

# SEM/EDX를 이용한 실내환경 중 석면섬유의 특성 조사

## Characteristics of the Asbestos Fibers in the Indoor Environment by SEM/EDX

김수환·김동술

경희대학교 환경학과 대기오염연구실 및 환경연구소

### 1. 서 론

석면 (asbestos)은 자연적으로 발생하는 수화된 광물 (무기) 규산염을 일컬으며, 화학적으로 사문석 (serpentine)계열과 각섬석 (amphibole)계열로 크게 나눌 수 있다. 석면의 기본구조는  $\text{SiO}_4$ 이다 (Michaels, 1979). 미국 국립산업안전보건연구원 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 석면을 백석면 (chrysotile), 청석면 (crocidolite), 갈석면 (amosite), 직섬석면 (anthophyllite), 투각섬석면 (tremolite), 또는 양기석면 (actinolite)의 섬유상으로서, 섬유상을 위상차현미경 (PCM)으로 관찰했을 때 길이가  $5 \mu\text{m}$  이상이고, aspect ratio (length to width)가 최소한 3:1 이상인 입자상 물질이라고 정의하고 있다. Ney (1986)에 의하면 전세계 생산되는 석면의 약 95 %가 백석면, 3 %가 청석면, 1.5 %가 갈석면, 나머지 0.5 % 가량이 기타석면이라고 한다.

석면제품의 표면이 손상되면 섬유질이 공기 중으로 방출되고, 공기 중에 오랫동안 잔류하게 되면, 호흡기를 통해 체내로 들어와 석면폐증 (asbestosis), 폐암 및 중피종 (mesothelioma) 등의 질병을 유발한다 (Mattison, 1987). 이중 청석면과 갈석면은 중피종의 원인으로서 백석면보다 더 유해하다고 알려져 있다 (Wagner et al., 1973). 이같은 석면의 위해성 때문에 세계각국은 규제를 강화하고 있다 (AIA, 1987).

석면 분석 방법에는 위상차현미경법 (phase contrast microscopy, PCM), 편광현미경법 (polarized light microscopy, PLM), 전자주사현미경법 (scanning electron microscopy, SEM), 투과전자현미경법 (transmission electron microscopy, TEM), X-선 회절법 (x-ray diffraction, XRD) 등이 있다. 이 방법 중 일반 대기환경과 같은 곳에서는 해상도가 높고 섬유 종류 식별이 용이한 SEM과 TEM이 바람직하다. 이러한 전자현미경 (EM)과 결합한 분석장치로 SAED (selective area electron diffraction)와 EDX (energy dispersive x-ray analyzer)가 주로 사용되는데 섬유 확인 및 규명에 가장 성공적인 기법으로 알려져 있다. 특히 EDX는 섬유 입자의 원소 조성에 대한 정보를 제공하기 때문에 매우 유용하다 (Schreier, 1989).

본 연구에서는 SEM/EDX를 이용하여 석면을 함유한 물질 시료를 분석하여, 석면 및 비석면 섬유의 source profile을 구하고, 전문가 시스템을 활용하여 일반 대기 환경에서 포집된 시료의 섬유를 분류해 내고, 각 환경에서의 석면 오염도와 섬유 특성에 대해 알아보려고 한다.

### 2. 실험 및 분석방법

#### 2.1 시료의 포집

석면과 비석면 섬유의 물질 시료 (bulk sample) 분석을 위해 석면 시멘트 타일과 석면 가스켓, 그리고 유리면 등을 분쇄하여 stub 위에 포집하였다. 또한, 실내환경 중 석면 분석을 위해 생활 환경과 작업 환경으로 나누어, 다세대 주택, 초등학교, 지하상가, 폐차장 등 4곳에서 2회씩 총 8회 시료 포집을 하였다. 석면 포집에 사용된 장치는 minivol portable sampler (Air Metrics Co., Model 4.1)로 5 L/min의 유량으로 8시간 동안 포집하였다. 사용된 여지는 cellulose membrane filter (diameter 47 mm, pore size  $0.2 \mu\text{m}$ , Costar Co.)이고, 포집 후 대시게이터에서 3~4 일간 건조시킨 후 무게를 칭량하였다.

#### 2.2 시료의 분석과정

SEM 분석을 위하여 포집된 필터를 건조시킨 후, 물질 시료 stub와 함께 Au 코팅을 하였다. SEM 분석시, 절연체인 입자에 전하가 쌓이면 상이 찌그러지거나, 입자가 전자빔에 의해 타버려 재비산 되기 때

문에 이를 방지하기 위해서 시료를 전도체인 물질로 코팅하는 것이 필요하다. 코팅된 시료는 표면으로부터 이차전자와 역산란전자의 방출이 커지고, 열에 강해지고, 입자의 부착력이 높아지고, 그리고 전하가 감소되거나 없어지기 때문에 더 나은 영상 분석을 수행할 수 있다 (Lee, 1993).

시료의 분석에 사용된 SEM은 영국 Leica 사의 Cambridge StercoScan 440으로 작동조건은 가속전압 20 kV, working distance 25 mm이다. 분석할 섬유에 대한 대표성을 확보하기 위해 대기공정시험법의 원형 굴뚝에서의 측정점 선정법을 응용하였다. 직경 47 mm의 여자를 측정점 선정법에 의해 8개의 등면적으로 구분하고, 구분된 각 면적마다 측정점을 측정단면에서 서로 직교하는 직경선상에 각 채취점 배열 비율에 따라 측정선상에 동일하게 배열하였다.

오염원 분류표 (source profile)를 작성하기 위한 물리적 변수로 섬유의 길이 (length), 폭 (width), 길이 대 폭 비 (ratio, l/w) 등을 산정하였고, 화학적 변수로 EDX 분석에 사용된 무기원소는 Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn 등 13가지이다.

### 3. 결과 및 고찰

물질 시료 분석에서 대표적인 섬유입자로 나타난 백석먼과 유리섬유의 전자주사현미경 사진과 EDX 스펙트럼을 그림 1에 나타내었다. 물리적 특징에 있어서, 백석먼은 가늘고 긴 섬유 형태로 끝이 갈라져 있고 매우 부드러워 보였으며, 길이는 약 80  $\mu\text{m}$ , 폭은 0.3  $\mu\text{m}$ 로 길이 대 폭 비 (ratio)가 매우 큰 것으로 나타났다. 이에 반해 유리섬유는 표면 자체가 거칠고 불투명하며, 섬유의 직경이 8  $\mu\text{m}$  정도로 비교적 굵고 길이 방향으로 끊어진 모양으로 횡단면으로 부서지기 쉬운 성질을 알 수 있었다.

또한 화학적 조성에 있어서, 백석먼은 Mg와 Si가 전체 성분의 각각 40 % 이상으로 주성분을 이루고, Ca 등이 미량 함유되어 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 유리섬유는 Si가 주성분 (대략 70 %)을 이루고 그밖에 Na, Ca 등으로 구성되어 있으며, 석면을 규명할 수 있는 중요 원소인 Mg는 검출되지 않는 것을 알 수 있었다.

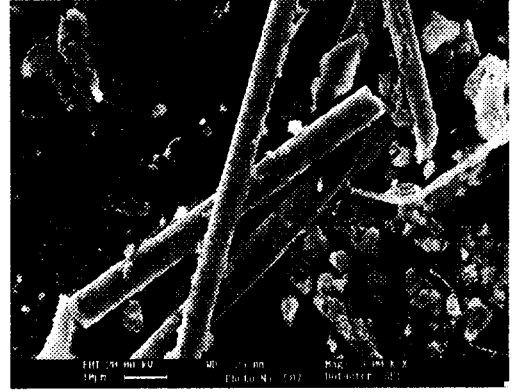
이밖에 물질 시료 분석에서 나타난 석면 및 비석면 섬유의 물리·화학적 변수를 유용한 데이터로 변환한 후, 이를 전문가 시스템에 적용시켜 오염원 분류표 (source profile)를 만들어, 실내 환경에서 포집된 섬유를 분류하였다.

### 참 고 문 헌

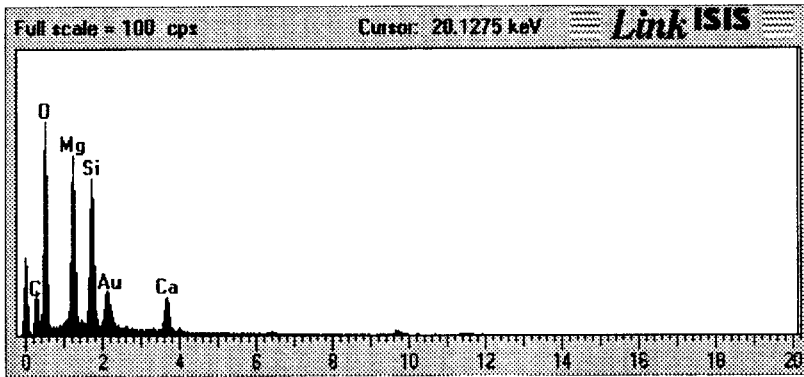
- AIA (1987) Summary of main features of asbestos/Health regulations at the workplace, AIA Information Memorandum (AIM) No. 3, 80 pp.
- Lee, R. E. (1993) *Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis*, PTR Prentice-Hall Inc.
- Mattison, M. L. (1987) *Asbestos and asbestos related diseases*, Asbestos Information Centre.
- Michaels L. and S. S. Chissick (1979) *Asbestos: properties, applications, and hazards*, the Health and Safety Executive Library.
- Ney P. E. (1986) Asbestos in: O. Hutzinger (editor), *The handbook of environmental chemistry. Anthropogenic compounds*, Springer Verlag, N.Y., 3 (Part D).
- NIOSH (1989) *Asbestos fibers in air: Method 7400*, DHHS(NIOSH) Pub.
- Schreier H. (1989) *Asbestos in the natural environment*, Elsevier Science Publishing Co.
- Wagner J. C., G. Berry, and V. Timbrell (1973) Methothelioma in rats after insulation with asbestos and other minerals, *Br. J. Cancer.*, 28: 173-185.



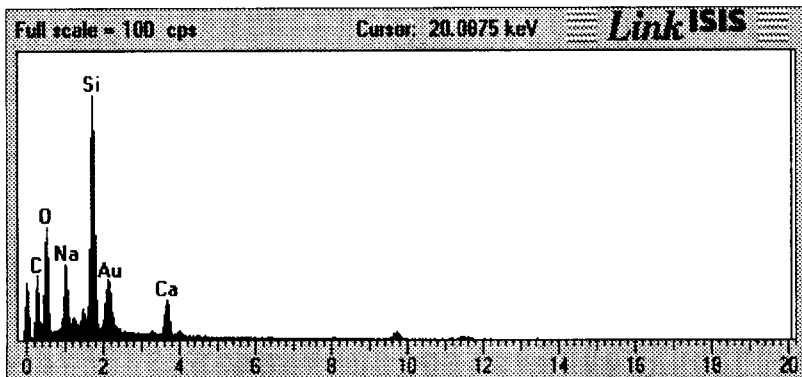
(a) asbestos fiber (chrysotile)



(b) non-asbestos fiber (glass fiber)



(c) asbestos fiber (chrysotile)



(d) non-asbestos fiber (glass fiber)

Fig. 1. Image and x-ray analysis data of asbestos and non-asbestos fiber.