

실내 공기 중 석면 측정방법 -

2017

투과전자현미경법

(determination of airborne asbestos fibers by transmission
electron microscope)

1.0 개요

1.1 목적

1.1.1 이 시험기준은 투과전자현미경(TEM, transmission electron microscope)을 이용하여 실내 공기 중 석면 농도 측정방법을 규정한다.

1.1.2 석면 및 섬유상 먼지를 채취한 여과지를 투명화 과정을 거쳐 탄소코팅 및 회화 전처리 후, 투과전자현미경으로 석면 및 섬유상 먼지를 관찰하고 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA, energy-dispersive X-ray analysis) 및 전자회절(ED, electron diffraction) 패턴을 이용하여 비석면 섬유와 석면섬유를 구분하여 공기 중 석면 섬유 농도를 측정한다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험기준은 실내 공기 중 석면 농도를 결정하는 방법으로 실내공기질공정시험기준 ES 02303.1의 “실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법 - 위상차현미경법”을 이용하여 분석한 결과에서 다중이용시설 등의 실내공기질관리법의 시행규칙 별표 3의 기준을 초과하는 시료에 대하여 섬유상 먼지의 석면여부를 평가하여 공기 중 석면 섬유 농도를 측정하기 위하여 사용한다.

1.2.2 이 시험기준에서의 측정범위는 100 ~ 1,300 fiber/mm²(여과지면적) 이다.

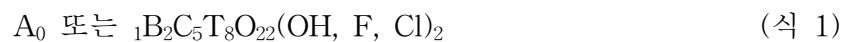
1.3 간섭물질

백석면 확인의 간섭물질로서 할로이사이트(halloysite), 질석(vermiculite scroll), 플레이고스카이트(playgorskite)가 있고, 이들 모두는 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA)의 사용과 전자회절(ED) 패턴에서 0.73 nm의 백석면 음영을 관찰함으로써 석면과 구분할 수 있다.

2.0 용어정의

2.1 각섬석(amphibole)

암석을 형성하는 페로마그네슘 규산염 광물의 그룹으로 결정 형태와 조성과의 관계가 깊고 명명식은 아래와 같다.



여기서, A = K, Na

B = Fe²⁺, Mn, Mg, Ca, Na

C = Al, Cr, Ti, Fe³⁺, Mg, Fe²⁺

T = Si, Al, Cr, Fe³⁺, Ti

2.2 각섬석 석면(amphibole asbestos)

석면 형태의 각섬석을 말한다.

2.3 분석 감도(analytical sensitivity)

분석 시 하나의 석면 구조의 계수와 동일한 계산된 공기 중 석면 구조 농도로 structures/cc로 표시한다.

2.4 석면(asbestos)

길고, 얇고, 유연하며 강한 섬유로 쉽게 분리되는 석면형(asbestiform)으로 결정화된 사문석계 또는 각섬석계 규산염 광물, 가장 일반적인 석면 종류(CAS No.)는 백석면

(12001-29-5), 청석면(12001-28-4), 갈석면(12172-73-5), 안소필라이트(77536-67-5), 트레몰라이트(77536-68-6), 악티노라이트(77536-66-4)이다.

2.5 석면 구조(asbestos structure)

다른 입자가 있든지 없든지 석면섬유 또는 다발에 연결되거나 겹친 그룹에 적용되는 용어

2.6 길이 대 지름 비(aspect ratio)

섬유상 먼지입자의 길이 대 지름의 비(종횡비)

2.7 바탕시료(blank)

분석을 위해 사용하지 않은 여과지를 말한다.

2.8 카메라 길이(camera length)

렌즈 움직임이 없을 때 시험편과 시험편의 전자 회절 모양 사이에서 동일하게 투영된 길이(projection length)를 말한다.

2.9 백석면(chrysotile)

아래와 같은 조성을 갖는 사문석 그룹의 섬유성 광물을 말한다.



대부분의 자연 백석면은 이들 조성에서 거의 벗어나지 않는다. 일부 백석면에서는 규소의 Al^{3+} 에 의한 소수 치환이 일어날 수도 있다. 마그네슘 대신에 Al^{3+} , Fe, Fe^{3+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} 에 의한 소수 치환이 있을 수 있다. 백석면이 가장 일반적인 석면의 형태이다.

2.10 다발(cluster)

둘 이상의 섬유, 섬유 다발이 묶임으로 연결되어 무질서한 방향으로 있는 구조를 말한다.

2.11 전자 회절(ED, electron diffraction)

시험편의 결정 구조를 검사하는 전자현미경학에서의 기법을 말한다.

2.12 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA, energy-dispersive X-ray analysis)

고체상 검출기와 다중 채널 분석 시스템을 사용한 엑스선의 에너지와 강도 측정을 말한다.

2.13 유센트릭(eucentric)

물체의 목표 범위가 그 축으로 전자 빔의 교차가 있는 경사축에 위치해 있고 초면점에 있을 때의 상태

2.14 현장 바탕시료(field bank)

여과지홀더를 현장에서 다루는 공정에서 오염 여부를 결정하기 위하여 시료채취지점에 가져가서 개폐과정을 거친 후 가져오는 여과지

2.15 섬유(fiber)

평행하거나 단계면을 가지는 가늘고 긴 입자를 말하며, 이 시험기준에서 섬유는 최소 0.5 μm 길이 대 지름 비(aspect ratio)가 5 : 1 이상인 것으로 규정하고, 위상차현미경법(PCM) 동등 섬유의 경우 길이 대지름 비(aspect ratio)가 3 : 1 이상 직경 0.25 μm 이상을 의미함

2.16 섬유 다발(fiber bundle)

길이 방향을 따라 붙어 있는 평행하고 더 작은 지름 섬유로 구성된 구조 섬유. 다발은 한쪽 또는 양쪽 끝에서 섬유가 갈라지는 것을 보인다.

2.17 섬유상 구조(fibrous structure)

다른 입자의 유무에 관계없는 섬유 또는 섬유 그룹에 연결된 것을 말한다.

2.18 매트릭스(matrix)

하나 또는 그 이상의 섬유, 섬유 묶음, 접촉이 단일 입자에 의해 숨겨져 있거나 또는 비섬유성 입자 그룹에 연결된 구조를 말한다.

2.19 위상차현미경법 동등 구조(PCM-equivalent structure)

5 μm 보다 길고 길이 대 지름 비가 3 : 1 이상이며 지름이 0.2 ~ 3.0 μm 인 섬유를 말한다.

2.20 위상차현미경법 동등 섬유(PCM-equivalent fiber)

길이 대 지름 비(aspect ratio) 3 : 1 이상이고, 길이는 5 μm 보다 긴, 평행하고 층진 면으로 된 입자로서, 0.25 ~ 3.0 μm 지름을 갖는다.

2.21 선택 범위 전자 회절(SAED, selected area electron diffraction)

시료의 좁은 범위 결정 구조를 검사하는 전자현미경학 기법을 말한다.

2.22 사문석(serpentine)

암석을 형성하는 일반 광물 그룹으로, 명명식은 $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 마그네슘을 함유한 함수 규산염(含水硅酸鹽) 광물을 말한다.

2.23 구조(structure)

단일 섬유, 섬유 다발, 묶음 또는 매트릭스를 말한다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 투과전자현미경(TEM, transmission electron microscope)

투과전자현미경(TEM) 조작용 1.0 nm 보다 큰 해상도에 80 ~ 120 kV 의 가속전압으로, 배율이 약 300 ~ 100,000배의 범위에서 조작용 한다. 스크린 배율을 100,000배로 하는 것은 섬유 형태를 검사하기 위한 것이다. 이러한 배율을 직접 얻을 수 없는 경우, 쌍안경을 사용하여 스크린 영상을 보충적으로 광학 확대 하여 얻을 수 있다.

3.2 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA, energy-dispersive X-ray analyzer)

투과전자현미경(TEM)은 MnK_{α} 에 대해 180 eV(FWHM), EPA(175) 이상의 분해도를 이룰 수 있는 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA)가 장착되어 있어야 하며 투과전자현미경(TEM)과 에너지 분산 엑스선 분석기의 조합은 가속전압이 80 kV보다 작거나 전자 탐침이 250 nm로 비추었을 때, 직경 50 nm 이하인 UICC 청석면의 섬유에서 1 CPS 보다 큰 배경 NaK_{α} 적분강도를 뺀 계수율이 나와야 한다. 성능 테스트에 대한 피크/배경의 비율은 1을 초과하여야 한다.

3.3 플라즈마 회화기(plasma asher)

여과지 혹은 여과지위에 있는 입자들을 플라즈마를 이용하여 회화하기 위한 장비이며, 100 w 이상의 무선주파수(radio frequency) 파워 및 공급 산소유량을 조절할 수 있어야 한다.

3.4 진공 코팅 장치(vacuum coating unit)

진공 코팅 장치(0.013 Pa 이상)는 멤브레인 여과지 위에 탄소를 진공 흡착시키는데 사용하며, 이때 진공은 오일 로타리(oil rotary) 펌프를 사용한다.

3.5 스퍼터 코팅기(sputter coater)

금 타겟이 달린 스퍼터 코팅기는 전자회절(ED) 패턴의 내부 보정용 투과전자현미경(TEM) 시험편에 금을 흡착시키는데 사용한다.

3.6 Jaffe 세정기(jaffe washer)

탄소 필름과 섬유는 유지시키고 여과지 폴리머와 다른 여과지 표면에 있는 다른 입자들을 용해시키기 위해 사용한다.

3.7 아세톤 증기발생장치

아세톤을 가열하여 아세톤 증기를 발생시키는 장치로 그림 1과 같거나 이와 동등한 성능을 갖도록 구성하여야 한다. 또한 상용화된 장치를 사용할 수 있다.

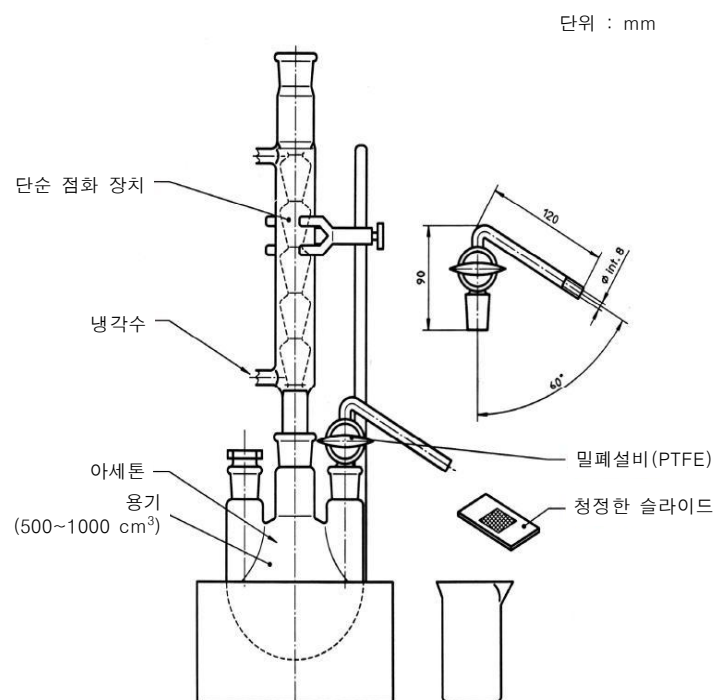


그림 1. 아세톤증기 발생장치의 예

3.8 슬라이드 온열기 또는 오븐(slide warmer or oven)

온도는 65 °C ~ 70 °C가 유지되어야 한다.

3.9 탄소 격자 레플리카(carbon grating replica)

mm당 2,000개의 평행선이 있는 탄소 격자 레플리카(replica)로 투과전자현미경(TEM)의 배율을 검정 시 사용한다.

3.10 에너지 분산 엑스선 분석기의 보정 시험편 그리드(calibration grids for EDXA)

보정 광물의 분산으로 준비한 투과전자현미경(TEM) 시험편 그리드는 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA) 시스템의 보정에 필요하다. 적절한 보정 광물로는 리베카이트(riebeckite), 백석면(chrysotile), 할로이사이트(halloysite), 플로고파이트(phlogopite), 울라스토나이트(wollastonite), 부스타마이트(bustamite)등이 있다. 나트륨 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA) 시스템의 보정에 사용되는 광물은 금 투과전자현미경(TEM) 그리드를 이용하여 준비한다.

3.11 일회용 마이크로 피펫 팁

약 30 μ L를 옮길 수 있는 일회용 마이크로피펫 팁은 멤브레인 여과지에서 투과전자현미경(TEM) 시험편을 준비하는데 필요하다.

3.12 페트리 접시(petri dishes)

분석 여과지의 보관 및 용매세정제로 사용할 접시

3.13 전자현미경 구리 그리드(copper electron microscope grids)

200 메시(mesh)인 구리 및 탄소 코팅된 구리 투과전자현미경(TEM)용 그리드

3.14 전자현미경 금 그리드(gold electron microscope grids)

섬유 확인 과정에서 나트륨 측정이 필요할 때, 200 메시(mesh)의 금 그리드가 투과전자현미경(TEM) 시험편을 고정시키는데 적절하고 이에 해당하는 그리드를 선정한다.

3.15 탄소 막대 전극(carbon rod electrodes)

분광 화학적으로 순수한 탄소 막대

3.16 일반적인 전자현미경 기구 및 제품

핀셋, 메스, 칼, 슬라이드 글라스, 양면 테이프, 렌즈티슈, 금줄, 텅스텐 필라멘트와 일반적인 제품

3.17 표준 석면 시료

석면 표준 시료는 석면의 투과전자현미경(TEM) 시험편 준비를 위한 것이다. 미국국립표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)의 SRM 186 6[1], 1867[2], 1867B[3], RM 8411[4], 영국 보건안전연구소(HSL, health & safety laboratory)의 HSL037, 국제암퇴치연맹(UICC, union internationale contra la cancer)의 백석면(chrysotile), 청석면(crocidolite), 갈석면(amosite)이 적합하다.

3.18 여과지

0.45 ~ 1.2 μm 공극, 25 mm 직경의 셀룰로오스 에스터(MCE, mixed cellulose ester)와 재질의 여과지. 일반적으로 0.45 μm 공극의 여과지를 사용한다.

3.19 시험편 준비실

-
- [1] 일반적인 판매되는 벌크(bulk) 석면 시료로서 백석면, 갈석면, 청석면과 복합유리 섬유로 구성된 세트(set)
 - [2] 일반적으로 판매되지 않는 석면 시료로서, 안소필라이트, 트레몰라이트, 악티노라이트로 구성된 세트.(set)
 - [3] 백석면
 - [4] 고농도의 백석면과 중간농도의 갈석면이 혼합된 셀룰로오스 에스터 여과지

투과전자현미경(TEM) 시험편의 준비에는 최소한 양의 압력을 갖는 유선형 흐름 후드 시설이 있어야한다. 시료의 준비는 수용할 수 있는 바탕값(10 structures/mm² 혹은 0.1 fibers/mm² 이하)을 입증한 후에 실행하여야 한다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 아세톤

4.2 다이메틸폼아마이드(DMF, dimethylformamide)

5.0 시료채취 및 관리

“내용 없음”

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 투과전자현미경(TEM)

현광화면이 설치되어 있으며, 전자회절(ED) 분석을 수행할 수 있는 가속전압 80 ~ 120 Kv의 투과전자현미경(TEM)이어야 한다. 이때 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)을 할 수 있어야 하며, 주사투과전자현미경(STEM, scanning transmission electron microscope) 기능 또는 250 nm 미만의 스폿(spot)을 만들 수 있어야 한다.

6.1.1 투과전자현미경(TEM) 스크린 배율의 검정

6.1.1.1 투과전자현미경(TEM)의 형광 화면상에 있는 배율을 결정하기위해 경계선 혹은 표시를 하여 형광 화면상의 시야를 규정한다.

6.1.1.2 회절격자 레플리카(replica)를 시료홀더에 넣고, 전자현미경에 넣는다.

6.1.1.3 그리드를 정방향에 놓고 레플리카(replica)를 격자선이 투과전자현미경(TEM)

의 형광화면상 눈금에 직각을 이루도록 한다. 이때, 측각도계(goniometer)의 기울기는 “0”으로 한다.

6.1.1.4 배율을 10,000배로 조정하고, 격자라인이 그리드 2개의 격자간 거리(mm)를 측정한다. 형광화면상의 실제 배율을 식 1에 따라 계산한다.

$$m = \frac{X \times G}{Y} \quad (\text{식 2})$$

여기서, m : 배율

X : 두 그리드 격자간 거리(mm)

G : 그리드의 보정값(lines/mm)

Y : 계산된 그리드의 수

6.1.1.5 교정 후, 0.25 μm 와 5.0 μm 의 명확한 크기를 형광화면 위에 기록한다.

6.1.2 전자회절(ED) 카메라 상수의 검정

6.1.2.1 시료 그리드를 사용하여 증발 또는 증착된 금박막 탄소 필름을 지지시킨다.

6.1.2.2 유센트릭의 위치에 조정된 시료로 금 박막의 이미지를 형성시키고 ED조건을 선택한다.

6.1.2.3 패턴을 최적화하기 위해 대물렌즈를 조절하고 형광 화면이나 기록된 이미지에서 가장 내부에 있는 2개의 고리 지름을 측정한다. 아래의 식을 사용하여 형광 스크린과 사진판이나 필름에 대한 반지름에 기초를 두고 카메라 상수 λL 을 식 2에 따라 계산한다.

$$\lambda L = \frac{aD}{2.0 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (\text{식 3})$$

여기서, λ : 입사 전자의 파장(nm)

L : 카메라의 길이(mm)

a : 금의 단위 셀 크기(nm)

D : 회절 고리(hkl)의 지름(mm)

6.1.2.4 검정 물질로서 금을 사용할 경우, 카메라 상수는 다음과 같이 주어진다.

(1) $\lambda L = 0.11774 D \text{ mm} \cdot \text{nm}$ (가장 작은 고리)

(2) $\lambda L = 0.10197 D \text{ mm} \cdot \text{nm}$ (2번째 고리)

6.1.3 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA) 시스템의 검정

6.1.3.1 6가지 석면에 대한 투과전자현미경(TEM) 그리드를 준비한다.

6.1.3.2 규소 최고점을 채널 당 500 count의 수직 높이의 75 % 이상이 위하여 스펙트럼 검출시간(acquisition times)은 최소 100초 이상으로 한다.

6.1.3.3 모든 원소 피크 높이를 다음 조건과 같이 평가한다.

(1) 모든 피크를 규소에 일반화한다.

(2) 규소 피크에 비례하여 다른 피크의 규정된 각 원소의 피크 면적 비율을 계산한다.

(3) Na, Mg, Si, Ca 과 Fe 원소를 이용하여 섬유에 대한 원소 특성을 결정한다.

(4) 6가지 석면에 대하여 다양한 전형적인 원소 특성을 결정하고, 기록한다.

6.1.4 선택 범위 전자회절(SAED) 또는 미세회절 패턴 평가

6.1.4.1 시료홀더의 기울기를 “0”로 조정한다.

6.1.4.2 섬유를 중앙에 위치하고, 초점을 맞춘 후, 제한시야조리개(field limiting aperture)를 중앙으로 조절하여 섬유 중심에 놓는다.

6.1.4.3 독특한 패턴은 사진으로 기록하며, 향후 미지바탕시료 분석 시 사진 비교를 위하여 보관한다.

6.2 그리드 평가

6.2.1 그리드 면적 평가

6.2.1.1 슬라이드 위에 그리드를 놓고 200 메쉬(mesh) 중 20개의 임의의 그리드(grid opening)의 크기를 위상차 현미경의 월톤-버켓(walton-beckett)을 이용하여 측정한다.

6.2.1.2 기록된 자료로부터 활용하여 평균 그리드(grid opening)의 면적계산에 사용한다.

7.0 분석절차

7.1 전처리

7.1.1 시료 준비

ES 02303.1을 위하여 채취한 시료 중 분석하고 남은 부분을 사용하거나 ES 02303.1을 위한 시료채취 시 동시에 채취한 시료(side-by-side sample)를 준비한다.

7.1.1.1 투명화

(1) 코르크 보러(cork borer, 직경 8 mm)를 이용하여 시료 및 현장바탕시료에서 3개 시료를 분리한 후, 접착테이프(gummed paged reinforcement) 또는 다른 적절한 방법을 이용하여 부착한다.

(2) 아세톤 2 ~ 3 mL로 충분히 적신 종이 여과지(paper filter)를 가지고 있는 페트리 접시 안에 슬라이드를 놓고, 덮개를 덮은 후 2 ~ 4분간 녹이거나 투명화 시킨다. 투명화는 다이메틸폼아마이드(DMF) 혹은 아세톤 증기발생장치를 이용한 여과지 투명화 방법을 사용해도 된다.

7.1.1.2 플라즈마 회화

- (1) 투명화된 여과지를 에칭(etching) 처리하기 위하여 플라즈마 회화기를 이용한다.
- (2) 여과지의 적정 에칭(etching) 비율은 10% 이다.

7.1.1.3 탄소코팅

- (1) 준비된 슬라이드를 회전-경사를 조절할 수 있는 코팅기에 설치한 후 진공상태로 조정하며, 탄소 막대 전극을 이용하여 탄소 코팅을 한다.
- (2) 탄소 코팅은 단 시간동안 수차례에 걸쳐 실시하여, 분석에 적절한 두께로 코팅한다.

7.1.1.4 Jaffe 세정

- (1) 스테인리스로 된 세정기를 페트리 접시에 놓고, 렌즈 종이(1.0 cm × 0.5 cm)를 세정기 위에 여러 조각을 놓는다.
- (2) 아세톤 또는 다이메틸폼아마이드의 표면이 망 밑면에 닿아 렌즈 티슈가 충분히 포화되도록 세정기에 아세톤 또는 다이메틸폼아마이드를 채운다.
- (3) 투과전자현미경(TEM)용 그리드들을 핀셋 또는 수술용(#10)을 이용하여 렌즈티슈 위에 올린 후, 탄소코팅 된 여과지에서 한 변의 길이가 3 mm 이상 인 정사각형 모양으로 여과지를 분리하여 그리드 위에 올린다. 만약 탄소 코팅된 그리드를 사용하는 경우는 탄소 코팅된 부분이 아래로 가도록 올린다.
- (4) Jaffe 세정기가 설치된 페트리 접시의 덮개 덮고, 수 시간 동안 방치한다.

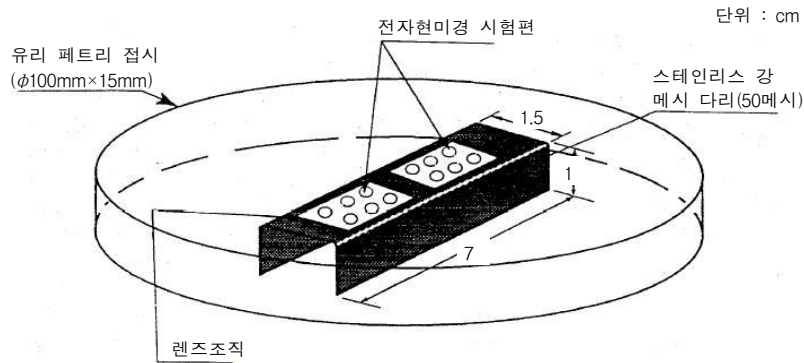


그림 2. Jaffe 세정기의 예

7.1.2 전처리 시료 그리드의 품질 기준

정확한 그리드를 얻기 위해 충분히 낮은 배율로(300 ~ 1,000배) 전자현미경의 투과전자현미경(TEM) 시험편 그리드를 검사한다. 다음과 같은 그리드인 경우에는 시험편에서 제외시킨다.

7.1.2.1 여과지 용해 과정에서 여과지가 제거되지 않은 경우 : 3개의 시험편 그리드 중 적어도 2개가 깨끗하지 않으면 추가로 세척하거나 새로운 시험편을 여과지로부터 준비

7.1.2.2 시료가 먼지 등으로 과적된 경우 : 그리드의 약 10 %이상 어두운 시료

7.1.2.3 그리드의 약 25 %에서 탄소코팅이 깨진 경우

7.1.2.4 그리드에 섬유가 과부화 된 경우 : 7,000 structures/mm² 이상이 경우 만약 위 내용 중 하나 혹은 그 이상이 있다면 시험편으로 분석할 수 없다.

7.2 분석방법

7.2.1 그리드 계수 기준

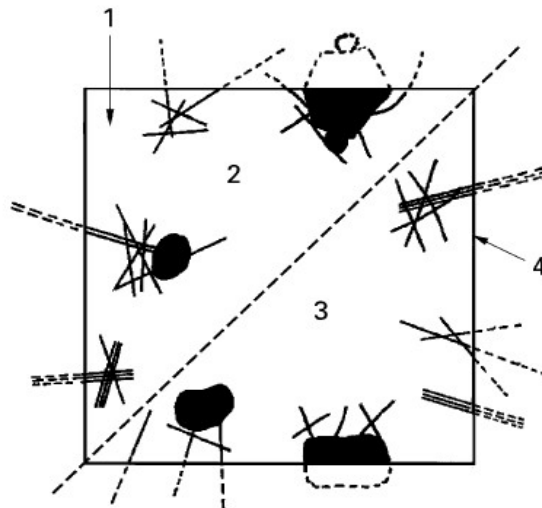
준비된 시료 3개 중 2개를 분석하고, 그 결과를 구조 밀도 계산 시 합산한다. 계수는 약 20,000 배율에서 계수하며, 이때 최소 4개의 그리드가 관측될 때까지 계수하는 경우를 제외하고는 100번째 석면 구조가 관찰되는 그리드에서 관측을 끝낸다. 그렇지 않

으면, 특정 분석 감도가 이르는 그리드의 시야 개수 까지 계속 계수한다.

일반반인 조사 그리드 시야 수는 4 ~ 20개이고, 분석 감도에 따라 그리드 수는 변경될 수 있다.

7.2.2 그리드 구조계수 기준

그리드 선을 교차하는 구조는 그림 3 에서 나타난 것처럼 그리드의 2면에서만 계수한다. 교체에 의해 모호한 부분은 명확한 부분과 동등한 것으로 기록한다. 점유상 구조가 다른 2면을 교차하는 경우 계수하지 않는다.



1 : 주사 방향, 2 : 비계수시야, 3 : 계수 시야, 4 : 그리드 면

그림 3. 그리드 막대를 교차하는 구조 계수의 예

관찰 시야 외부로 연장된 점유그리드 관찰 시, 이중 계수를 피하기 위해 관찰 외부 영향을 연장한다. 일반적으로, 계수 시야인 이사분면에서 시야외부로 연장된 점유에 한하여 계수한다. 길이 측정 및 계수방법은 그림 4 에 제시하고 있다. 단, 관찰 외부 영상 내에서 끝이 없는 점유를 계수하지 않는다.

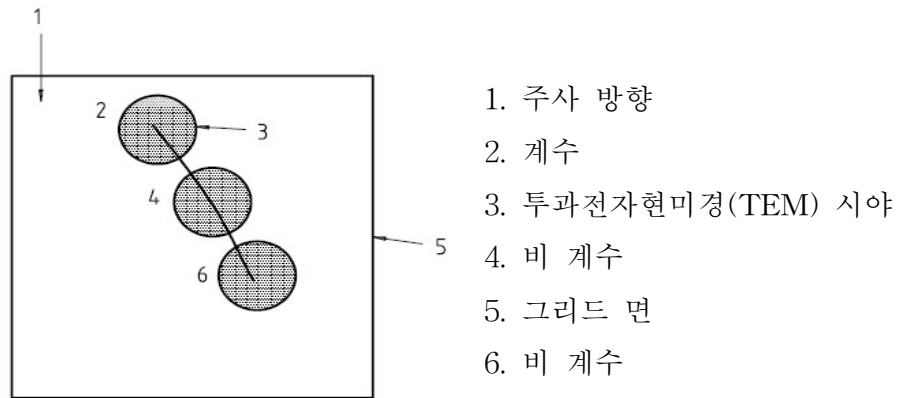


그림 4. 관찰 외부 영상을 확장하는 점유계수의 예

구조의 계수는 그림 5 와 같이 그리드의 시야를 이동하면서 관찰한다.

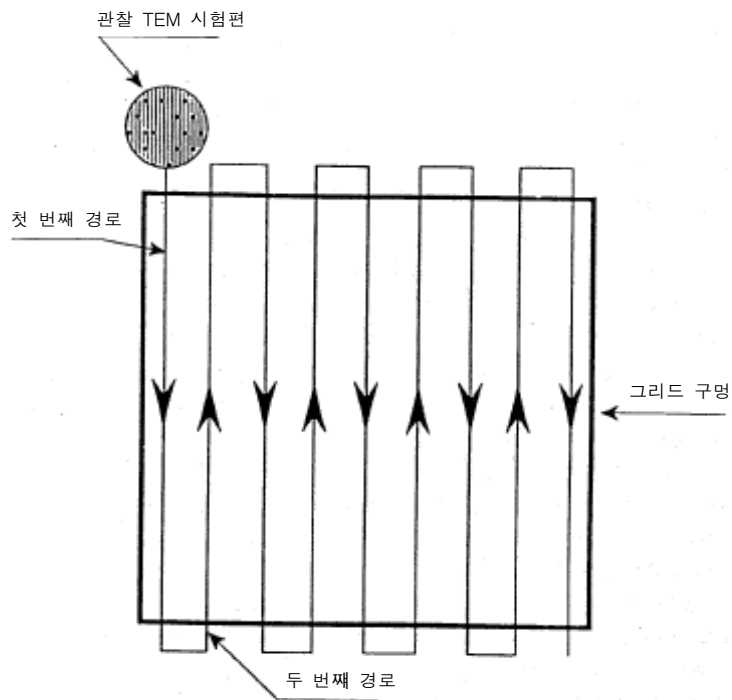


그림 5. 투과전자현미경(TEM) 시험편 관찰의 과정

7.2.3 계수 기준(counting criteria)

7.2.3.1 섬유(fiber)

구조계수 기준에 따라 “F”로 표시하며, 섬유가 섬유상 집합체 또는 매트릭스와 분리되어 계수된 부분인 경우이며 형태는 “CF(cluster fiber)”나 “MF(matrix fiber)”로 기록한다.

7.2.3.2 다발(bundle)

구조계수 기준에 따라 “B”로 표시하며, 섬유가 섬유상 집합체 또는 매트릭스와 분리되어 계수된 부분인 경우이며 형태는 “CB(cluster bundle)”나 “MB(matrix bundle)”로 기록한다.

7.2.3.3 섬유상 집합체(cluster)

분산, 밀집 형태에 따라 “CD(cluster disperse)”와 “CC(cluster compact)”로 구분하여 표시하며, “CD”와 “CC” 뒤에 2개의 아라비아 숫자로 기호에 대한 평가를 나타낸다. 길이가 감소하는 순서로 5개 이하의 섬유 또는 다발은 “CF(cluster fiber)”, “CB(cluster bundle)” 기호를 사용하여 분리하여 기록한다. 또한 주요 섬유 및 다발을 계수한 후, 섬유상 집합체가 잔존하고 있는 경우 이를 “CR(cluster residual)”로 표시한다.

잔류 섬유상 집합체에 다발화된 섬유들이 편재화된 그룹이 존재할 경우 하나의 섬유 집합체보다 많은 것으로 기록하고, 모든 섬유 집합체에 대하여 5개 이상은 기록하지 않는다. 첫 번째 자릿수는 1 ~ 9, +로 표시한다. 개수된 섬유수가 9개를 넘는 경우 +로 표시하고, 두 번째 자릿수는 계수된 섬유 중 5 μ m보다 긴 섬유수를 나타내고, 추가적인 기록은 “비고”에서 별도로 표시할 수 있다.

7.2.3.4 매트릭스(matrix)

분산, 밀집 형태에 따라 “MD(matrix disperse)”와 “MC(matrix compact)”로 구분하여 표시하며, “MD”와 “MC” 2개의 아라비아 숫자로 기호에 대한 평가를 나타낸다, 길이가 감소하는 순서로 5개 이하의 섬유 또는 다발은 “MF(matrix fiber)”, “MB(matrix bundle)” 기호를 사용하여 분리하여 기록한다. 주요 섬유 및 다발을 계수한 후, 섬유상 집합체가 잔존하고 있는 경우 이를 “CR(cluster residual)”로 표시하고, 잔류 섬유상 집합체의 다발화된 섬유들이 편재화된 그룹이 존재할 경우 하나의 섬유 집합체보다 많은 것으로 기록하며, 모든 섬유 집합체에 대하여 5개 이상은 기록하지 않는다.

기호 뒤 2개의 숫자는 섬유 집합체와 같이 표시하고, 추가적인 기록은 “비고”에서 별도로 표시할 수 있다.



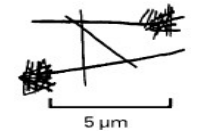
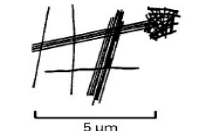
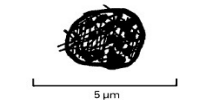
7.2.3.5 위상차현미경법 동등섬유

위상차현미경법 동등 섬유의 경우 계수기준에 해당되는 모든 섬유에 대하여 계수하며, 섬유가 그리드에 걸친 경우는 “0.5”개로 계수하며, 섬유의 길이와 폭을 기록하고, 중복 계수는 하지 않는다.

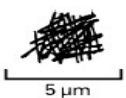
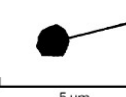
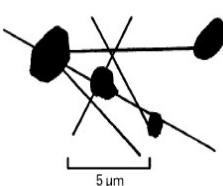
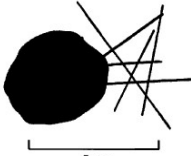
7.2.4 계수 및 기록

계수 기록 시 모든 계수 가능한 섬유, 다발, 집합체, 매트릭스는 1개의 구조로 계수한다. 단 위상차현미경법 동등 섬유, 다발, 집합체 매트릭스에서 계수 가능한 섬유에 대한 계수만을 기록한다.

표 1. 복합 석면 묶음 기록의 예

	<ul style="list-style-type: none"> - 9개 보다 많은 섬유 포함(5 μm보다 짧은 모든 섬유) - 1 밀집 섬유 집합체로 계수 - 기록 : 형태 MC+0, 섬유 0으로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 5개의 섬유로 이루어진 1개의 섬유 집합체(분산형)으로 계수하며, 4개의 섬유 5 μm이상 포함 - 기록 : 형태 CD54(5개 섬유는 모두 “CF”)로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 5 μm보다 긴 2개의 섬유를 포함한 4개의 섬유와 2개의 집합 잔류물로 이루어진 섬유 집합체로 계수 - 2개의 섬유 집합체는 각각 9개의 섬유보다 많이 포함 - 기록 : CD+2(4개 섬유는 CF), 나머지 2개 집합체는 CR+0으로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 3개 섬유로 이루어진 1개의 분산 섬유 집합체 - 2개 다발 중 1개는 5μm보다 길고, 1개는 “CR” - 기록 : CD+1, 각 3개 섬유는 “CF”로 표시, 2개 다발은 “CB”, 1개 섬유집합체 잔류물에 대하여 CR+0으로 기록 - 모든 섬유가 5 μm보다 짧음
	<ul style="list-style-type: none"> - 1개의 밀집 매트릭스로 계수 - 기록 : MC+0 기록

(표 계속)

	<ul style="list-style-type: none"> - 9개 보다 많은 섬유 포함(5 um보다 짧은 모든 섬유) - 1 밀집 섬유 집합체로 계수 - 기록 : 형태 MC+0, 섬유 0으로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 5 um보다 짧은 하나의 섬유로 이루어진 1분산 매트릭스로 계수 - 기록 : MD10(1개 섬유는 MF)로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 모두 5 um보다 긴 5개의 섬유로 구성된 1개 분산 매트릭스 - 기록 : MD55(5개 섬유 모두 MF)로 기록
	<ul style="list-style-type: none"> - 1개의 분산 매트릭스는 3개 섬유를 포함하고, 1개 섬유는 5 um보다 길고, 1개의 매트릭스 잔류물이 존재 - 기록 : MD61(1개 섬유는 MF), MR30으로 기록

7.2.5 분석 대상에 따른 계수 그리드 수 산정

먼저 부하에 따라 개수 그리드 수를 조정하여 분석하거나, 구조(structure) 분석의 분석 감도에 따른 계수 그리드 수 산정 식을 이용할 수 있다.

- (1) 낮은 부하(그리드 당 5개 섬유 미만) : 40개 그리드(grid opening)
- (2) 중간 부하(그리드 당 5 ~ 25개) 40개 그리드(grid opening) 또는 100개 섬유
- (3) 높은 부하(그리드 당 25개 이상) : 최소 6개 그리드(grid opening) 또는 최소 100개 섬유

7.2.6 섬유 식별 과정

기기 한계에 관련된 여러 인자와 시료의 특성은 특별한 섬유에 대한 모든 규정된 섬유 식별 하지 않을 수 있다. 그래서 기록은 분석에 포함된 의심스런 석면섬유를 확인할 수 있다.

총 섬유상의 최소 10 % 이상에 대하여 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)과 전자회절(ED)패턴을 확인하며, 이때 최소 3개 이상의 석면을 정성 분석해야 한다.

7.2.6.1 전자회절(ED)와 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA)를 이용한 분석

각 섬유에 대한 분석은 전자회절(ED)와 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA)를 이용한다. 백석면의 경우 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)으로 인한 손상이 가능하므로 전자회절(ED) 수행 후 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)을 실시하며, 각섬석류 석면의 경우에는 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)과 전자회절(ED)은 순서에 상관없이 사용한다.

에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)과 전자회절(ED)분석에 이용되는 표준시료는 NIST의 SRM 1866, 1867, 1867B, RM 8411, HSL(health & safety laboratory)의 HSL037, UICC 백석면(chrysotile), 청석면(crocidolite), 갈석면(amosite)를 표준시료로 할 수 있다.

7.2.6.2 전자회절(ED) 분석

석면 구조에 대한 개별 대상의 전자회절(ED)에 대한 시각적 확인(visual identification)이 필요하며, 투과전자현미경(TEM) 화면 중앙에 섬유상을 위치하도록 하며 ED 패턴을 획득하며, 이를 표준시료의 패턴과 비교하여 평가한다.

7.2.6.3 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)

석면 구조에 대한 개별 대상의 에너지 분산 엑스선 분석(EDXA)은 스펙트럼 해석을 정성 및 정량적으로 실시할 수 있다. 검출 시간은 최소 100초 이상으로 하여 충분하여 스펙트럼을 확보하며, 표준시료의 스펙트럼과 비교하여 평가한다.

7.2.7 결과의 계산

실내공기질공정시험기준 ES 02303.1의 “실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정 방법 - 위상차현미경법”을 이용하여 분석한 결과에서 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법의 시행규칙 별표 3의 기준을 초과하는 시료에 대하여 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 시료의 섬유상 먼지에 대한 석면 정성 분석 후, 아래의 식에 따라 공기 중

부유하는 섬유 중 석면 비율을 산정할 수 있으며, 이를 위상차현미경법 결과에 적용하여 공기 중 석면 농도(f/cc)를 계산할 수 있다.

$$C = C_{PCM} \times \frac{f_s - f_b}{F_s - F_b} \quad (\text{식 4})$$

여기서, C : 공기 중 석면 농도(f/cc)

C_{PCM} : 위상차현미경 분석에 의한 공기 중 석면 농도(f/cc)

f_s : 시료 중 석면으로 확인된 섬유의 개수

f_b : 현장 바탕시료 중 석면으로 확인된 섬유의 개수

F_s : 시료 중 석면과 비석면을 포함하는 모든 섬유의 개수

F_b : 현장 바탕시료 중 석면과 비석면을 포함하는 모든 섬유의 개수

8.0 결과보고

결과보고서에는 적어도 다음과 같은 것을 포함하여야 한다.

- (1) 시료번호
- (2) 시료 채취의 날짜와 시간, 그 외 시료채취와 관련된 모든 자료
- (3) 분석날짜, 분석자명
- (4) 구조 계수 자료(그리드 구멍수, 구조 수, 구조형태, μm 단위의 구조 길이와 넓이)
- (5) 석면 섬유의 공기 중 농도값은 소수점 둘째자리까지 표기하며, 농도가 0.01 개/cc 보다 작은 경우 '0.01 개/cc 미만'로 표시한다.
- (6) 5 μm 보다 긴 묶음과 석면섬유에 대한 4)번 항목
- (7) 위상차현미경법 동등 석면섬유와 묶음에 대한 4)번 항목

9.0 참고자료

9.1 USEPA, AHERA Federal Register 40CFR Part 763, "Interim Transmission Electron Microscopy Analytical Methods - Mandatory and Non Mandatory - And Mandatory section To Determine Completion of Response Actions", Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, MC 7101M, 1200 Pennsylvania Avenue, N.W Washington, DC 20460(2003)

9.2 ISO 10312, "Ambient air - Determination of asbestos fibres - Direct transfer transmission electron microscopy method", Case postale 56CH-1211 Geneva 20, Switzerland,(1995)

9.3 NIOSH Manual of Analytical Methods 7402, "Asbestos by TEM", National Institute for Occupational Safety and Health, Education and Information Division, Cincinnati, Ohio 45226,(1994)

10.0 부록

10.1 TEM 석면 구조 계수양식

<구조 계수의 양식>

준비날짜		작성자		분석수준(C)	
분석날짜		작성자		분석수준(A)	
컴퓨터 입력날짜		작성자			

기록번호		공기부피	L
시료번호		시료여과기 면적	mm ²
파일이름		배율	
시료설명		그리드 구멍의 크기	μm

그리드	계수 그리드	구조의 수		분류	구조의 형태	길이 mm	넓이 mm	비고
		초기	전체 (누적)					

10.2 투과전자현미경을 이용한 실내공기 중 석면 구조 농도 측정 방법

10.2.1 개요

10.2.1.1 목적

이 부록은 투과전자현미경을 이용하여 실내공기 중 석면구조농도(structures/cc)를 측정하기 위한 시험방법을 규정하고자 한다.

10.2.1.2 적용범위

(1) 이 측정방법에서 사용하는 시료의 형태로는 폴리카보네이트 혹은 셀룰로오스 에스터 여과지가 적합하고, 다중이용시설의 실내외 공기 중 석면을 결정하는데 사용한다.

(2) 이 측정방법의 측정범위는 50 ~ 7,000 structures/mm² 이다. 이들 값으로 표현되는 대기 농도는 채취된 대기의 부피 함수이며, 검출할 수 있는 석면 점유의 하한은 없다. 보고된 결과 값에서 구체화 할 수 있는 가장 짧은 길이는 0.5 μm로 정의한다.

10.2.1.3 간섭물질

1.3 간섭물질과 동일하다.

10.2.2 용어정의

2.0 용어정의와 동일하다.

10.2.3 분석기기 및 기구

3.0 분석기기 및 기구와 동일하며, 아래와 같은 분석기기 및 기구가 추가로 필요하다.

10.2.3.1 여과지

0.45 ~ 1.2 μm 공극, 25 mm 직경의 셀룰로오스 에스터(MCE, mixed cellulose ester) 혹은 폴리카보네이트(PC, polycarbonate) 재질의 여과지. 일반적으로 0.45 μm 공극의 여과지를 사용한다.

10.2.3.2 펌프

휴대용 배터리로 작동되는 펌프의 경우 연속적으로 선택된 시료채취시간 이상 작동할 수 있도록 충분한 배터리 용량을 가져야 한다. 펌프의 유량은 선택된 시료채취유량 이상 작동 할 수 있어야 하며, 유량의 진동이 없어야 한다. 펌프와 여과지홀더를 연결할 수 있어야하며, 연결관은 내압축성과 내누 수성이 있어야 한다. 여과기 통과하는 겔보 기 속도는 40 ~ 250 mm/s하며, 샘플링 기간 동안 $\pm 10\%$ 이내의 부피 흐름 속도 (volume flow rate)를 유지해야 한다.

10.2.3.3 스탠드(stand)

스탠드는 샘플링을 위해 원하는 높이에 여과기 상자를 지지하는 데 사용하며 펌프의 진동을 차단하여야 한다.

10.2.4 시약 및 표준용액

4.0 시약 및 표준용액과 동일하다.

10.2.5 시료채취 및 관리

10.2.5.1 시료채취량 및 측정시간

공기 중 석면 및 섬유상 먼지를 채취하기 위한 최소 공기 채취량은 1,200 L 이다. 시료채취 유량은 5 ~ 10 L/min으로 한다. 단, 미세먼지(PM_{10})의 농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도 환경에서는 많은 양의 공기를 채취하였을 때 현미경을 이용한 석면 및 섬유상 먼지의 분석이 어려울 수 있으므로 공기 채취량 선정에 주의하여야 한다.

10.2.5.2 시료의 채취

공기 중 석면 및 섬유상 먼지는 바닥으로부터 1.2 ~ 1.5m 높이에서 약 45도 각도로 아래로 향하도록 여과지홀더를 설치하고 여과지홀더의 입구를 완전히 개방하여 채취한다. 이용가능한 모든 정보를 동원하여 시료채취 지점 부근, 오염원의 형태 및 위치 등에 대해 기록한다.

시료채취조작은 다음과 같이 한다.

- (1) 시료채취용 펌프와 여과지홀더를 공기가 새지 않도록 연결한다.
- (2) 펌프의 전원을 켜고 채취시작시간을 기록한다.
- (3) 채취종료시간을 기록하고 채취공기량을 구한다.

10.2.5.3 채취시료의 관리

시료채취가 종료되면 여과지홀더의 뚜껑을 닫아 입구를 막고 탄성이 있는 테이프(혹은 필름)를 이용하여 뚜껑둘레를 감는다. 채취한 시료는 시료가 채취된 여과지면이 위로 향하도록 하고 진동을 최소화하여 실험실로 운반한다.

10.2.5.4 현장바탕시료(field blank) 측정

현장바탕시료의 수는 분석될 공기 중 시료의 10 %(최소한 2개로 함)에 해당하도록 한다. 현장바탕시료는 현장에서 여과지홀더의 입구를 열었다가 닫은 후 다른 시료와 함께 보관, 운반과정을 거쳐 실험실에서 다른 시료의 전처리 과정과 동일한 과정으로 분석한다.

10.2.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

10.2.6.1 투과전자현미경(TEM)

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)와 동일하다.

10.2.6.2 그리드 평가

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)와 동일하다.

10.2.6.3 시료채취용 펌프의 보정

실내공기질공정시험기준 ES 02303.1의 6.4 시료채취용 펌프의 보정과 동일하다.

10.2.7 분석절차

10.2.7.1 전처리

10.2.7.1.1 시료 준비

(1) 셀룰로오스 에스터(MCE) 여과지로부터 투과전자현미경(TEM) 시료 제작

7.1 전처리와 동일하다.

(2) 폴리카보네이트(PC) 여과지 투과전자현미경(TEM) 시료 제작

시료 채취 시 폴리카보네이트 여과지를 사용하였다면, 시료 전처리 시 플라스마 회화기를 이용한 회화처리가 생략된다.

가. 탄소코팅을 위한 여과지 선택

1) 세척한 핀셋을 사용해 여과지 카세트로부터 여과지를 꺼내어 세정된 슬라이드(75 mm × 50 mm 또는 25 mm) 글라스 위에 놓는다.

2) 여과지를 부착하기 위하여 두 개 양 테이프를 슬라이드 위에 길이에 따라 부착한다.

3) 여과지는 수술용 칼(#10)을 이용하여 3 mm 이상의 크기로 잘라내며, 분리된 여과지 조각들을 슬라이드 위의 접착 테이프 사이를 연결하면서 가운데 위치하도록 하며, 슬라이드 위에 유성펜 등을 이용하여 식별표시를 한다.

4) 탄소 코팅 대상 여과지를 제외한 여과지는 30일간 보관한다.

나. 여과지의 탄소코팅

1) 준비된 슬라이드를 회전-경사를 조절할 수 있는 코팅기에 설치한 후 진공상태로 조정하며, 탄소 막대 전극을 이용하여 탄소 코팅을 한다.

2) 탄소 코팅은 단 시간동안 수차례에 걸쳐 실시하여, 분석에 적절한 두께로 코팅한다.

다. Jaffe 세정

1) 스테인리스로 된 세정기를 페트리 접시에 놓고, 렌즈 종이(1.0 cm × 0.5 cm)를 세정기 위에 여러 조각을 놓는다.

2) 아세톤 또는 다이메틸폼아마이드의 표면이 망 밑면에 닿아 렌즈 티슈가 충분히 포화되도록 세정기에 아세톤 또는 다이메틸폼아마이드를 채운다.

3) 투과전자현미경(TEM)용 그리드들을 핀셋 또는 수술용(#10)을 이용하여 렌즈 티슈 위에 올린 후, 탄소 코팅된 여과지에서 한 변의 길이가 3 mm 이상 인 정사각형 모양으로 여과지를 분리하여 그리드 위에 올린다. 만약 탄소 코팅된 그리드를 사용하는 경우는 탄소 코팅된 부분이 아래로 가도록 올린다.

4) Jaffe 세정기가 설치된 페트리 접시의 덮개 덮고, 수 시간 동안 방치한다.

10.2.7.1.2 전처리 시료 그리드의 품질 기준

7.1.2 전처리 시료 그리드의 품질 기준과 동일하다.

10.2.7.2 분석방법

10.2.7.2.1 그리드 계수 기준

7.2.1 그리드 계수 기준과 동일하다.

10.2.7.2.2 구조 계수 기준(structure counting criteria)

각 섬유상 구조는 일차 구조로 분리하며, 섬유, 묶음, 다발, 매트릭스로 구분한다.

(1) 섬유(fiber)

평행 또는 단계로 된 면이 있고, 길이 대 지름 비(aspect ratio)가 5 : 1이나, 그 보다 큰 길이 대 지름 비(aspect ratio)를 갖고 있는 최소 0.5 μm 길이의 입자를 섬유라 함. 단계로 된 면을 가진 섬유는 최대와 최소 폭의 평균과 동일한 폭으로 배열하고, 평균은 길이 대 지름 비(aspect ratio) 측정에서 폭으로 사용

(2) 다발(bundle)

평행한 섬유의 구성 그룹은 평균 묶음폭과 똑같은 폭을 갖고, 구조의 최대 길이(5 : 1 이상)와 동일한 길이를 갖는 묶음

(3) 섬유 집합체(cluster)

다발의 관계없이 섬유가 2개 이상의 무질서 방위로 교차된 것을 섬유 집합체로 정의하고 두 가지 형태가 있음

1) 분산형(D, disperse cluster) : 각 섬유나 다발에서 적어도 하나가 분리 및 연결되고, 분리된 섬유의 크기를 측정할 수 있는 경우

2) 밀집형(C, compact cluster) : 복잡하고 빈틈없이 연결된 상태로서 각 섬유 또는 다발의 한쪽 또는 양쪽의 끝을 볼 수 없고, 정량할 수 없음

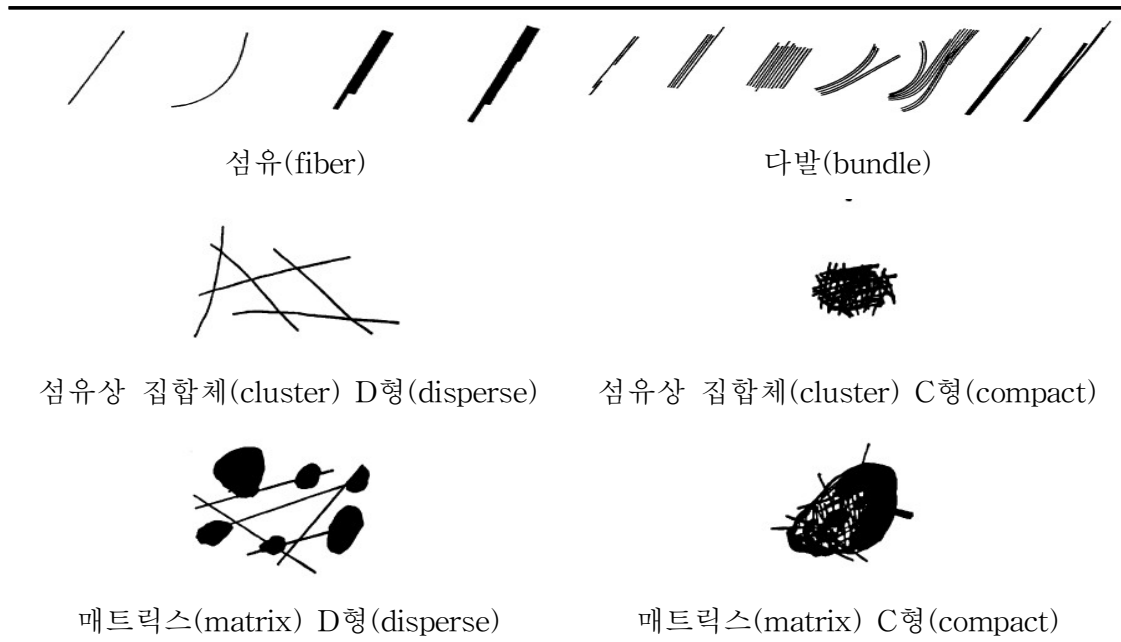
(4) 매트릭스(matrix)

하나 이상의 섬유 또는 다발이 단일 입자 또는 비섬유상 입자의 그룹에 부착 또는 가릴 수 있는 구조

1) 분산형(D, disperse cluster) : 각 섬유나 다발 중 일부가 겹쳐진 입자 또는 단일입자에 연결된 구조는 형태로서, 최소 1개 이상의 섬유 및 다발을 확인할 수 있고 크기도 측정할 수 있는 상태

2) 밀집형(C, compact cluster) : 입자나 입자의 그룹에 연결되어 이루어진 구조는 각 섬유와 묶음의 크기가 분명하기 보이지 않는다. 각 섬유와 묶음의 크기를 확실하게 정량하지 못한다.

표 2. 기본 형태학적 구조 모양



(5) 위상차현미경법 동등 구조

길이 대 지름 비(aspect ratio) 3 : 1 이상이고, 길이는 5 μm 보다 긴 모든 섬유, 다발, 섬유 집합체, 매트릭스이고, 지름 0.25 ~ 3.0 μm 를 갖는다.

(6) 위상차현미경법 동등 섬유

길이 대 지름 비(aspect ratio) 3 : 1 이상이고, 길이는 5 μm 보다 긴, 평행하고 층진 면으로 된 입자로서, 지름 0.25 ~ 3.0 μm 를 갖는다.

10.2.7.2.3 그리드 구조계수 기준

7.2.2 그리드 구조계수 기준과 동일하다.

10.2.7.2.4 계수 기준(counting criteria)

7.2.3 계수 기준과 동일하다

10.2.7.2.5 계수 및 기록

7.2.4 계수 및 기록과 동일하다

10.2.7.2.6 분석 대상에 따른 계수 그리드 수 산정

필요한 분석 감도를 얻기 위해서 구조 계산을 시작하기 전에 조사 시료의 면적을 계산한다. 아래 식을 사용하여 조사할 그리드망의 최대 수를 계산하며, 기준은 그리드 면적 0.0057 mm^2 이상과 분석 감도는 $0.005 \text{ structures/cc}$ 를 기준으로 한다. 단 필요시 그리드 면적 및 분석 감도는 필요에 따라 변경할 수 있다.

$$k = \frac{A_f}{A_g VS} \quad (\text{식 } 5)$$

여기서, k : 조사할 그리드(grid opening)의 개수.

A_f : 포집 여과지의 면적(mm^2)

A_g : 투과전자현미경(TEM) 시료 그리드(grid opening)의 면적(mm^2)

V : 포집 공기 부피(L)

S : 요구되는 분석 감도(structures/cc)

10.2.7.2.7 섬유 식별 과정

7.2.6 섬유 식별 과정과 동일하다.

10.2.7.2.8 결과의 계산

공기 1 cc당 구조(structure)의 수로 표현되는 평균 구조 농도 C 는 아래 식을 이용하여 계산한다.

$$C = A_e \times \frac{(S_a / G_n)}{G_a \times V} \quad (\text{식 6})$$

여기서, C : 공기 중 석면 구조 농도(structures/cc)

A_e : 포집 여과지 유효 면적

S_a : 석면 구조 수

G_n : 계수 그리드(grid opening) 수

G_a : 그리드 면적

V : 시료 채취 유량(cc)

10.2.8 결과보고

결과보고서에는 적어도 다음과 같은 것을 포함하여야 한다.

- (1) 시료번호
- (2) 시료 채취의 날짜와 시간, 그 외 시료채취와 관련된 모든 자료
- (3) 분석날짜, 분석자명
- (4) 구조 계수 자료(그리드 구멍수, 구조 수, 구조형태, μm 단위의 구조 길이와 넓이)
- (5) 석면의 구조 농도(structures/cc)
- (6) 분석감도(structures/cc)
- (7) $5 \mu\text{m}$ 보다 긴 묶음과 석면섬유에 대한 4)번 항목
- (8) 위상차현미경법 동등 석면섬유와 묶음에 대한 4)번 항목