total fiber particles at schools in indoor air by PCM

		Sites of sampling	Mean±SD (f/cc)	Range (f/cc)	
Total (748 sites)	Total	748	0.0011±0.0007	0.0002~0.0050	
	Facilities	science room	93	0.0010±0.0006	0.0002~0.0037
		library	61	0.0010±0.0006	0.0002~0.0023
		art room	35	0.0012±0.0007	0.0002~0.0030
		music room	33	0.0009±0.0006	0.0002~0.0024
		computer room	63	0.0011±0.0007	0.0002~0.0026
		unclassified	463	0.0011±0.0007	0.0002~0.0007
	Construction year	~1969	20	0.0013±0.0006	0.0003~0.0023
		1970~1979	82	0.0012±0.0005	0.0002~0.0033
		1980~1989	60	0.0012±0.0006	0.0003~0.0032
		1990~1999	55	0.0012±0.0007	0.0002~0.0032
		2000~	28	0.0011±0.0007	0.0002~0.0022
		unclassified	503	0.0010±0.0007	0.0002~0.0050

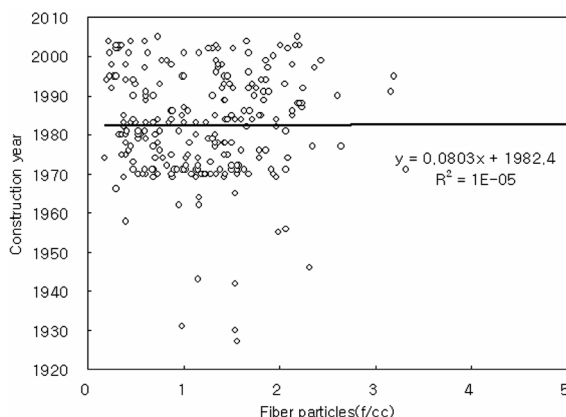


Figure 1. Comparison of construction year and fiber particles concentrations at schools.

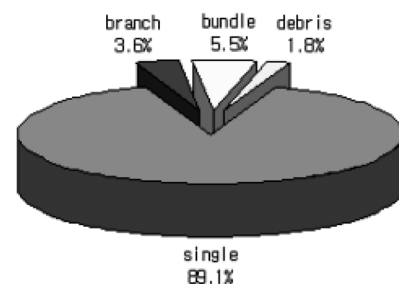
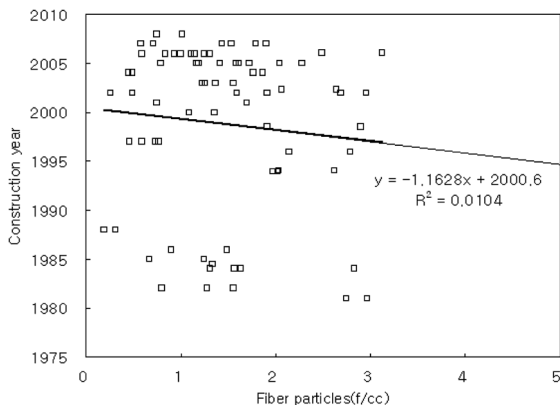


Figure 2. Shape classifications of fiber particles at schools.

Table 2. Concentrations of total fiber particles at public facilities in indoor air by PCM

		Sites of sampling (Samples)	Mean±SD (f/cc)	Range (f/cc)	
Total (38 sites)	Facilities	hospital	21(42)	0.0015±0.0008	0.0003~0.0031
		shopping center	2(2)	0.0018±0.0006	0.0013~0.0026
		underground shop	1(2)	0.0003±0.0001	0.0002~0.0003
		Indoor parking	2(2)	0.0011±0.0004	0.0004~0.0007
		museum	1(2)	0.0015±0.0002	0.0013~0.0016
		library	1(2)	0.0024±0.0007	0.0019~0.0029
		Jimjil-bang	5(10)	0.0015±0.0006	0.0006~0.0026
		nursery	5(10)	0.0012±0.0006	0.0004~0.0020
	Construction year	1980~1989	8(16)	0.0014±0.0008	0.0002~0.0030
		1990~1999	6(12)	0.0017±0.0009	0.0005~0.0029
2000~		24(48)	0.0014±0.0007	0.0003~0.0031	
Total		38(76)	0.0015±0.0007	0.0002~0.0031	

**Figure 3.** Comparison of construction year and facilities fiber particles concentrations at public

다음 Table 1에서는 학교 교사의 사용목적에 따라 용도별, 건축년도별로 분류하여 총섬유 입자의 농도 특성을 정리하였다.

사용목적에 따라 교사를 분류한 결과 과학실 0.0010±0.0006 개/cc, 도서관 0.0010±0.0006 개/cc, 미술실 0.0012±0.0007 개/cc, 음악실 0.0009±0.0006 개/cc, 컴퓨터실 0.0011±0.0007 개/cc, 일반교실 0.0011±0.0007 개/cc의 농도로 교사용도에 따른 큰 차이는 보이지 않았다. 건축년도에 따른 섬유상 입자의 농도특성은 1960년대 이전 0.0013±0.0006 개/cc, 1970년대 0.0012±0.0005 개/cc, 1980년대 0.0012±0.0006 개/cc, 1990년대 0.0012±0.0007 개/cc, 2000년대 이후 0.0011±0.0007 개/cc로 나타났으며 Figure 1에서와 같이 학교 건축물의 건축년도에 따른 총섬유 입자와의

상관관계는 거의 없는 것으로 나타났다. 정확한 건축년도를 알 수 없는 교사에 대해서는 별도로 분류하였다.

Figure 2은 PCM법으로 관찰된 섬유상 입자를 섬유 형태별로 구분하여 나타낸 분포도이다. 섬유형태에 있어서는 단섬유형태가 89.1%로 가장 많은 비중을 차지하며 그 밖에 가지가 벌어진 섬유류, 입자부착 섬유류 및 다발을 이룬 섬유류가 일부 발견되었다.

2) 다중이용시설

다중이용시설 38개소의 실내공기중 총섬유 입자의 농도특성을 조사한 결과, 총섬유 입자의 평균농도는 0.0015±0.0007 개/cc로 나타났다.

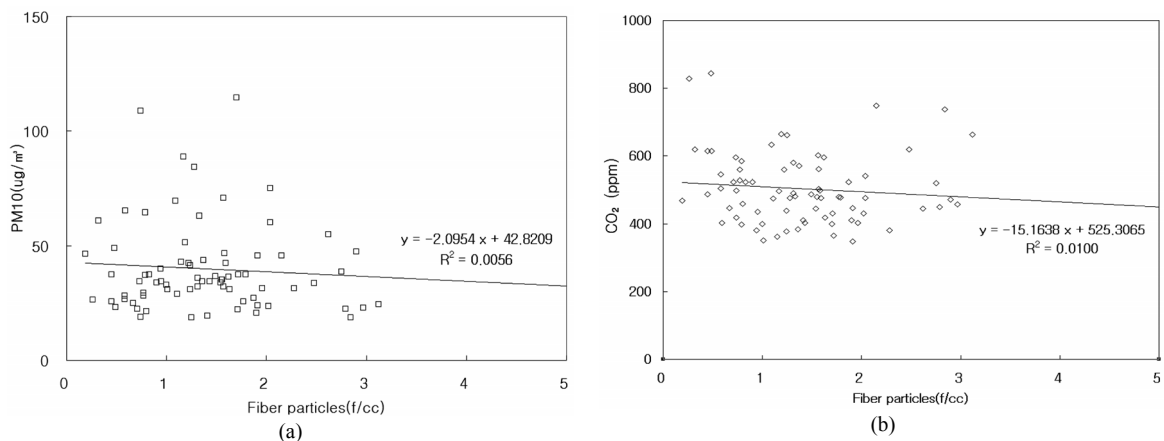
시설별에 따른 총섬유 입자의 농도 특성은 Table 2에서 나타난 바와 같이 병원 0.0015±0.0008 개/cc, 대규모점포 0.0018±0.0006 개/cc, 지하상가 0.0003±0.0001 개/cc, 실내주차장 0.0011±0.0004 개/cc, 박물관 0.0015±0.0002 개/cc, 도서관 0.0024±0.0007 개/cc, 점질방 0.0015±0.0006 개/cc, 보육시설 0.0012±0.0006 개/cc 등으로 지하상가를 제외하고 거의 비슷한 농도 수준을 보였다.

섬유의 형태별에 따른 입자의 농도는 단섬유가 86.7%로 대부분을 차지하였다.

한편, Figure 3에서 다중이용시설의 건축년도와 총섬유 입자 농도와의 상관관계를 살펴보면 다중이용시설의 경우 회귀 기울기가 -1.1628로 학교 건축물에 비해 다소 건축년도가 오래될수록 섬유상 입자의 농

Table 3 Concentrations of total fiber particles in outdoor air by PCM

		Sites of sampling (Samples)	Mean±SD(f/cc)
residential area	roadside	1(3)	0.0008±0.0001
	non-roadside	1(3)	0.0007±0.0000
commercial district	roadside	1(3)	0.0007±0.0003
	non-roadside	1(3)	0.0005±0.0002
industrial area	roadside	1(3)	0.0009±0.0001
	non-roadside	1(3)	0.0008±0.0002
expressway		2(6)	0.0005±0.0001
building destruction working		3(3)	0.0008±0.0001
Total		11(27)	0.0007±0.0002

**Figure 4.** Comparison of PM10, CO₂ and total fiber particles at public facilities.

도가 높아지는 경향을 보였다.

Figure 4에는 총섬유 입자와 실내공기오염물질인 PM10, CO₂농도와 상관성을 나타냈다. PM10은 실내공기오염물질 중 대표적인 입자상 물질이며, CO₂의 경우 실내환기의 적정상태를 확인하는 지표로 사용된다. 총섬유 입자와 PM10, CO₂농도를 동시에 측정함으로써 총섬유 입자에 대하여 입자상 물질인 PM10과 환기와의 연관성을 파악하고자 하였으나 PM10, CO₂, 총섬유 입자간의 특별한 상관성은 나타나지 않았다.

2. 실외공기중 섬유상 입자의 농도특성

진주시내의 일반대기중에서 주거지역, 상업지역, 공업지역, 고속도로 주변, 기타 건축물해체작업장 주변을 대상으로 총27개 시료를 분석하였다. 한편 국내에 사용된 석면함유제품 중 건축자재인 슬레이

트를 제외한 약 8.5%가 차량용 브레이크 라이닝 또는 패드에 사용된 점을 미루어 보아 노후된 차량에서도 석면입자가 발생 될 가능성이 있다. 이에 주거지역, 상업지역, 공업지역, 고속도로 주변에 대하여 각 지점을 도로변과 비도로변으로 구분하여 조사하였다. 그 결과 주거지역의 도로변에서는 0.0008±0.0001 개/cc, 비도로변 0.0007±0.0000 개/cc, 상업지역의 도로변 0.0007±0.0003 개/cc, 비도로변 0.0005±0.0002 개/cc, 공업지역의 도로변 0.0009±0.0001 개/cc, 비도로변 0.0008±0.0002 개/cc 등으로 도로변과 비도로변의 총섬유상 입자의 농도차이가 비교적 크게 나타나지는 않았다. 그 밖에 고속도로 주변은 0.0005±0.0001 개/cc, 건축물해체작업장 주변은 0.0008±0.0001 개/cc의 농도가 나타났다.

섬유의 형태별에 따른 입자의 계수를 비교한 결과 단섬유가 84.8%로 대부분이었다.

Table 4. Asbestos ratio of total fiber particles

Sites	Fibers by SEM (f)	Asbestos by SEM/EDX (f)	Asbestos ratio (%)	
Indoor samples (n=6)	I-1	26	1	3.8
	I-2	26	0	-
	I-3	34	0	-
	I-4	27	0	-
	I-5	41	4	9.8
	I-6	41	1	2.4
Outdoor samples (n=9)	O-1	19	0	-
	O-2	11	0	-
	O-3	16	0	-
	O-4	24	1	4.2
	O-5	36	1	2.8
	O-6	36	0	-
	O-7	38	0	-
	O-8	23	1	4.3
	O-9	25	1	4.0

3. SEM/EDX법에 의한 석면 및 비석면 확인

위상차현미경법의 경우 입자의 섬유상 형태를 확인할 수 있으나 석면과 비석면을 구분할 수 없다. 이에 보다 정확하고 미세한 크기의 석면을 식별하기 위하여 SEM/EDX분석법을 사용하였다. 먼저 SEM/EDX분석법을 이용하여 백석면(chrysotile), 갈석면(amosite), 청석면(crocidolite), 직섬석석면(anthophyllite), 투각섬석석면(tremolite), 양기석석면(actinolite) 등 6종의 석면 표준시료와 유리섬유(glass fiber), 암면(rock wool) 등 2종의 유사석면 표준시료에 대한 물리화학적 특성을 검토하였다. 석면은 규산염 광물로 기본구조가 SiO_2 이고 주요원소성분에는 Na, Mg, Ca, Fe 등으로 구성되어 있으며 최영아 등(2007)은 SEM/EDX분석법의 물리화학적 정보를 참고로 주요 5가지 원소(Na, Mg, Al, Ca, Fe)들과 Si의 비율로서의 석면과 비석면 섬유에 대한 오염원 분류기법을 보고하고 있다.

이를 참고하여 본 실험실에서 석면/비석면 오염원 분류표를 작성한 결과, 백석면의 경우 Mg/Si비가 0.86, 갈석면 Fe/Si비가 0.50, 청석면 Na/Si비가 0.22 등으로 나타났으며, 유리섬유는 Na/Si비가 0.24 및 Ca/Si비가 0.12 그리고 암면은 Ca/Si비가 0.82 및 Al/Si비가 0.38 등의 특성을 나타내었다. 이러한 석면 표준시료에 대한 SEM/EDX분석법에 의한 물리

화학적 특성 및 Si와 주요 구성 원소성분들과의 구성비 등의 정보를 통해 석면과 비석면을 구분할 수 있었다.

Table 4는 실내의 공기 중 총 15개 시료에 대하여 SEM/EDX분석법을 활용하여 SEM에서 관찰된 섬유상 입자 중 석면이 포함하는 비율을 나타낸 것이다. SEM의 경우 PCM에 비해 분해능이 높으나 입자의 형태, 길이 등 물리적 특성만 관찰이 가능하다. 이에 물질의 화학적 특성분석이 가능한 EDX를 함께 장착하여 석면입자를 확인하였다. 먼저 SEM의 이미지상으로 섬유상 형태를 가지는 입자를 계수한 후 EDX를 이용하여 입자의 화학조성을 확인하여 석면과 비석면 입자를 구분하였다. SEM의 섬유상 입자의 계수는 PCM법과 동일한 방법으로 섬유상 입자를 계수하였다.

그 결과, SEM으로 관찰된 섬유상 입자는 최대 41개까지 계수되었으나 이를 EDX를 이용하여 화학조성을 확인한 결과 약 90% 이상이 유리섬유 또는 유기탄소 형태인 비석면의 화학조성으로 가지는 것으로 확인되었다. 학교교사 및 다중이용시설의 실내공기 중 시료의 일부에서 투각섬석석면(Tremolite) 및 직섬석석면(Anthophyllite)이 발견되었으며, 건축물해체작업장 주변의 실외 공기 중 시료에서 청석면(crocidolite)이 일부 발견되기도 하였다.

IV. 고 찰

석면 노출로 인한 피해를 최소화시키기 위해서는 가장 먼저 주변에 존재하는 석면발생량의 파악이 중요하다.

본 연구에서 경남지역 학교교사 및 다중이용시설의 실내공기중 총섬유상 입자의 농도를 살펴본 결과 학교 교사의 경우 평균농도가 0.0011 ± 0.0007 개/cc, 다중이용시설의 경우 평균농도가 0.0015 ± 0.0007 개/cc로 나타났다. 이는 과학기술부의 학교실내공기질 관리기준과 환경부의 실내공기질 관리기준인 0.01 개/cc이하로 기준치를 모두 만족한 결과이다.

한편, 기존 연구에서 손종렬 등(2006)은 전국 유치원, 초,중,고등학교 55개소의 학교 교사내 환경위생 및 식품위생 실태조사를 한 결과, 공기 중 섬유상 먼지가 검출한계이하로 나타났다. 박화미 등(2007)은 공공시설 35개 시료 및 학교시설 44개를 대상으로 공기 중 섬유상 물질의 노출농도를 조사한 결과, 공공시설의 전체 농도범위는 검출한계 이하~0.017 개/cc였으며, 학교시설의 전체 농도범위는 검출한계 이하~0.012 개/cc의 농도로 본 연구와 비슷한 농도 수준을 보였다.

한편, 백남원 등(1989)은 중학생 교실내의 공기중 분진농도를 계절별, 시간별, 실내활동별, 도시 농촌별 및 기타 여러 가지 특성별로 측정하여 분진발생의 추이를 파악하고 있다. 박원석 등(2003)은 대상건물의 환기방식을 조사하여 환기방식에 따른 실내공기 중 섬유상 물질의 농도특성을 파악하였으며 그 결과 기계적인 환기방식을 택한 건물이 자연환기방식을 택한 건물보다 낮은 농도분포를 보이는 것을 알 수 있었다. 김중현 등(2002)은 지하상가에서 발생하는 섬유상 입자를 계절별, 시간대별 농도 분포, 기상인자간의 상관관계를 토대로 검토 하였으며, 섬유상 입자의 농도는 여름, 봄, 겨울, 가을 순으로 높은 농도를 보였다. 이와 같이 실내공기중 총섬유 입자의 농도 특성을 파악하기 위해서는 입자의 영향을 줄 수 있는 다른 실내오염인자들과의 상관관계 및 대상건축물의 특징 등에 대하여 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 건축물의 건축년도에 따른 총섬유 입자와의 상관관계를 살펴보았다. 다중이용시설의 경우 회귀 기울기가 -1.1628로 학교 건축물에 비

해 건축년도가 오래될수록 섬유상 입자의 농도가 높아지는 경향을 나타내었으나, 박화미 등(2007)의 보고에서 지적인 바와 같이 대상시료가 전체를 대표할 수 없는 조사시료 숫자로 판단하기에는 한계가 있어 보인다. 또한 본 연구에서 조사한 대상건축물의 실제 석면을 사용하였는지 여부를 알지 못하는 상황이므로 오래된 건축물일수록 섬유상 입자의 농도가 높아진다는 단정적인 결론을 내리기에는 어려움이 있었다. 향후 다중이용시설내에 사용된 건축자재의 석면함유 여부를 확인하는 것과 동시에 충분한 연구대상수의 확보를 통하여 건축년도에 따른 섬유상 입자와의 상관관계를 파악한다면 좀 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

일반대기중 총섬유 입자의 평균농도는 0.0007 ± 0.0002 개/cc이며 고속도로변의 경우 먼지 포집량이 다른 지점에 비해 상대적으로 높게 나타났으나 총섬유 입자의 농도에는 영향을 미치지 못하였다. 2007년 일본에서 일반대기중의 총섬유상 입자의 농도특성을 조사한 바에 의하면 주거지역에서 0.0005 개/cc, 상공업지역 0.0006 개/cc, 고속도로변 0.0011 개/cc, 건축물해체작업장 주변 0.0008 개/cc로 고속도로변을 제외한 지점 모두 본 연구와 유사한 농도특성을 보였다(環境省, 2007).

본 연구는 총섬유 입자에 대한 석면 및 비석면 여부를 판별하기 위해 SEM/EDX분석법을 이용하여 6종의 석면 표준시료와 2종의 유사석면 표준시료에 대한 물리화학적 특성을 검토하여 석면 표준시료에 대한 물리화학적 특성 및 Si와 주요 구성 원소성분들과의 구성비 등의 정보를 통해 석면여부를 판단할 수 있었다.

SEM을 통한 관찰시 화면상에 나타난 섬유상 입자의 형태는 앞서 분석한 석면표준물질에서 관찰된 입자의 형태와 매우 흡사하였다. 그러나 이러한 섬유상 입자에 대하여 입자의 화학조성 분석이 가능한 EDX로 분석한 결과, 형태는 석면과 흡사하나 화학조성에서 비석면 입자로 확인되었다. 관찰된 섬유상 입자의 대부분은 석면의 기본 구성성분이 없거나 C(탄소)의 함량이 높게 나타나 펄프나 유기질 섬유물질에 해당하는 비석면 입자로 확인되었다. 이 중 대부분은 현재 석면대체섬유로 많이 사용되는 유리섬유와 암면으로 형태와 화학조성면에서 석면과 매우 유사한 특징을 보였다.

석면대체섬유는 인조광물섬유로 유리, 암석, 기타 광물로부터 제조되는 비결정성의 규산화합물이다(신용철 등, 2005). 일반적으로 알려진 인조광물섬유의 건강영향은 피부자극작용이며, 섬유에 노출되었을 때 나타나는 일반적인 증상은 가려움증이다. 유리섬유는 피부뿐 만 아니라 눈, 상기도에도 자극을 유발할 수 있다(Bender et al., 1991; Kojokla et al., 1992). 인조광물섬유의 유해성은 섬유의 크기 특성과 개수농도와 관련성이 있으며(신용철 등, 2005), 건축재료로 사용된 비석면 섬유의 비산은 건축물의 노후나 마감불량, 수선과정, 환기상태, 청소빈도 등의 원인에 의해 발생할 수 있으며, 이를 통해 재실자의 호흡기에 영향을 줄 수 있다(김강운 등, 2005). 석면대체품으로 개발된 유리섬유와 암면섬유 같은 인공광물섬유들에 대한 끊임없는 유해성 논란을 고려하였을 때 석면뿐만 아니라 비석면에 대한 적절한 관리와 감시도 중요시되어야 할 것이다.

이중 일부 학교시설 및 일반대기중에서는 석면으로 추정되는 입자가 검출되었다. 실내공기중 투각섬석석면(Tremolite)가 검출된 학교교사의 경우 건축연도가 1977년이며, 직섬석석면(Anthophyllite)가 검출된 학교교사는 1943년에 개교되었다. 투각섬석석면(Tremolite), 직섬석석면(Anthophyllite)은 2003년 이후 사용이 금지된 석면물질로서 국내에서는 거의 사용하지 않는 물질이다. 그러나 투각섬석석면(Tremolite)의 경우 충남 보령지역에서 발견되는 석면으로 이 지역의 석면 광산은 2006년까지 일부 채굴한 기록이 남겨진 것으로 보아 학교시설에 일부 사용되었을 가능성이 높다. 투각섬석석면(Tremolite)의 경우 광물입자의 결정도가 좋고 입자의 미세함으로 인해 일반적으로 유해성이 가장 큰 것으로 알려진 청석면(crocidolite)보다 유해성이 높은 것으로 알려지고 있다(Stanton MF et al., 1981). 석면입자가 검출된 학교시설의 경우 향후 건축자재의 고형시료에 대한 검증분석이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 건축물해체작업장에서는 독성이 높은 청석면(crocidolite)이 검출되었다. 청석면(crocidolite)의 경우 석면중에서도 폐암과 악성중피종을 가장 많이 유발시키는 물질로써 1995년 이후 금지된 물질이다. 검출된 석면의 수는 적으나 저농도의 석면에도 장기간 폭로되면 중피종과 그 밖의 암을 일으킬 수 있다. 건축물의 철거 및 해체 작업시에는 건축물내 석면함

유자재의 사용에 대한 정확한 조사가 이루어진 다음 해체작업이 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

실내외 공기 중 총섬유 입자의 농도 특성 조사 및 석면입자의 확인을 위하여 석면분석 주시험법인 PCM법을 이용하여 경남지역 소재 학교교사 748개소 및 다중이용시설 38개소의 실내공기, 그리고 일반대기중 11개 지점 등 실내외 공기 중 섬유상 입자의 농도 특성을 파악하였다. 또한, SEM/EDX분석법을 활용하여 석면 표준시료에 대한 물리화학적 특징을 조사한 것을 바탕으로 실내외 대표 시료 15개의 석면 유무를 확인하였다.

1) 실내공기중 총섬유 입자의 평균농도는 학교 교사내 0.0011 ± 0.0007 개/cc, 다중이용시설 0.0015 ± 0.0007 개/cc로 실내공기질 기준농도(0.01 개/cc) 이하로 나타났다. 섬유상 형태는 단섬유가 약 90 % 대부분을 차지하였다.

2) 실내공기 중 건축연도에 따른 섬유상 입자의 농도는 다중이용시설의 경우 다소 건축연도가 오래될수록 섬유상 입자의 농도가 높아지나 학교 건축물의 경우 건축연도와 상관계수가 거의 없는 것으로 나타났다.

3) 실내공기중 PM₁₀, CO₂농도에 따른 섬유상 입자 농도의 상관관계를 살펴본 결과 특별한 상관성이 나타나지 않았다.

4) 실외공기중 총섬유 입자의 평균농도는 0.0007 ± 0.0002 개/cc로 나타났으며 실내공기중 평균농도보다 비교적 낮게 나타났다. 건축물해체작업장의 농도가 도로변 농도와 비슷하게 나타났으며 지역별, 도로변과 비도로변에 따른 총섬유 입자의 농도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

5) SEM/EDX분석법에 의한 석면표준물질과 유사 석면에 대한 물리화학적 특성을 살펴본 결과 석면은 실타래, 가늘고 긴 바늘 모양 등 다양한 형태로 비석면인 유리섬유나 암면에 비해 비교적 폭이 작았다.

6) 총섬유 입자의 농도가 상대적으로 높게 나타난 실내 6개, 실외 9개 등 대표시료 총 15개를 대상으로 SEM/EDX분석을 한 결과 대부분 형태는 석면과 유사하나 석면과 화학조성이 다른 비석면으로 판별되었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 강동목. 환경성 석면노출의 건강영향. 한국환경보건학회지. 2009;35(2):71-77.
- 교육과학기술부. 학교석면 실태조사 및 관리매뉴얼. 2009.
- 김강운, 최성필, 박남규, 최호춘, 이승민 등. 모 어린이 집에서 발생하는 섬유상 물질의 석면함유여부와 노출수준 조사. 한국대기환경학회 2005 춘계학술대회 논문집. 2005;57-58.
- 박동욱, 최상준, 유충식. 우리나라 석면 취급 산업장 석면 농도에 대한 고찰. 한국산업위생학회지. 2009; 19(3):307-320.
- 박원석, 김윤신, 이철민. 문정숙, 염무종 등. 건물의 실내공기 중 석면 분포 특성. 한국대기 환경학회. 2003 춘계학술대회 논문집. 2003:427-428.
- 박정임, 윤충식, 백남원. 석면방직업 근로자의 석면노출 실태와 과거농도 추정에 관한 연구. 한국산업 위생학회지. 1995;5(1):16-39.
- 박화미, 노영만, 이철민, 김윤신, 이상운 등. 일부공공 및 학교시설에서의 석면 분포특성 조사. 한국실내환경학회지. 2007;4(3):184-193.
- 백남원, 이영길. 중학교 학생들의 분진폭로에 관한 조사연구. 한국환경보건학회지. 1987;13(2):25-33.
- 손종렬, 노영만, 손부순. 국내 일부학교 교실의 실내공기질 평가. 한국환경보건학회지. 2006;32(2):140-148.
- 신용철, 이광용. 인조광물섬유 산업에서 발생된 공기 중 섬유의 크기 분포. 한국산업위생학회지. 2005; 15(3):213-220.
- 안종주. 석면과 환경질환. 한국환경보건학회지. 2009; 35(6):538-541.
- 윤임중, 박정일, 이원철, 임영, 김경아. 석면취급 작업장의 환경 및 근로자에 대한 역학조사. 대한산업 의학회지. 1993;5(1):137-151.
- 일본 환경성. 석면모니터링매뉴얼. 環境省, 水・大氣環境局大氣環境課. 2007.
- 임호주. 고형 및 공기 중 석면 분석방법. 공기 청정기술. 2009;22(1):1-10.
- 정헌준, 백승화, 김중헌. 대전지역 지하상가에서의 석면농도에 관한 연구. 환경관리학회지. 2002; 8(2): 207-215.
- 최영아. 석면과 비석면 섬유의 오염원분류표 및 분류기법개발, 경희대학교 석사학위논문. 2007:15-33
- 환경부. 실내공기질 공정시험법. 환경부고시 제 2004-80호. 2004.
- Artvinli M, Bais YI. Malignant mesotheliomas in a small village in the Anatolian region of Turkey; An epidemiologic study JNCI 1979;63:17-22.
- Bender JR, Konzen JL, Devitt GE. Occupational Exposure Toxic Properties, and Work Practice Guidelines for Fiber Glass. Fairfax, VA, AIHA, 1991.
- Kojola WH and Moran JB. Exposure Limits for Man-Made Mineral Fibers. Position of the Building and Construction Trades Department, AFL-CIO. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1992;7(1):724-733.
- Stanton MF, Layard M, Teqeris A, Miller E, May M. Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous minerals. J Natl Cancer Inst. 1981;67(5):965-975.