

## 다중이용시설 및 학교 교사내 실내공기중 섬유상 입자의 농도 특성

박정호 · 서정민<sup>1)\*</sup>

진주산업대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>부산대학교 지역환경시스템공학과  
(2010년 1월 25일 접수; 2010년 2월 9일 수정; 2010년 2월 24일 채택)

## Characterizations of Airborne Fiber Particle Concentrations in Public Facilities and Schools

Jeong-Ho Park, Jeong-Min Suh<sup>1)\*</sup>

Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

<sup>1)</sup>Department of Regional Environmental System Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

(Manuscript received 25 January, 2010; revised 9 February, 2010; accepted 24 February, 2010)

### Abstract

This study was investigated the characteristics of indoor air concentration of fiber particles in 30 public facilities and 245 schools by PCM (phase contrast microscopy). Also SEM/EDX (scanning electron microscope / energy dispersive using X-ray analysis) was used to obtain physicochemical information of asbestos fiber and to classify asbestos and non-asbestos of fiber particles.

The airborne concentrations of fiber particles were  $0.0009 \pm 0.0009$  counts/mL in public facilities and  $0.0012 \pm 0.0006$  counts/mL in schools by PCM. All the samples were satisfied with the IAQ (indoor air quality) level of 0.01 counts/mL. In classification of 4 type shapes, over 80% of the fiber particles were identified as single fiber type. And this study analysed airborne fiber particles in 4 sites for identifying asbestos of by SEM/EDX. The asbestos fibers in most samples could not be found.

**Key Words :** Indoor air, Fiber particle, Asbestos, PCM, SEM/EDX

### 1. 서론

석면(asbestos)의 어원은 불에 타지 않는 특성 때문에 “불멸의 물건”이란 용어로서 일컬어져 오게 되었다. 석면은 마그네슘과 규소 등을 포함하고 있는 부드러운 섬유상의 천연광물이며, 공업에서 이용되는 섬

유의 총칭 즉, 상업적 분류는 백석면(chrysotile)의 사문석과 청석면(crocidolite) 등 5종류 각섬석으로 총 6종으로 구분되어 진다. 석면은 값이 저렴하고 고풍장력, 친화성, 단열성, 내마모성, 절연성, 내부식성 등 유용한 물리화학적 특성으로 발암성이 문제되기 전까지는 꿈의 물질이라 불리우며, 각종 건축자재와 브레이크라이닝, 석면포, 개스킷, 석면포 등 산업용품에서 일상용품까지 다방면에 널리 사용되어져 왔다(안, 1989; 환경부, 2009; 유, 1993).

그러나 석면은 적절하게 예방하지 않고 장기간 호

\*Corresponding Author : Jeong-Min Suh, Department of Regional Environmental System Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea  
Phone: +82-11-810-4778  
E-mail: suhjm@pusan.ac.kr

흡기를 통해 인체로 들어오게 되면 폭로정도에 따라 15~30년의 잠복기를 거쳐 석면폐, 폐암, 중피종 등 치명적인 건강장해를 유발한다고 국제암연구소(IRAC) 등에서 보고함에 따라 주요 선진국에서는 석면을 규제대상 또는 사용금지 물질로 정하고 있으며, 이에 석면의 소비량은 세계적으로 1985년 이후 급격하게 감소하게 되었다(IARC, 1973; Shinji과 Norio, 2008; Robert, 2006; 강, 2009). 우리나라의 경우에는 1930년 중반부터 1990년까지 석면 총생산량은 약 145 천톤 그리고 2009년부터 석면과 석면함유제품의 사용·제조·유통·수입이 전면금지되기 전까지 약 200 만톤의 석면관련물질이 수입되어 사용되었다(환경부, 2009; 노동부, 2007).

한편, 많은 사람들이 이용하는 다중이용시설이나 학교 교사의 경우 건축자재로 사용된 석면이 건물의 유지보수, 진동, 노후화 등의 문제로 부스러져 실내 공기중으로 비산될 우려가 있으나, 석면에 대한 유지관리 및 체계적인 보수 등의 절차가 미약하였다. 이에 석면의 일반인에 대한 노출과 관련하여 최근 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 및 교육과학기술부의 보건법 등에서는 실내공기중 석면의 농도를 0.01 개/mL 이하로 설정하고 있으며, 공공시설 및 학교 건축물 등에 대한 석면실태조사 및 석면지도 작성을 시행하고 있다(환경부, 2004a; 교육과학기술부, 2009; 관계부처합동, 2010).

그러나 최근 석면의 사용규제 및 유지관리 등에 대한 법제화가 시작되었고 석면에 대한 직업성 노출이나 건축자재의 석면함유 여부 등과 관련된 연구 결과는 많으나 다중이용시설 등에 대한 실내공기중의 환경성 노출과 관련된 연구는 그다지 많지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내공기중의 석면오염 특성을 파악하기 위하여 경남지역 소재 다중이용시설 30개소 및 학교 교사 245개소를 대상으로 위상차현미경(PCM)으로 실내공기질 중 총섬유 입자의 농도 특성을 분석하였고, 전자현미경(SEM/EDX) 분석법을 이용하여 석면 표준시료에 대한 물리화학적 특성 파악을 통한 일부 시설을 대상으로 섬유상 물질의 실제 석면 유무를 확인하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 시료채취

본 연구에서는 2008년도 6월부터 12월까지 병원 17개소, 대형상가 4개소, 실내주차장 2개소, 박물관 1개소, 찜질방 2개소, 보육시설 4개소 등 다중이용시설 30개소에서 환경부 실내공기질공정시험법에 준하여 직경 25 mm, 공극 0.8  $\mu$ m 멤브레인필터(asbestos cassette, SKC사)를 사용하여 흡인유량 1시간동안 10 L/min로 시설별 각 2개 지점에서 총 60개의 석면 시료를 채취하였다(환경부, 2004b). 또한, 다중이용시설에서는 석면 시료의 채취와 더불어 미세먼지(PM10) 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도를 동시에 측정하였다.

학교 245개소에 대해서는 2009년 각 시군 교육청에서 학교별 1개 지점에서 채취하고 본 실험실로 보내온 시료를 대상으로 분석하였다. 한편, 교육과학기술부의 학교석면 실태조사 및 관리메뉴얼에 의하면 학교내 석면의 시료채취는 설립시기가 오래되고 학생수가 많은 학교를 우선 대상으로 천장재, 바닥재, 칸막이, 벽면재 등 석면함유 가능성이 있는 건자재를 사용한 교실, 특별실 등에서 시료를 채취하도록 되어 있다(교육과학기술부, 2009).

### 2.2. 분석방법

채취된 필터는 위상차현미경(phase contrast microscopy, PCM)를 사용하여 섬유상 입자를 형태별로 계수하였다. PCM(CX31, Olympus사) 분석은 채취된 시료 필터를 1/4로 절단 후 슬라이드글라스 위에 얹고 아세톤증기 발생장치를 통해 필터가 투명화된 것을 확인한 후 마이크로 피펫으로 트리아세틴을 2~3 방울 정도 적하한 뒤 커버글라스를 덮고 약 1시간 방치 후 섬유상 입자를 형태별로 계수하였다. 섬유상 입자계수는 길이 5  $\mu$ m 이상이고 길이와 폭의 비가 3:1 이상인 섬유상 입자를 대상으로 단섬유류, 가지가 벌어진 섬유류, 다발을 이룬 섬유류, 입자부착 섬유류 등 4가지 형태별로 분류하여 계수하였다(환경부, 2004b; 環境省, 2007).

또한, 본 연구에서는 석면 표준시료의 물리화학적 특성 파악과 실내공기중 섬유상 입자의 실제 석면 유무를 확인하기 위하여 SEM(JSM-5600LV, Jeol사)에

EDX(INCA Energy, Oxford사)가 부착된 SEM/EDX 분석법을 이용하였다. 특히, EDX는 섬유상 입자에 대한 원소 조성의 정보를 제공하기 때문에 석면 확인에 아주 유용한 분석기법이며(함 등, 2009), SEM/EDX 분석은 채취 필터의 일부를 Au 코팅한 후 가속전압 20 kV, 작동거리(working distance) 20 mm의 분석조건으로 섬유상 입자에 대한 물리화학적 분석을 실시하였다(박과 서, 2005; 최 등, 2007).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 섬유상 입자의 농도 특성

석면 분석방법에는 위상차현미경(PCM), 편광현미경(PLM), 전자주사현미경(SEM), 투과전자현미경(TEM) 등이 있으며, 실내공기질공정시험법의 주시험 방법은 PCM법이 그리고 석면 판독이 불가능한 경우에는 SEM법으로 결정하도록 되어 있다(환경부, 2004b). 그러나 주시험법인 PCM법은 입자의 굴절율 또는 두께가 부분적으로 다른 무색투명한 물체의 각 부분의 투과광 사이에 생기는 위상차를 화상면에서 명암의 차로 바꾸어 형태를 보도록 한 분석법이기 때문에 무기섬유나 유기섬유 등 비석면과 석면 섬유에 대한 구별이 어렵기 때문에 폭로지수(index of exposure)의 방법론으로 이용될 수 있다(함 등, 2009; 최 등, 2007). 따라서 본 연구에서는 PCM을 통해 관찰된 섬유상 입자를 “총섬유 입자”라 하고 SEM/EDX법을 통해 석면으로 확인된 섬유상 입자에 대해서만 “석면”이라 하였다(황, 2009).

Table 1에는 다중이용시설 30개소(시료수 60개) 및 학교 245개소를 대상으로 실내공기질 중 위상차현미경으로 총섬유 입자의 농도 특성을 나타냈다.

우선 PCM법에 의한 실내공기중 총섬유 입자 농도의 기존 연구결과를 살펴보면, 노 등(2007)은 서울시 35개 공공시설에서 평균 0.0003~0.0065 개/mL, 44개 학교 교사에서 평균 0.0017~0.0040 개/mL, 황 등(2009)은 부산지역 지하역사에서 0.0009~0.0024 개/mL, 정 등(2002)은 대전지역 지하상가에서 평균 0.003 개/mL, 하(2004)는 경남지역 지하상가에서 평균 0.0006~0.0025 개/mL 등으로 전반적으로 실내공기질 관리기준인 0.01 개/mL 이하로 보고되고 있다.

본 연구에서는 총섬유의 평균농도가 다중이용시설 0.0009±0.0009 개/mL, 학교 교사내 0.0012±0.0006 개/mL로 실내공기질 기준농도 0.01 개/mL 이하로 나타났다. 또한, 기존 연구결과들과도 비슷한 경향으로 나타났다. 또한, 시설별 평균 농도 특성은 병원 및 보육시설이 0.0011 개/mL, 대형점포 및 주차장 0.0005 개/mL, 짐질방 0.0004 개/mL, 박물관 0.0002 개/mL 등으로 상대적으로 병원 및 보육시설에서 높은 경향이 나타났다. 건축년도별 다중이용시설의 농도 특성은 '80년대에 건축된 시설의 경우 0.0013 개/mL, '90년대 0.0009 개/mL, 2000년대 0.0008 개/mL 등으로 나타났다. 특히 1981년에 건축된 J병원이 0.0049 개/mL로 가장 높았다. 또한 학교의 경우에는 '80년대 이전 및 '80년대 0.0012 개/mL, '90년대 0.0013 개/mL, 2000년대 0.0011 개/mL 등으로 건축년도에 따른 큰 농도 차이는 보이지 않았다. 한편, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 각 시설물별 건축년도와 섬유상 농도와의 상관관계를 살펴보면 다중이용시설의 경우 회귀 기울기가 -0.297로 다소 건축년도가 오래될수록 섬유상 농도가 높아지는 경향이나 학교의 경우에는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 각 건축물의 석면 건축자재 사용여부를 확인 할 수 없었기 때문에 시설별 특성이나 건축년도가 오래된 건물일수록 실내공기중 석면 농도가 높다는 단정적인 결론을 내리기에는 어려움이 있으며, 향후 건축물의 석면 건축자재의 사용여부 등의 확인을 통해서만이 정확한 연관성을 찾을 수 있을 것이다. Fig. 2에는 PCM법으로 관찰된 총섬유 입자농도를 단섬유류 등 4가지 형태적 비율로 나타냈다. 통상 섬유상 입자의 형태는 복잡한 경우가 많기 때문에 계수를 위해서는 판단기준이 필요하며, 실내공기질공정시험법의 PCM 측정법에서는 채취된 먼지의 길이, 길이와 폭의 비 그리고 단섬유류(single), 가지가 벌어진 섬유류(branch), 다발을 이룬 섬유류(bundle), 입자가 부착하고 있는 섬유류(debris) 등 4가지 형태적 분류에 따라 식별하고 있다(환경부, 2004b). 총섬유 입자의 형태적 비율은 다중이용시설 및 학교시설 모두 단섬유류 형태가 80% 이상으로 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, 가지가 벌어진 섬유류, 입자부착 섬유류 및 다발을 이룬 섬유류 등이 미량 관찰되었다.

본 연구에서는 다중이용시설의 경우 총섬유 입자 농도와 실내공기오염물질 농도와의 상관성을 파악하기 위해 석면 시료채취와 동시에 PM10 및 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였으며, PM10은 입자상물질이라는 직접적인 연관성과 CO<sub>2</sub>는 실내환기의 적정상태를 평가할 수 있는 항목으로 고려할 수 있다. Fig. 3에는 30개 다중이용시설 중 섬유상 농도와 미세먼지(PM10) 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도와의 상관성을 표시하였다.

전반적으로 각 측정 항목별 평균농도는 총섬유 농도 0.0009±0.0009 개/mL에 대해, PM10 농도 36.4±14.6 µg/m<sup>3</sup>, CO<sub>2</sub> 농도 518±113 ppm으로 나타났다. 통상 실내공기오염물질은 환기상태 등 다양한 요인에

따라 큰 농도 차이를 고려할 수 있으나(박 등, 2007), 총섬유 농도와의 상관관계는 PM10은 -0.336, CO<sub>2</sub>는 0.139로 나타나 뚜렷한 밀접한 상관관계는 나타나지 않았다. 한편 다양한 실내환경 요인과 석면농도와의 상관성을 보고하는 연구결과는 찾아보기 힘든데, 일부 석면 농도가 여름이 높고 겨울이 낮은 온도 요인에 의한 특성연구와(정 등, 2002) 기계적 환기방식이 자연적 환기방식의 건축물보다 낮은 농도분포를 보인다는 보고(김 등, 2003) 등의 연구결과를 고려한다면 향후 건축물의 석면 건축자재의 사용여부의 확인과 더불어 다양한 실내환경 인자와 석면농도와의 관련성을 좀더 깊게 파악할 필요가 있다고 판단된다.

Table 1. Concentrations of total fiber particles at public facilities and schools

		Numbers of sampling	Mean±SD (counts/mL)
Public Facilities	hospital	34	0.0011±0.0011
	shopping center	8	0.0005±0.0003
	Indoor parking	4	0.0005±0.0005
	museum	2	0.0002±0.0000
	Jimjil-bang	4	0.0004±0.0001
	nursery	8	0.0011±0.0006
	1980~1989	7	0.0013±0.0015
	1990~1999	5	0.0009±0.0006
	2000~	18	0.0008±0.0007
	Sum	60	0.0009±0.0009
Schools	~1979	102	0.0012±0.0005
	1980~1989	60	0.0012±0.0006
	1990~1999	55	0.0013±0.0007
	2000~	28	0.0011±0.0007
	Sum	245	0.0012±0.0006

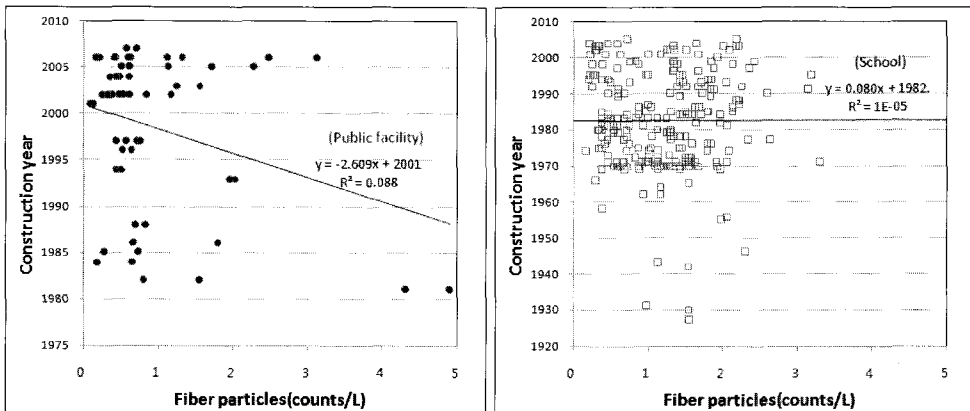


Fig. 1. Comparison of construction year and fiber particle concentrations.

(● : public facility, □ : school)

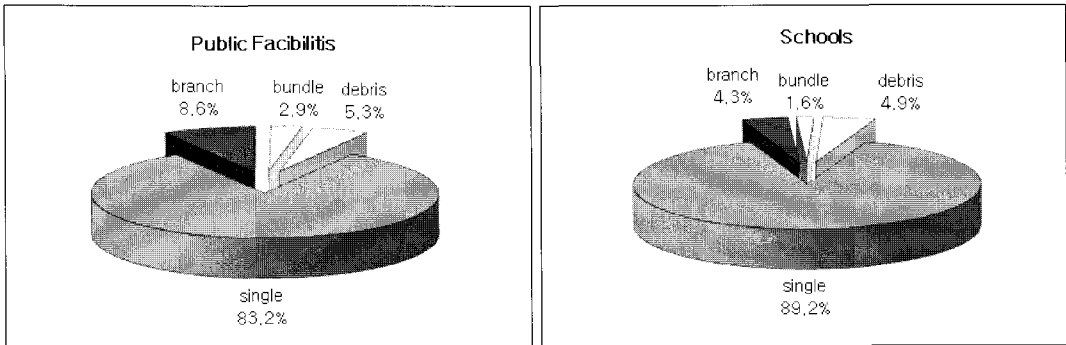


Fig. 2. Shape classifications of fiber particles.

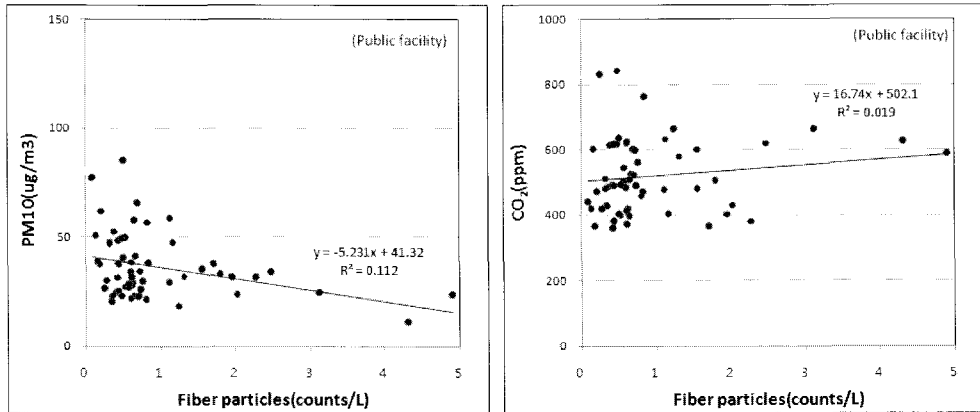


Fig. 3. Comparison of PM10, CO<sub>2</sub> and total fiber particles at public facilities.

### 3.2. 표준 시료의 SEM/EDX 분석

총섬유 입자에 대해 정확한 석면 및 비석면 여부를 판별하기 위해 본 연구에서는 SEM/EDX 분석법을 이용하였으며, 이를 위해 우선 각종 석면 표준시료에 대한 물리화학적 분류 특성을 검토하였다.

Fig. 4에는 백석면(chrysotile), 갈석면(amosite), 청석면(crocidolite), 안소필라이트(anthophyllite), 트레모라이트(tremolite), 악티노라이트(actinolite) 등 6종의 석면 표준시료 그리고 비석면이면서 섬유상 형태인 유리섬유(glass fiber), 암면(rock wool) 등 시료 2종에 대한 SEM/EDX 분석결과를 나타냈다.

전반적으로 석면 표준시료는 형태적 특성에 있어 백석면의 경우 실타래 모양, 갈석면은 가늘고 긴 바늘 모양, 그리고 트레모라이트는 다소 굵은 모양 등의 다양한 섬유상 형태로 폭은 1~5µm 전후가 많았으며, 비석면인 유리섬유 및 암면은 폭이 5µm 전후로 비교적 석

면보다 폭이 굵었다. 또한, 각 표준시료에 대한 물리화학적 특성을 살펴보면, 백석면의 경우 형태적 특성은 유연한 실타래의 긴 곡선상의 섬유 형태를 보이고 있었으며, 화학적 조성은 주성분이 Mg, Si이었으며, Fe, Ca이 미량 함유되어 있었다. 갈석면은 가늘고 긴 바늘 모양으로 끝이 나뭇가지 모양으로 나뉘어져 있는 형태도 보였으며, 주성분은 Si, Fe, Mg이었고 Mn이 미량 함유되어 있었다. 직선의 형태인 청석면의 주성분은 Si, Fe, Na이었고 Mg이 소량 함유되어 있었으며, 안소필라이트는 주성분이 Si, Mg이었고 Fe이 소량 함유되어 있었다. 트레모라이트는 다른 석면에 비해 폭이 다소 굵은 형태로 나타내고 있었고 주성분은 Si, Mg, Ca이었고 Fe이 소량 함유되었으며, 악티노라이트의 주성분은 Si, Mg, Ca이었고 Fe이 소량 함유되어 있었다. 비석면인 유리섬유는 Si, Na, Ca이 주성분 Mg, Al, K이 소량 함유되어 있었고 암면은 Si, Ca, Al,

**Table 2.** Relative ratio of 5 major elements to Si of asbestos and non-asbestos samples

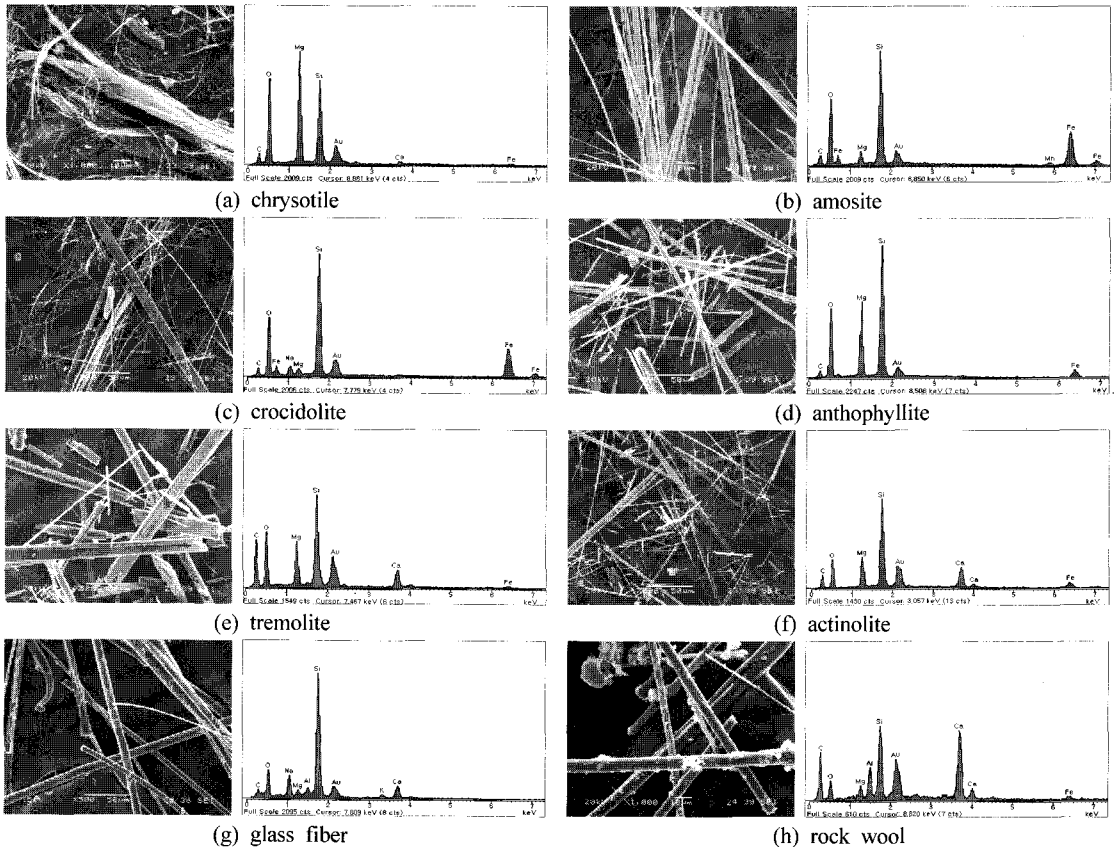
		Average Relative ratios					
		Na/Si	Mg/Si	Al/Si	Ca/Si	Fe/Si	
Asbestos	Chrysotile(4)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	0.00	0.86	0.00	0.01	0.01
	Amosite(3)	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	0.00	0.17	0.00	0.00	0.50
	Crocidolite(4)	$Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$	0.22	0.10	0.00	0.00	0.46
	Anthophyllite(3)	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	0.00	0.51	0.00	0.00	0.12
	Tremolite(5)	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	0.00	0.42	0.01	0.46	0.14
	Actinolite(3)	$CaO_3(Mg,Fe)O_4SiO_2$	0.00	0.39	0.00	0.25	0.10
Non-asbestos	Glass fiber		0.24	0.06	0.05	0.12	0.00
	Rock wool		0.02	0.20	0.39	0.82	0.06

Mg이 주성분 Fe, K이 소량 함유되어 있었다.

Table 2에는 6종의 석면 표준시료와 유리섬유, 암면 등 시료 2종에 대한 Si와 주요 5가지 원소 Na, Mg, Al, Ca, Fe들과의 구성비를 나타냈다.

석면은 규산염 광물로 기본구조가  $SiO_2$ 이고 주요

원소성분에는 Na, Mg, Ca, Fe 등으로 구성되어 있으며(環境省, 2007; 정 등, 2002), 최 등(2007)은 SEM/EDX의 물리화학적 정보를 참조하여 주요 5가지 원소(Na, Mg, Al, Ca, Fe)들과 Si의 비율로서 석면 및 비석면 섬유에 대한 오염원 분류기법을 보고하고

**Fig. 4.** SEM image and X-ray spectra of asbestos(a~f) and non-asbestos(g, h) samples.

있다. 본 연구의 분석 결과에서 백석면은 Mg/Si 비가 0.86, 갈석면 Fe/Si 비가 0.50, 청석면 Na/Si 비가 0.22 등으로 나타났으며, 유리섬유는 Na/Si 비가 0.24 및 Ca/Si 비가 0.12 그리고 암면은 Ca/Si 비가 0.82 및 Al/Si 비가 0.39 등으로 나타났다. 이러한 석면 표준 시료에 대한 SEM/EDX에 의한 물리화학적 특성 및 Si와 주요 구성 금속원소성분들과의 구성비 등의 정보를 통해 석면 유무를 가늠할 수 있었다.

3.3. 섬유상 입자의 SEM/EDX 분석

여기에서는 총섬유 입자의 농도가 상대적으로 높게 나타난 다중이용시설 1개소 및 학교시설 3개소에 대한 다양한 섬유상 입자에 대한 SEM/EDX 분석법으로 실제 석면 유무를 확인하고 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 전반적으로 다양한 섬유상 입자들을 관찰한 결과 대부분 비석면으로 확인되었으나, 학교 1개소에서 석면 추정 입자가 검출되었다.

다양한 섬유상 입자들은 (a) 및 (b)와 같은 형태의 입자들로 주로 관찰되었는데 EDX 분석에서 석면의 기본구성 원소성분이 없거나 C(탄소)의 함량이 높게 나타나 펄프나 유기질 섬유물질에 해당하는 비석면 입자인 것으로 판단되었으며, (c)와 같이 산화알루미늄이나 기타 비석면의 광물입자들도 관찰되었다.

그러나 1943년에 개교한 학교시설 1개소에서 (d)에 나타난 바와 같이 안소필라이트로 추정되는 석면이 검출되었으나, 안소필라이트는 석면물질 중 유해

성이 강한 물질로 '03년 이후 금지물질로 국내에서는 거의 사용치 않는 물질이어서(석면안전관리센터, 2009) 향후 건축자재의 고형시료에 대한 검증분석이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 노 등(2007)은 PCM법으로 공공시설 및 학교 교사내 석면 실내공기질 기준의 50%를 초과한 10개 시료를 SEM/EDX로 분석한 결과 실제 석면은 검출되지 않았다고 보고하고 있는 등 대부분의 연구결과들에서 실내공기중의 총섬유는 비석면이 대부분을 차지하고 실제 석면 오염의 가능성은 매우 낮다고 보고되고 있다(황, 2009; 김 등, 2003; 유와 김, 1996).

4. 결론

본 연구에서는 경남지역 소재 다중이용시설 30개소 및 학교 교사 245개소를 대상으로 실내공기 중 섬유상 입자의 농도 특성과 SEM/EDX 분석법으로 석면 표준시료에 대한 물리화학적 특성 파악을 통한 일부 시설을 대상으로 섬유상 입자의 실제 석면 유무를 확인하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) PCM법을 통한 총섬유의 평균농도는 다중이용 시설 0.0009±0.0009 개/mL, 학교 교사내 0.0012±0.0006 개/mL로 실내공기질 기준농도 이하로 나타났으며, 형태적으로는 단섬유류가 80% 이상 대부분을 차지하고 PM10, CO<sub>2</sub> 농도와의 상관관계는 나타나지 않았다.

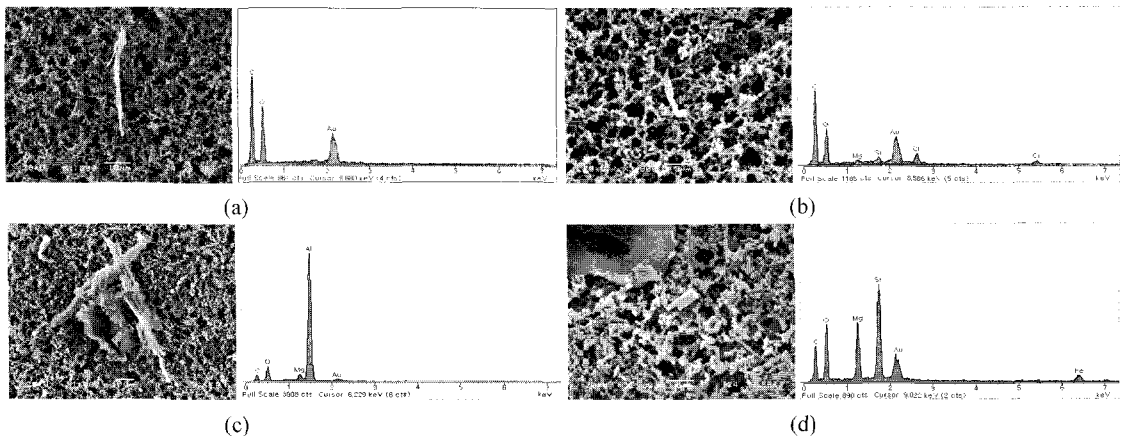


Fig. 5. SEM image and X-ray spectra of fiber particles in indoor air.

- 2) SEM/EDX법에 의한 6종의 석면 및 2종의 비석면 시료에 대한 물리화학적 특성을 살펴본 결과 석면은 실타래, 가늘고 긴 바늘 모양 등 다양한 형태로 비석면인 유리섬유나 암면에 비해 비교적 폭이 작았다. 또한, 화학조성은 주성분의 경우 석면과 비석면간에 차이가 있었고 Si와 주요 구성 금속원소성분들과의 구성비의 정보를 통해 석면 유무를 가늠할 수 있었다.
- 3) 총섬유 입자의 농도가 상대적으로 높게 나타난 4개소에 대한 SEM/EDX법으로 다양한 섬유상 입자들에 대한 석면 유무를 확인한 결과 기존 연구보고서들과 비슷하게 대부분 비석면으로 확인되었다. 그러나 학교 1개소에서는 안소필라이트로 추정되는 석면이 검출되었지만, 안소필라이트는 국내에서 거의 사용치 않는 물질이어서 향후 건축자재의 고형시료에 대한 검증분석이 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2009년도 국립진주산업대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

### 참고 문헌

- 강동욱, 2009, 환경성 석면노출의 건강영향, 한국환경보건학회지, 35(2), 71-77.
- 관계부처합동, 2010, 2010년도 석면관리 종합대책 세부 추진계획.
- 교육과학기술부, 2009, 학교석면 실태조사 및 관리 매뉴얼.
- 김윤신, 이철민, 박원석, 문정숙, 엽무중, 이태형, 2003, 건물의 실내공기 중 석면분포 특성, 한국대기환경학회 2003 춘계학술대회 논문집, 35, 427-428.
- 노동부, 2007, 산업안전보건법 제37조 및 동법시행령 제 29조.
- 노영만, 박화미, 이철민, 김윤신, 이상운, 석미희, 정춘화, 2007, 일부 공공 및 학교시설에서의 석면 분포특성 조사, 한국실내환경학회지, 4(3), 184-193.
- 박정호, 서정민, 2005, 대기 점오염원에서 배출되는 개별 입자상물질의 물리화학적 특성, 한국환경과학회지, 14(8), 761-770.
- 박정호, 정혜미, 양수명, 정성진, 김명중, 서정민, 2007, 다중이용시설에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)의 주요 구성성분, 한국환경과학회 봄학술발표회지, 16(1), 95-96.
- 석면안전관리센터, 2009, <http://info-asbestos.org/>.
- 안종주, 1989, 석면공해-조용한 시한폭탄, 동화기술.
- 유성환, 1993, 건축재료에서 발생하는 석면입자의 특성 연구, 한국대기보전학회지, 9(3), 191-199.
- 유성환, 김현욱, 1996, 전자현미경을 이용한 건물내 비고형 표면자재의 석면 오염 및 기중 석면농도 특성조사, 한국산업위생학회지, 6(2), 165-175.
- 정헌준, 백승화, 김중현, 2002, 대전지역 지하상가에서의 석면농도에 관한 연구, 환경관리학회지, 8(2), 207-215.
- 최영아, 이태정, 김동술, 2007, SEM/EDX를 이용한 석면 및 비석면의 오염원분류표 개발, 한국대기환경학회지, 23(6), 718-726.
- 하권철, 2004, 경남지역 지하생활공간 중 석면 및 라돈의 농도 분포 특성, 한국산업위생학회지, 14(3), 319-324.
- 함승헌, 황성호, 윤충식, 박동욱, 2009, 석면분석방법에 대한 고찰, 한국산업위생학회지, 19(3), 213-232.
- 황진연, 2009, 부산지역 다중이용시설의 석면사용에 대한 환경영향조사 및 개선방안, 부산지역환경기술개발센터, 최종연구보고서 08-2-70-72-1.
- 환경부, 2004a, 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 시행규칙.
- 환경부, 2004b, 실내공기질 공정시험방법, 환경부 고시 제2004-80호.
- 환경부, 2009, 석면관리 총람, 1-19.
- 環境省, 2007, アスベストモニタリグマニユアル, 第3版. International Agency for Research on Cancer (IARC), 1973, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Vol. 2 Some Inorganic and Organometallic Compounds Asbestos, IARC, 17-47.
- Robert, L. V., 2006, Worldwide Asbestos Supply and Consumption Trends from 1900 through 2003, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Circular 1298.
- Shinji, K., Norio, K., 2008, Adverse Health Effects among Residents who Lived near Asbestos Industries, Earozoru Kenkyu, 23(1), 5-9.