

# 석면과 실내공기 오염

김수환·허정숙·김동술

경 회 대 학 교  
환 경 · 응 용 화 학 부

## 1. 석면은 죽음의 광물인가?

오래 전부터 석면 (asbestos)은 특이하고 광범위한 유용성 때문에 마법의 광물 (magic mineral)이라 불려졌다. 석면은 숨쉬는 공기와 마시는 물에도 존재하며, 의약품, 식료품 등의 제조과정, 가정용품, 건축자재, 전기제품, 자동차, 비행기, 우주선 등 모든 공업제품의 소재로 이용된다. 내열, 내산, 내알카리성이 강하고 섬유성의 강도는 매우 크다 (Dunnigan and Seymoar, 1990). Asbestos라는 명칭은 그리스어의 "αἰθερος"에서 유래한 것으로 "소멸될 수 없다"라는 의미이다. "신비의 광물"의 이면에는 "죽음의 섬유"라는 특성이 잠재한다. 석면은 환경 중에 반영구적으로 존재하며, 이러한 특징으로 인해 석면이 인체에 미치는 독성은 더욱 강화된다. 일단 체내에 들어온 석면섬유는 배출되지 않으며, 끊임없이 세포에 나쁜 영향을 미치면서 최초 폭로로부터 20~40년의 시간 간격을 두고 암을 발생시킨다.

석면의 채광, 제조과정, 이용과정 모두 인체

에 나쁜 영향을 미치는 가장 중요한 오염원이다. 미국과 유럽의 석면산업과 기타 응용분야에서의 석면의 사용은 이미 금지되고 있으나, 대다수 후진국 (러시아, 중국, 동유럽, 아시아, 아프리카 및 남아메리카)에서 석면의 산업공정상 이용 특히, 건설분야에서의 사용은 크게 증가하고 있는 실정이다. 또한, 이들 국가에서 석면의 대기농도는 거의 조사된 바가 없으므로, 이들 국가의 국민들은 항상 위험에 노출되고 있는 상태이다 (Spurny, 2000). 우리나라의 석면 사용은 전량 수입에 의존하고 있으며, 수입되는 석면의 양은 연간 약 8~9만톤이며, 1990년대에 들어와서도 수입량은 크게 줄어들지 않았다. 이는 미국, 유럽 등의 선진외국의 석면 수입량이 1970년대 이후 급격히 줄어든 것과는 대조적인 현상이다 (백남원, 1996).

미국은 1990년부터 1996년까지 3단계에 걸쳐 석면제품의 생산, 수입, 가공을 전면 금지시켰다 (American Lung Association, 1998). 1994년 독일이 석면 사용을 전면 금지한 이후, 이탈리아, 스웨덴, 스위스 등에 뒤이어 프랑스는 유럽

에서 8번째로, 1997년 석면의 생산과 수입, 그리고 석면시멘트 등 석면이 함유된 모든 생산품의 판매도 금지하였다. 우리나라도 1997년 청석면과 갈석면의 수입, 제조 및 사용을 금지하도록 하였다. 그러나, 우리나라는 석면취급 사업장에 대한 석면허용농도는 마련되어 있으나, 석면제품의 사용처에 대한 관리는 거의 이루어지고 있지 않다. 석면은 공기질관리법에 따라 지하생활공간의 공기오염물질로 지정하고 있으나 지상공간에서의 석면은 관리대상에서 제외시키고 있다 (환경포럼, 1998). 또한 실내공간은 환경기준 권고치 0.01개(fiber)/cc만 설정되어 있을 뿐 통합된 실내 공기 기준치는 아직 설정되어 있지 않다 (서울특별시 지하철공사, 1998). 이에 비해 미국은 산업장 근로자를 위한 기준치와 일반 대중을 위한 기준치를 각각 노동성 산업안전보건청 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA)과 환경보호청 (Environmental Protection Agency, EPA)에서 따로 설정·관리하고 있으며, 기준치는 모든 석면종에 대해 각각 0.1개/cc와 0.01개/cc이며, 차후 더욱 강화하려고 하는 등 석면 오염에 대한 심각성을 달리하고 있다.

우리의 석면 노출은 우리가 인식하지 못한 상태로 항상 방치되어 있다는 두려움을 떨쳐버릴 수는 없다. 본 글에서는 석면의 역사, 일반적 특성 및 위해성 등 석면의 실체를 파악하며, 석면의 측정 및 분석법에 대한 기술과 석면에 대한 최근 국내·외 연구동향을 살펴보고, 석면 오염 및 관리 현황을 통해 이에 대한 대책 및 개선 방안에 대해 알아보고자 한다.

## 2. 석면의 역사

석면은 약 4,500년 동안 인류가 사용해 왔다. 인류가 처음 석면을 사용한 것은 기원전 2,500년에 핀란드에서 상인들이 도기제조에 석면을 섞었고, 통나무 오두막집의 갈라진 틈을 메우는 데 이용하였다. 수단 및 북부케냐에서는 석기시대 때부터 석면이 사용되었던 흔적이 있다. 역사시대로 접어들어서는 그리스, 이집트, 중국에서 석면섬유를 사용하여 직포를 짰던 일이 기록되었다. 기원전 5~4세기에 걸쳐 그리스의 아테네에서 석면은 신전의 램프 심지로 사용되었다. 아리스토텔레스의 제자 테오프라스토도 이 램프에 관하여 기름이 떨어져도 심지는 타지 않고 남았다고 기술하고 있다. 또는 석면 섬유를 짜서 여성의 머리 장식에 이용하거나 귀족들의 의관으로 이용하였다. 기록에 의하면, 로마시대에 이미 석면의 재해는 시작되고 있었음을 알 수 있다. 로마시대에 석면 채굴현장에서 일하는 광부 및 석면 섬유를 짜는 직인들 사이에 폐질환이 발생했던 것이다 (안중주, 1989). 18세기 석면은 진기한 것, 귀중품으로서만 이용되었다. 당시는 석면섬유의 직조방식이 외부에 비밀로 되어있었고, 방직기술이 미숙하여 섬유의 길이가 긴 고급품의 원석 이외에는 이용할 수 없었으므로 석면제품은 극히 기이한 것이었다.

19세기 후반 석면의 방직법이 개선됨으로 석면의 직물과 종이 등이 대량 생산되기에 이르렀으며, 캐나다와 남아프리카에서 석면의 대광맥이 발견되기도 하였다. 20세기초 유럽의 의사들은 석면을 다루는 노동자들이 호흡기 질환

으로 사망하였다고 진단하였으며, 1960년대 초 석면제품의 사용증가로 석면에 의한 질환문제는 작업영역에서 일반대기 중의 문제로 확장되었다. 과거 수십년 동안의 임상학적 증거는 주로 석면 노동자 뿐만아니라 대부분 도시 거주자의 폐 속에 석면섬유의 존재로서 밝힐 수 있었다. 그러나, 석면에 대한 과다 노출로 인한 인체 위해성은 암으로 밝혀졌지만, 미량 폭로의 영향은 명백히 밝혀지지 않았다.

최근 국내·외적으로 석면 노출로 인한 폐암 환자 발생과 그 위해성의 심각성은 크게 제기되고 있다. 1927년 영국에서 처음으로 석면폐증에 대한 보고가 있었으며, 이후 남아공의 탄광노동자들에게도 악성중피종이 많이 발생되었음이 보고되었다. 1996년 프랑스의 시라크 대통령은 석면에 오염된 파리 제 6대학과 제 7대학의 폐쇄조치를 내린 사건이 있었다. 또한, 국내의 경우, 선박수리, 석면방직업 등 석면을 처리하는데 수년간 종사해 온 노동자가 석면으로 인해 폐암에 걸린 사례가 있었다. 최근 들어, 재개발 붐으로 인한 오래된 아파트의 해체시 석면이 대기 중으로 대량 방출되는 일련의 사건도 있었다.

### 3. 석면의 특성

#### 3.1 석면의 종류 및 사용실적

석면은 천연이 산출하는 광물자원이며, 석면의 최대 특징은 석면구조(asbestiform)라 불리는 섬유 형태의 집합체로 조직되어 있다. 석면이라는 명칭은 광물학적인 것이 아니라, 높은 섬유성을 보유한 규산화합물로서 길고 가는 섬유이

며, 물리적 강도, 화학적 불활성(내산과 내알칼리성), 전기와 열에 대한 절연성이 있어 다양한 응용범위를 갖는 물질군에 불려진 상업적 호칭이다(안중주, 1989). 다양한 석면의 샘플을 만져보면 부드러운 감촉과 깃털과 같은 가벼움 및 비단과 같은 광택을 갖추고 있어 이것이 진짜 광물인가 감탄하게 된다. 이러한 유용성 때문에 3,000개 이상의 상업제품(파이프와 덕트의 절연재, 건물절연, 벽과 천장 패널, 카펫갈판, 지붕재질, 브레이크 패드와 라이닝, 헤어드라이, 마루바닥타일, 전기선, 시멘트, 토스터기 등 가정전기제품, 용광로)에 현재까지 이용되고 있다.

석면은 화학적으로 사문석(serpentine)계열과 각섬석(amphibole)계열로 크게 나눌 수 있다. 사문석 계열에는 백석면(chrysotile)이 있고, 각섬석 계열에는 청석면(crocidolite), 갈석면(amosite), 직섬석면(anthophyllite), 투각섬석면(tremolite) 및 양기석면(actinolite)으로 분류된다(Michaels and Chissick, 1979). 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH)에서는 석면을 백석면, 청석면, 갈석면, 직섬석면, 투각섬석면 및 양기석면의 섬유상으로서, 섬유상을 위상차현미경(PCM)으로 관찰했을 때 길이가 5 μm 이상이고, 종횡비(length to width)가 최소한 3 : 1 이상인 입자상물질이라고 정의하고 있다. 대다수의 다른 자연 광물 섬유가 3 : 1 보다 작은 비를 가지는 반면, 모든 석면 섬유는 3 : 1 이상의 종횡비를 가진다. 일반적으로 석면 섬유는 비석면 섬유보다 더 길고 다양한 길이를 가지며, 더 가늘고 다양한 폭을

갖는 것으로 알려져 있다 (김수환, 1999). 가장 가는 석면은 담배연기의 입자나 바이러스 크기 만한 것도 있다. 가장 큰 것이라 해도 사람의 머리카락보다는 가늘다. 일반적인 1~5  $\mu\text{m}$  크기는 박테리아 크기와 거의 비슷하다.

백석면은 세계 석면 생산 및 소비의 90% 이상을 차지하는 대표적인 석면이며, 부드럽고 유연한 백색 섬유로 각각 40%의  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{MgO}$ 로 조성되어 있으며, 내열성이 우수한 반면에 내산성은 떨어지는 것으로 알려져 있다. 청석면은 끈고 청색을 띠는 섬유로, 석면 섬유중 물리적으로 가장 강해서, 내산성과 내구성이 큰 공업 물질을 만드는데 이용되나 고온에서 녹는 경향이 있다. 생체에 대한 독성이 매우 커서 엄격하게 사용제한이 정해져 있다. 청석면의 대부분은 석면 시멘트와 파이프 생산에 이용되고 있다. 갈석면은 끈고 부서지기 쉬운 섬유로 열은 회색에서 회미한 갈색을 띠며, 내부식성, 비탄성 및 고밀도의 특징을 가지며, 내열 단열 보드 등의 단열재로 널리 사용되고 있다. 직섬 석면은 부서지기 쉬운 하얀 섬유로 희귀한 섬유이며 우수한 내열성과 내산성으로 인해 특수 목적으로 사용되는 값비싼 필터 재료로 사용된다. 투각섬석면은 산업용 운모, 질석, 대리석, 백석면 섬유를 생산하는 맥석과 광석의 성분으로써 자연적으로 생산되는데, 상업적으로 쓰이는 투각섬석면의 원산지는 한국이며, 과거에는 유럽, 아시아, 북미 등에서 채광되어 왔다 (Wylie et al., 1993).

전세계 석면생산량의 60% 가량인 200만 톤을 러시아에서 생산하고 있으며, 캐나다, 중국, 브라질 등의 순으로 석면이 생산되고 있다 (우

완기, 2000). 우리나라에서도 1930년대 충남 홍성 등에서 채광되었던 적이 있었으나 1983년에 폐광되고, 현재는 주로 수입에 의존하여 연간 8~9만 톤 정도가 수입되고 있다. 석면의 위해성이 널리 알려진 1980년대 이후에도 수입량은 감소하지 않고 있는 추세이다. 수입되고 있는 석면의 대부분은 백석면으로 약 85% 가량이 건축자재의 원료로 사용되고 있고, 나머지가 석면 방직업과 자동차 부품 제조업에 이용되고 있다. 건축용으로는 주로 슬레이트, 석면보드, 보온단열재 등이 있으며, 방직업에서는 석면섬유사, 석면천이나 석면장갑, 석면테이프 제조 등에 사용되고 있고, 자동차부품으로는 브레이크 라이닝과 클러치페이싱에 사용되고 있다. 그러나 1990년 이후 탄소 합성체인 케브라 (kevlar) 등의 비석면 물질로 대체되면서 자동차 및 전동차의 브레이크 라이닝 재료로 사용되던 석면의 사용량이 상당량 감소하고 있다 (이기라, 1996). 이러한 제품에 포함된 석면의 함유량은 제품별로 다양하며, 석면함유 제품의 국내 생산량은 약 220만 톤을 유지하고 있다 (환경포럼, 1998). 국내 석면 제품별 소비 현황을 그림 1에 제시하였다.

### 3.2 석면의 오염원

석면의 자연적 오염원은 채광에 이용되는 여러 가지 바위의 암맥으로서 존재하며, 주로 토양에 분포되어 있다. 이들은 농업활동, 부식, 풍화 및 바람 등에 의해 공기 중으로 배출된다. 인위적인 오염원은 석면의 채광, 운송, 석면이 함유된 상업제품의 제조 공정 및 사용, 건축자재, 석면포함 건물의 해체 및 폐기, 석면

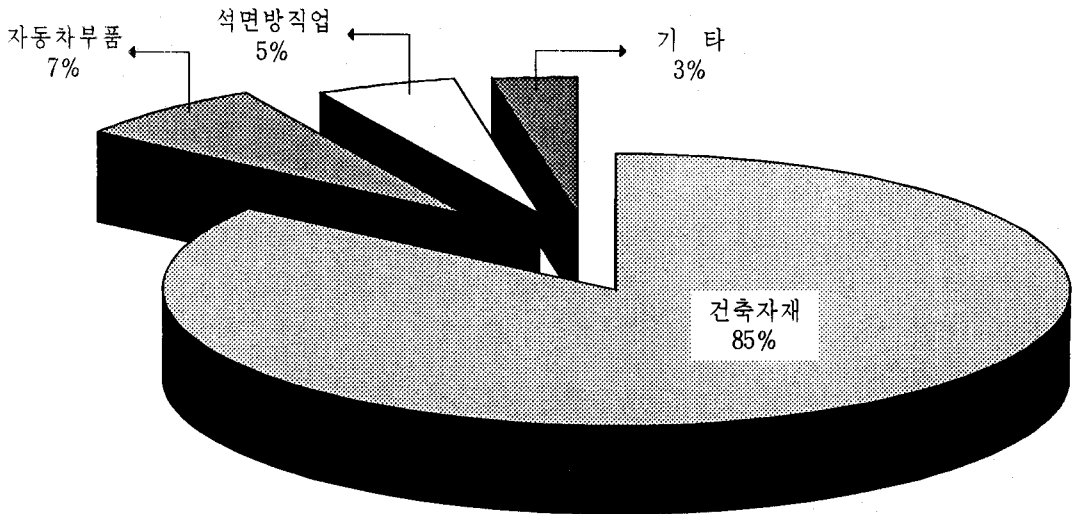


그림 1 국내의 석면 소비량 (노동부, 1997).

폐기물의 처리과정에서 대기 중으로 배출된다.

석면에 의한 토양오염은 석면의 산업공정 과정 중 또는 이 후에 오염되며, 오염된 토양의 이용시 대기 중으로 미세한 석면섬유입자가 방출될 수 있다. 미세석면섬유를 대기 중으로 배출하는 주요 오염원 중 시멘트에 포함된 석면은 산성비, 햇빛, 바람 및 결빙 등에 의한 기상 조건과 대기오염물질에 의해 부식되고 풍화되어 배출되며, 그 양은 전체 석면 배출량의 12%를 차지한다. 미세석면섬유는 몇 주에서 길게는 몇 달까지 대기 중에 체류한다 (Spruny, 2000).

### 3.3 석면의 위해성

석면에 대한 폭로는 직업성폭로와 직업과는 관계가 없는 생활환경상의 폭로가 있다. 최근에는 특히 일반 대기중의 석면 폭로에 대한 문제가 주목받고 있다. 일반적으로 호흡기와 소

화기관을 통해 체내로 흡수된 석면은 폐와 전신의 장기에 운반된다. 석면섬유가 기도를 거쳐 흡입되면 섬유는 기도를 따라 다니기 때문에 길이가 25~50 $\mu\text{m}$  크기라도 쉽게 폐세포 영역에까지 침입한다. 한편 그 이상 크기의 분진은 상부기도영역에서 대부분 걸러져 종말기관지까지 들어가는 것은 거의 없다 (Yoshiharu, 1996). 흡입된 석면은 종류, 호흡상태, 공기중의 섬유농도, 섬유의 형태에 따라 폐내에서의 침착율과 흡수율이 다르다. 사람의 폐에 남아 있는 대부분의 섬유들은 5 $\mu\text{m}$ 보다 짧으며, 대략적으로 2.5 $\mu\text{m}$  이하이지만, 200 $\mu\text{m}$ 에 상당하는 일부 짧은 섬유들이 폐에서 발견되기도 한다 (김윤신, 1991). 폐에 대한 침착율은 섬유의 길이가 길고 섬유의 길이와 직경 비가 클 수록 크고, 석면의 종류별로 보면 백석면보다 청석면, 갈석면이 더 유해한 것으로 알려져 있다. 이는 각섬석계열의 섬유(청석면, 갈석면 등)가 사문

석계열의 섬유(백석면)보다 폐속으로 쉽게 침투할 수 있고, 체내에서 용해되거나 변질되지 않고 폐 안에 오랫동안 머무를 수 있기 때문이다 (Yoshiharu, 1996). 이러한 증세는 폭로 후 장기간 경과 후에 나타난다는데 문제점이 더 크다고 할 수 있다. 또한 흡연자의 경우 석면에 대한 위험성은 더욱 커지는 것으로 알려져 있는데, 비흡연자에 비해 석면에 의한 폐암발생률이 100배나 높다고 한다(백남원, 1995).

석면과 관련된 질환은 대부분 폐관련 질환으로 석면폐증(석면에 의하여 폐의 섬유화를 초래하는 질병), 폐암, 중피종, 흉막병변 등이 있다 (Mattison, 1987). 이밖에 석면 폭로와 관련이 있을 것이라고 예상되는 질병으로 후두암, 소화관암, 난소암, 신장암, 악성 임파종 등이 있으나, 이들에 대한 역학적 조사가 미흡하여 추후 연구 과제로 주목받고 있다.

고농도 석면의 장기 노출에 의한 인체영향은 암이라는 질환으로 결과를 초래하는 것으로 이미 여러 연구 결과 밝혀졌으나, 저농도 수준의 장기 노출이 건강에 어떠한 영향을 미치는지는 암상학적, 면역학적으로 아직 충분히 밝혀진 내용은 없는 실정이므로, 이 부분에 대한 연구도 계속적으로 이루어져야 할 필요성이 있다. 한편, 석면의 대체 물질로 알려져 있는 유리섬유(glass fiber)와 암면(glass wool)의 경우에도 눈과 피부에 장해를 일으키고 장기 폭로시 유해성이 있는 것으로 보고된 바 있다(환경포럼, 1998). 그러나 무엇보다 심각한 것은 이러한 질병을 조기에 진단하거나 치료하는 것이 국내에서는 아직까지 어려운 실정이어서 석면 노출을 방지하여 예방하는 것이 최선의 방법일

것이다.

## 4. 석면의 측정 및 분석방법

### 4.1 측정방법

일반적으로, 구형 입자는 직경에 의해 충분히 정의될 수 있지만, 석면입자의 공기 중 거동은 입자의 폭과 길이에 의해 결정되며, 입자의 모양과 화학적 조성에 의해 측정과 분석방법이 결정된다. 따라서, 석면을 비롯한 섬유의 농도는 일반 대기 중 분진 농도(예를 들어 mg/m<sup>3</sup>, ppm 등)로 표현하지 않고, 수 농도 개념을 사용하여 섬유의 농도를 "개/cc"로 나타낸다. 즉, 1 cc당 몇 개의 섬유입자가 있는가를 나타내는 것으로 우리나라의 산업보건기준과 대기공정시험법에서 이 단위를 사용한다 (유성환, 1997).

석면을 측정하는 방법은 크게 두 가지로 분류되는데, 포집기에 의해 직접 채집하는 방법과 섬유상 에어로졸 모니터에 의한 측정이다. 전자에 의한 방법은 셀룰로오즈 멤브레인 필터 등의 여지를 사용하여 일정 유량의 포집기를 가동시켜 채집하는 것으로 일반 대기의 분진 포집에도 주로 사용하는 방법으로 일정 전처리를 거쳐야 분석이 가능하다. 후자에 의한 측정은 일정 유량으로 흡입된 공기에 고전압 전계를 통해 섬유상 입자의 진동을 유발시킨 후, He-Ne 레이저빔을 조사해 90° 산란광을 검출하는 방법으로 산란광의 강도는 고전압 전계의 진동과 함께 변동하며, 긴 섬유일수록 변동이 크다. 검출 가능한 최소 섬유의 길이는 2 $\mu$ m, 폭 0.2 $\mu$ m이고, 포집시간은 최소 1분에서 최대 8시

간까지 가능하다.

#### 4.2 분석방법

석면을 분석하는 방법에는 위상차현미경법 (phase contrast microscopy, PCM), 편광현미경

법 (polarized light microscopy, PLM), 전자주사현미경법(scanning electron microscopy, SEM), 투과전자현미경법(transmission electron microscopy, TEM), X-선 회절법(x-ray diffraction, XRD) 등이 있으며 표 1에 기기의 특

표 1. 석면섬유의 분석방법 (유성환, 1997 ; Daniel, 1989 ; Guillemin et al., 1989)

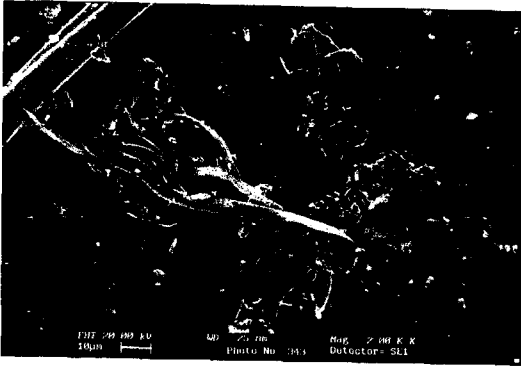
방 법	장 점	단 점	참 고
위상차현미경법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비교적 간단한 분석</li> <li>· 저렴한 분석 비용</li> <li>· 분석 시간의 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저분해능</li> <li>· 저배율 분석</li> <li>· 분석 정확도가 떨어짐</li> </ul>	OSHA NIOSH 7400
편광현미경법			
X선 회절법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2차적 확인 및 규명에 유용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저분해능</li> <li>· 판별력이 떨어짐</li> </ul>	-
전자주사현미경법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고분해능 분석 가능</li> <li>· 고배율 분석 가능</li> <li>· 원소 조성 분석 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고비용</li> <li>· 분석시간이 상당 소요</li> </ul>	AIA
투과전자현미경법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고분해능 분석 가능</li> <li>· 고배율 분석 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고비용</li> <li>· 분석시간이 상당 소요</li> <li>· 전처리의 번거로움</li> </ul>	U.S EPA NIOSH

성을 나타내었다.

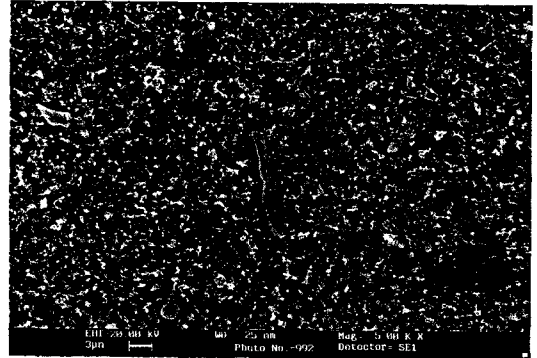
위상차현미경법 (PCM)은 석면 분석에 일반적으로 가장 많이 사용되는 방법으로 분석이 비교적 간단하고, 분석비용이 적고, 분석시간이 짧은 장점이 있는 반면, 입자 분석에 있어 단순히 섬유상 입자 (중횡비가 3 : 1 이상인 섬유상 입자)만 계수하기 때문에 석면의 오염원이 확실한 작업장에만 적용되는 방법이라 할 수 있다. 또한 위상차현미경법으로는 입자의 원소 분석이 불가능하여 석면의 종류를 분류할 수 없다.

일반적으로 일반 대기환경의 석면입자 분석은 해상도가 높고 섬유의 종류별 식별이 용이

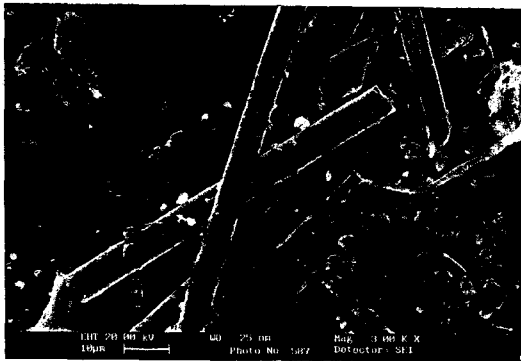
한 전자주사현미경 (SEM)과 투과전자현미경 (TEM)이 바람직하다. 이러한 전자현미경과 결합한 분석장치로 SAED (selective area electron diffraction)와 EDX (energy dispersive x-ray analyzer)가 주로 이용되는데 섬유 확인 및 규명에 가장 양호한 기법으로 알려져 있다. 특히, EDX는 섬유입자의 원소 조성에 대한 정보를 제공하기 때문에 매우 유용하다(Spurny, 2000; Schreier, 1989). 전자주사현미경에 의해 측정된 백석면 (그림 2a), 청석면 (그림 2b) 등의 석면 섬유종과 유리섬유 (그림 2c), 케브라 (그림 2d) 등의 비석면 섬유종의 모양을 제시하였다.



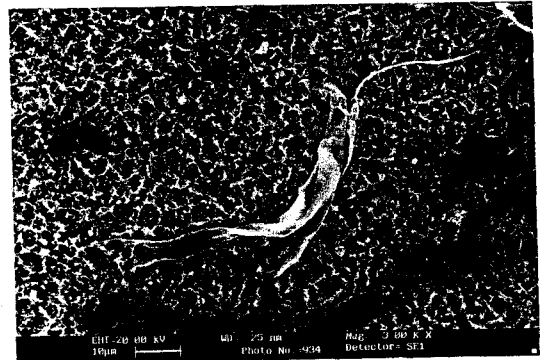
a) 백석면 (2,000배)



b) 청석면 (5,000배)



c) 유리섬유 (3,000배)



d) 케브라 (3,000배)

그림 2 전자주사현미경 형상

그림 2a의 백석면은 가늘고 긴 섬유 형태로 끝이 갈라져 있는 것이 특징으로 섬유의 길이는 약  $80\mu\text{m}$ 로 매우 길고, 폭은  $0.3\mu\text{m}$ 로 좁아 종횡비가 매우 크다. 또한 주요 화학적 성분은 Mg과 Si으로 이루어져 있다. 그림 2b의 청석면은 백석면에 비해 종횡비가 작고 곧은 모양으로 약간 짙은 색을 띠는 등 육안으로도 식별이 가능하며, Mg, Si 및 Fe 등이 주성분을 이루고

있다. 이에 비해 그림 2c의 비석면 섬유종인 유리섬유는 표면 자체가 거칠고 불투명한 구조로 섬유의 직경이 굵고, 길이 방향으로 끊어진 모양으로 횡단면으로 부서지기 쉬운 특성을 단적으로 보여준다. 화학적 조성도 Si가 대부분이고, Na와 Ca 등으로 구성되어 있다. 또한, 다른 비석면종인 케브라는(그림 2d) 외관상 백석면과 비슷한 것처럼 보이지만 자세히 살펴보면



면 섬유는 끝이 단순하고 섬유의 폭이 일정치 않다. 화학적 조성은 케브라 자체가 탄소 합성 체이므로 C로만 구성되어 있다. 유리 섬유와 케브라에서는 백석면과 청석면에 공통적으로 포함되어 있는 Mg이 검출되지 않아, Mg이 석면을 입증할 수 있는 중요 원소임을 확인할 수 있다 (김수환, 1999).

### 4.3 석면 연구의 국내·외 동향

Webber 등 (1997)은 석면의 전량시료 (bulk sample)에 관하여 연구하였으며, 공공 건물에서 방출되는 대기 중 석면에 관한 연구 (Chesson et al., 1990; Guillemine et al., 1989; Spurny, 1989) 등이 수행된 바 있다. 석면의 유해성 측면에서 석면섬유의 직경이 발암성에 미치는 영향 (Wylie et al., 1993)과 인체에서의 석면과 체세포의 화학적 상호작용에 관한 연구 (Seal et al., 1997, 1996) 등이 이루어지고 있다.

국내에서 석면 연구는 주로 산업보건기준 적합여부를 위한 작업장 실내를 대상으로 조사되어 왔으며, 건물 실내 및 일반 대기환경에 대한 연구가 진행된 것은 불과 10년 정도이다. 그러나 지금까지 석면 오염 연구는 대부분 위상차현미경법을 이용한 석면의 개수농도 분석만 이루어졌으며, 포집대상이 석면 취급 사업장을 중심으로 이루어져 작업장에서의 석면 농도에만 국한된 경향이 있었다. 그밖에 지하철역 내의 석면 농도 및 실태에 대한 연구 (서울특별시 지하철공사, 1998; 이기라, 1996)와 일반 건축재료에서 발생하는 석면의 특성에 대한 연구 (유성환, 1993) 등이 수행된 바 있으며, 최

근에는 일반주택, 초등학교, 지하상가 등의 생활환경과 폐차장 등 작업환경에서 포집된 석면 섬유를 분류한 바 있다 (김수환, 1999).

### 5. 석면 대책

“미의회는 의학적으로 볼 때, 인간의 석면에 대한 안전량이란 존재하지 않는다고 공식적으로 인정했다. — 미국 사법부 사법장관의 석면 문제에 대한 의회보고”.

석면의 암 발생에 관해서 그 이하라면 안전하다고 할 수 있는 석면폭로의 한계치란 존재하지 않는다. 한계치가 존재하는 것을 증명해 보인 연구는 없거니와 아무리 소량이라도 석면은 암 발생에 관해 위험한 역할을 한다. 석면은 가공할 만한 독성을 가진 물질로 이제까지 인류가 부딪힌 가장 두려워해야 할 위험 물질 중 하나이다. 이러한 석면의 피해로부터 일반 대중을 보호하기 위한 대책이 선진외국에서는 이미 오래전부터 실시되고 있으나 국내에서는 아직 미흡한 실정이다. 석면 오염에 대한 대책 및 개선 방안으로 다음과 같은 사항을 유의해야 할 것이다.

첫째, 기준 강화를 들 수 있다. 석면의 허용 농도는 산업장 근로자를 위한 산업보건기준과 일반대중을 위한 기준이 있다. 일반대중에는 노인과 어린이 및 질병자들이 포함되므로 매우 엄격하여 미국 환경보호청 (EPA)에서는 공기 중 석면농도 0.01 개/cc로 규정하고 있으며, 이 기준이 국제적으로 인정받고 있다 (백남원, 1996). 산업장에 대한 허용기준은 산업장 근로자에서 실제로 발견된 유병율을 배경으로 하고 있다. 표 2는 산업장에 대한 각국의 석면 허용

표 2. 각국의 석면 허용농도 (우완기, 2000)

(단위: 개/cc)

국가 종류	한국	미 국				영국	독일	캐나다	호주
		정부 (법적)	학회 (권고)	OSHA (법적)	ACGIH (권장)				
백석면	2	2	2	0.1	0.2	0.54	1	2	1
갈석면	0.5	2	2	0.1	0.2	0.2	1	0.2	0.1
청석면	0.5	2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
기타 석면	2	2	2	0.1	0.2	0.5	1	2	1

\* OSHA(Occupational Safety &amp; Health Administration: 미국산업안전보건청)

ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists : 미국산업위생전문가협의회)

농도를 나타낸다.

우리나라의 허용기준은 미국 ACGIH의 종래의 허용기준을 인용한 것으로서 석면의 종류에 따라 기준을 달리하고 있으며, 국내에서 주로 사용하는 백석면에 대하여 2개/cc로, 이는 미국 OSHA 기준의 20배에 달한다. 우리나라의 허용기준도 조속히 개선되어 석면의 종류에 관계없이 강화해야 한다. 일찍이 석면 오염에 대한 심각성을 느낀 선진국의 경우 기준치를 더욱 강화시키는 반면, 우리나라는 아직 법적 기준치조차 마련되어 있지 않으며 허용 좋은 권고치만 존재할 뿐이다. 결국, 석면을 취급하는 사업자가 아무 죄의식 없이 국민의 건강을 담보로 위험한 행동을 할 수 있다는 논리가 성립된다. 이는 석면을 비롯한 모든 환경오염이 소수에 의해 불특정 대다수가 영향을 받을 수 있다는 측면을 보여주는 단적인 예라 할 수 있겠

다. 따라서 조속히 법적 기준치를 마련하고, 단계적으로 기준치를 강화해야 할 것이다.

둘째, 우리나라 석면사용량 중 85% 가량이 건축자재로 이용된다. 그 만큼 우리의 주생활에서 석면노출 기회는 많다. 특히 오래된 건물의 석면 검출 농도 실태 조사와 구건축물의 개수와 해체시 석면이 공기 중으로 비산되는 것을 방지하기 위하여 반드시 전문가의 자문이 필요하다.

셋째, 석면 사용을 무조건 금지시키고, 석면 배출을 줄이기 위한 환경상 안전한 대체품 개발에 힘써야 한다. 현재 석면의 대체 물질로 알려져 있는 유리섬유와 암면의 경우에도 형태적인 특성으로 인해 건강 장애 등을 일으킨다고 보고된 바 있다.

넷째, 석면에 대해 다각적 측면에서 지속적인 연구가 수행되어야 한다. 석면이 건강에 미

치는 영향의 정량적인 평가에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다. 지금까지의 석면농도 측정은 광학현미경을 이용해 수치를 계산하는 등 숙련된 기술이 필요한 어려움이 있다. 따라서, 일반인도 쉽게 사용할 수 있는 간단한 측정법의 개발도 검토되어야 할 것이다.

다섯째, 우리나라의 대기 중 석면의 오염농도 조사는 거의 전무한 실정으로, 일반대중의 석면노출은 무방비상태라 해도 과언이 아니다. 대기중 석면 오염농도의 지속적인 모니터링 조사와 그에 따른 대비책을 마련하여야 한다. 또한, 각종 발생원에서의 석면 배출 억제와 사용량 감소 등 예방대책이 선행되어야 한다.

다양한 형태로 우리생활 깊숙히 침투해 있는 석면으로부터 우리자신의 건강을 안전하게 지키기는 힘들다. 사회전체가 석면문제에 관심을 갖고 총력을 기울여 대처하지 않으면, 석면에 의한 희생자를 없애는 것은 불가능할 것이다.

#### - 참고 문헌 -

1. 김윤신 (1991) 석면, 환경관리인, 4, 4-9.
2. 김수환과 김동술 (1999) 실내공기 중 석면 섬유유 분류 및 확인을 위한 전문가 시스템의 개발, 한국대기환경학회지, 15(6), 703-712.
3. 노동부 (1997) 노동통계연감.
4. 백남원 (1995) 석면이 인체에 미치는 영향, 환경리포트, 14
5. 백남원 (1996) 우리나라의 석면오염 현황과 관리대책, 첨단환경기술, 2-8.
6. 서울특별시 지하철공사 (1998) 서울시 지하철 환경개선 방안 연구.
7. 안중주 (1989) 석면공해-조용한 시한폭탄, 동화기술.
8. 우완기 (2000) 대기오염개론, 신광문화사, 82-84pp.
9. 유성환 (1993) 건축재료에서 발생하는 석면 입자의 특성 연구, 한국대기보전학회지, 9 (3), 191-199.
10. 유성환과 김현욱 (1996) 전자현미경을 이용한 건물내 비고형 표면소재의 석면오염 및 기중석면농도 특성 조사, 한국산업위생학회지, 6(2).
11. 유성환 (1997) 건물내의 석면 및 비석면 섬유유 오염현황, 첨단환경기술, 8-16.
12. 이기라 (1996) 서울시 지하철역 구내의 분진 및 섬유 농도에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문.
13. 환경포럼 (1998) 석면의 건강 위해성과 관리개선 방안, 한국환경정책평가연구원.
14. Yoshiharu A. (1996) 석면에 의한 건강영향과 독성, 첨단환경기술, 25-29.
15. Yoshihito K. (1997) 석면 및 유사물질의 생체영향, 첨단환경기술, 28-32.
16. AIA (1987) Summary of main features of asbestos/ Health regulations at the workplace, AIA Information Memorandum No. 3, 80pp.
17. American Lung Associationn (1998) <http://www.asbestos-institute.ca/buildings/sba.html>.
18. Chesson J., J. Hatfield, B. Schultz, E. Dutton, and J. Blake (1990) Air-borne asbestos in public buildings, Environmental

- Research, 51, 100–107.
19. Daniel M. (1989) Managing asbestos in schools, public, commercial and retail buildings; An overview of asbestos analysis methodology, *A&WMA Proceedings*, 22–32.
  20. Dunnigan J. and N.K. Seymoar (1990) A scientific update on asbestos and health, The Asbestos Institute.
  21. Guillemin M.P., P. Madelaine, G. Litzistorf, P. Buffat, F. Iselin (1989) Asbestos in buildings, *Aerosol Science and Technology*, 11, 221–243.
  22. Mattison, M.L. (1987) Asbestos and asbestos related diseases, *Asbestos Information Center*.
  23. Michaels, L. and S.S. Chissick (1979) *Asbestos: properties, applications, and hazards*, Chichester, New York Wiley Publishing Co.
  24. NIOSH (1989) *Asbestos fibers in air: Method 7400*, DHHS(NIOSH) Publish.
  25. Schreier H. (1989) *Asbestos in the natural environment*, Elsevier Science Publishing Co., New York.
  26. Seal S., S. Krezoski, D. Petering, T.L. Barr, J. Klinowski, and P. Evans (1996) X-ray photoelectron spectroscopy investigations of the interaction of cells with pathogenic asbestos, *Journal of Vacuum Science Technology*, A14(3), 1770–1778.
  27. Seal S., T.L. Barr, S. Krezoski, D.H. Petering, and W. Antholine (1997) Characterization of chemical interaction of asbestos surfaces during culturing with lung cells, *Journal of Vacuum Science Technology*, A15(3), 1235–1245.
  28. Spurny K.R. (1989) On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products, *Environmental Research*, 48, 100–116.
  29. Spurny K.R. (2000) Atmospheric contamination by fibrous aerosol, in *Aerosol chemical Processes in the Environment*, Edited by K.R. Spurny, Special Editorial Consultant Dieter Hochariner, 525–558pp.
  27. Webber J.S., L.J. Carhart, and A.G. Czuharnich (1997) Analytical trends in asbestos analysis: New York states's bulk sample proficiency-testing program, *Journal of American Industrial Hygiene Association (AIHA)*, 58, 809–813.
  28. Wiley A.G., K.F. Bailey, J.W. Kelse, and R. J. Lee (1993) The importance of width in asbestos fiber carcinogenicity and its implications for public policy, *American Industrial Hygiene Association*, 54, 239–252.