

석면함유 천장재의 비산방지제 성능 평가 연구

김남준[†] · 곽주현 · 김지호 · 이재형 · 황범구 · 맹은호 · 선일식

한국화학융합시험연구원

A Study on Efficiency of Asbestos Scattering Inhibitor with Asbestos-Containing Ceiling Materials

Nam-Jun Kim[†], Ju-Hyun Kwak, Ji-Ho Kim, Jae-Hyung Lee,
Beom-Goo Hwang, Eun-Ho Maeng, and Yle-Shik Sun

Korea Testing & Research Institute, Gwacheon 13810, Korea

Received March 25, 2016/Revised April 21, 2016/Accepted May 12, 2016

In compliance with the Ministry of Environment's Asbestos Safety Management Act (enforced on 4. 28. 2012), the building owners are required to carry out asbestos building survey. Depending on the results of the surveys, the owners of such buildings need to implement necessary measures such as repairs, sealing, or closure of the relevant areas. In this study, a test for asbestos scattering limit on asbestos head lining and scattering tests before and after applying a scattering inhibitor on a subject target were implemented. The result of the asbestos scattering limit test confirmed the possibility of asbestos scattering on both the front and back side of the interior material. Tests regarding the efficiency of the scattering inhibitor showed that in the absence of the scattering inhibitor, the detected asbestos concentration exceeded the limit prescribed as per the indoor air quality guidelines; however, with the application of two types of scattering inhibitors, the asbestos concentration in the indoor air was less than the prescribed limit. These results confirmed that the asbestos scattering inhibitor is effective in suppressing the spattering of asbestos; however, it will be necessary to have regulatory controls such as the obligatory use of scattering inhibitor after development of which can prevent all asbestos scattering inhibitor. The results of this study are expected to be utilized as base data for both the maintenance and development of various management programs aimed at an effective maintenance of asbestos building material.

Key words: Asbestos, Scattering inhibitor, Ceiling materials, Interior materials

1. 서 론

석면은 인체에 노출 시 석면폐증(석면에 의한 폐의 섬유화), 폐암, 악성중피종(흉막이나 복막에 생기는 암)을 유발할 수 있는 물질로, 국제암센터(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서는 Group 1, 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency)의 통합 유해성 정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System)에서는 Group A등급의 인체발암물질로 분류하고 있다. 석면의 흡입량에 따라 다르지만 잠

복기간을 석면폐증은 2540년, 폐암이나 중피종은 1530년으로 두고 있어 석면으로 인한 피해 증상이 단시간에 나타나지 않는다.¹⁾

석면의 종류별 인체 유해성 정도는 청석면 > 갈석면 > 백석면 순이고, 백석면은 폐에 들어가도 어느 정도 용해된다고 알려져 있다. 청석면과 갈석면은 백석면보다 날카롭고 특히 청석면은 폐에서 용해되는데 100년 이상 소요된다.²⁾

국내에서는 1997년 갈석면, 청석면에 이어 2003년부터 석면 3종(트레몰라이트, 악티놀라이트, 안소필라이트)

[†]To whom correspondence should be addressed.

의 제조·수입·양도·제공·사용이 금지되었으나, 백석면은 노동부 장관의 허가를 받아 수입·사용 등이 가능하여 2005년에는 6,477톤을 수입하였다.³⁾

수입된 석면은 건축자재 등에 사용되었고, 국내 공공 건물의 석면함유 실태를 조사한 결과 조사대상 224개 공공건물 중 170개 건물에서 석면이 검출되어 약 75%의 검출율을 나타내었고, 농가건물 지붕재의 경우 약 38%, 학교건물의 경우 약 84%에서 석면이 확인되었다. 석면 함유 천장재는 2000년 이전에 사용된 것도 많아서 노후화로 인한 대책 마련이 시급한 실정이다.⁴⁾

미국 석면 긴급 대응법(AHERA, Asbestos Hazard Emergency Response Act)에서는 비비산성 석면함유물질(ACM, asbestos containing materials)을 범주 I과 범주 II로 구분하고 있다. 범주 비비산성 석면함유물질은 편광현미경(PLM, polarized light microscope) 방법을 사용하여 석면 함유량 1% 이상이 검출된 석면함유 페킹, 가스켓, 탄성장판이나 아스팔트 지붕재 제품이고, 범주 비비산성 석면함유물질은 건조 상태일 때 부스러뜨릴 수 없고, 손으로 분쇄할 수 없거나 가루로 만들 수 없는 물질이다. 이러한 물질을 편광현미경 방법에 따라 분석하였을 때 1% 이상의 석면을 함유하고 있는 범주 I 비비산성 석면함유 물질을 제외한 모든 물질이다. 이는 폭풍우나 강한바람 같은 혹독한 기상조건이나 높은 온도와 습도의 장기간 노출이 기상조건으로 인해 이루어졌을 때 비산하게 되는 물질이다. 천장재의 경우 노후됐을 때 폐기하지 않는 이상 공기 중으로 노출될 잠재적인 위험성이 항상 존재하며 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

외국의 경우 미국재료시험협회(ASTM, American Society for Testing and Materials)에서는 석면 안정화제의 성능 실험은 실험실내 실험과 현장실험으로 나눠 제시하고 있으며, 성능 검사 항목은 부착강도, 침투깊이, 내화성, 내충격성, 표면 연소 특성으로 총 5가지의 성능 검사를 실시하도록 규정하고 있다. 일본은 석면 비산방지제에 대한 성능 평가 및 인정 규정이 마련되어 있으며, 호주의 경우 호주 페인트 협회의 단체규격으로 석면 시멘트판에서 석면이 비산되지 않도록 페인트로 표면을 둘러싸는 기준을 명시하고 있다.⁵⁾

현재 환경부 석면안전관리법(2012.4.28.시행)에 따라 건축물 소유자는 해당 건물에 대하여 석면조사를 실시해야 한다. 석면조사 결과 해당 건물이 석면건축물로 지정이 되면 석면 건축물 관리기준에 따라 6개월마다 석

면자재의 손상상태 및 석면의 비산 가능성을 등을 조사해야 한다. 결과에 따라 석면자재를 보수, 밀봉, 구역 폐쇄 등 조치가 필요하다. 조치방법 중 석면자재를 밀봉하는 방법이 크게 대두되고 있지만 현재 사용되고 있는 석면비산방지제의 성능평가가 미비한 실정이다.

이 연구는 학교 등의 다중이용시설에 많이 사용된 천장재의 표면특성 관찰을 통한 비산위험성을 파악하고, 석면 비산방지제를 이용하여 석면함유 천장재의 잠재적인 비산 위험성 저감기술에 대한 활용방안을 검토하고자 한다. 본 연구 결과는 효율적인 건축물 석면관리를 위한 다양한 유지 및 관리 프로그램 개발을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 천장재의 표면 시험

석면이 함유된 천장재의 표면에 석면이 어떤 형태로 존재하는지 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope)을 이용하였다. 앞, 뒷면 모두 표면을 2,000~8,000배로 확대하여 천장재의 표면에 석면이 노출되어 있는지 확인하였다.

2.1.1. 시험 재료

(1) 시험체

시험체는 석면이 규제되기 시작한 2009년 이전에 K사에서 편광현미경 분석 시 백석면이 대략 5% 함유된 천장재를 구매하여 사용하였다.

(2) 시험 장비

천장재의 표면을 확대해서 관찰하기 위해 주사전자현미경을 사용하였다. 주사전자현미경은 electron source에서 electron beam을 시료에 조사하여, 시료와 전자간의 상호작용에 기인한 이차적으로 발생하는 다수의 전자를 검출하여 시료 표면을 관찰하는 원리로 FEI사의 NOV-ANANOSEM 440을 이용하여 천장재의 표면을 확대하여 석면 비산 가능성을 확인하였다.

2.1.2. 시험 방법

각 천장재를 일부 크기로 절단하여 stub에 고정시키고 분석을 위하여 백금(Pt)으로 코팅 후 표면상태를 확인하였다. 시험방법은 KS D ISO 16700:2013 (마이크로빔 분석-주사전자현미경-영상배율조정지침)⁶⁾을 적용하였다.

Table 1. Result of analysis on asbestos scattering inhibitor

Manufacturer (manufacturing country)	Content(%)					
	C	O	Na	Zn	Si	Fe
M (Japan)	-	56.58	5.81	-	13.80	-
C (Australia)	71.08	12.58	0.04	1.87	11.75	0.21

2.2. 천장재의 비산성 시험

2.2.1. 시험 재료

(1) 시험용 시험체 제작

비산성 실험, 표면 손상 후 비산성 실험, 파쇄 후 비산성 실험에 사용된 천장재의 실험용 시험체는 비산성 측정기와 파쇄 시 석면농도측정기 챔버 내 제작된 규격에 따라 300 mm × 300 mm로 재단하였다.

(2) 석면 비산방지제의 선정

석면 비산방지제는 국내산 3종을 비롯해 미국, 일본, 호주에서 생산된 제품의 KS M 2757:2014 (석면 비산방지제 성능 시험방법)⁷⁾에 따른 성능시험을 통하여 그 중에서 성능이 우수한 일본산 1종(무기질계), 호주산 1종(유기 및 합성수지계)을 선정하였다. 무기질계 비산방지제의 경우 Si 성분이 20% 정도 확인되었고, 유기 및 합성수지계의 경우 C 성분이 70% 이상 함유되어 있는 것으로 확인되었다. 시험에 사용된 비산방지제 성분 분석결과는 Table 1과 같다.

(3) 석면 비산방지제 처리

석면 비산방지제를 처리한 이후 천장재가 환기시설 등의 내부 기류에 노출될 경우 석면 섬유를 비산을 억제하는 효과를 평가하기 위한 목적으로 비산방지제를 도포한다. 시험체를 촉진시키기 위해 KS M 2757:2014 (석면 비산 방지제 성능 시험방법)⁷⁾에 따라 비산방지제를 도포한 시험체를 온도 60±3°C, 습도 95±5%에서 16시간 동안 보관, 유지 후 온도 60±3°C에서 8시간 보관, 유지하였고, 이 조작을 10회 반복하였다.

(4) 비산성 측정기

자체 제작된 비산성 측정기는 풍압에 의해 섬유의 비산유무를 확인하기 위한 목적으로 설계되었으며, 압력차 98 kPa(대략 10 m/s)의 공기를 약 15 cm 떨어진 위치에서 시료 표면에 균일하게 분사하는 장치이다. 비산되는 섬유를 멤브레인 필터를 이용하여 5~10 L/min, 60분 동안 채취한다. 오염을 방지하기 위하여 챔버를 진공청소기로 청소 후, 종이타월로 닦아낸 후 카세트 홀더를 소정의 위치에 설치한다. Fig 1(a)는 비산성 측정기이다.

(5) 파쇄 시 석면농도측정기

풍압에 의한 섬유의 비산유무를 확인하는 목적으로 파

쇄 시 석면농도측정기를 이용하여 대략 3~5 m/s의 유속으로 공기를 순환시켜 분사한다. 동시에 530 g의 추를 1 m 높이에서 낙하시켜 시험체를 파쇄한다. 비산되는 섬유를 멤브레인 필터(지름: 25 mm, 공극크기: 0.8 μm)를 이용하여 5~10 L/min, 60분 동안 채취한다. 오염을 방지하기 위하여 챔버를 진공청소기로 청소 후, 종이타월로 닦아낸 후 카세트 홀더를 소정의 위치에 설치한다. Fig 1(b)는 파쇄 시 석면농도 측정기이다.

(6) 위상차현미경(PCM, Phase Contrast Microscope)

위상차현미경은 표본에서 발생하는 미세한 위상의 차이를 진폭의 차이로 바꾸어 높은 명암비의 이미지로 관찰할 수 있는 원리로 석면이 아닌 섬유상을 계수하는 방식으로 실내공기질 권고기준은 0.01 fiber/mm² 이하이다. Nikon사의 Eclipse 80i를 이용하여 400배율로 분석하였다.

(7) 투과전자현미경(TEM, Transmission Electron Microscope)

electron source에서 electron beam을 시료에 조사하여, 시료를 투과한 전자선을 전자렌즈에 의해 확대하여 상을 얻는 장비로, 형태와 크기를 관찰하고, 원소의 종류 및 정량 분석을 하며, 회절패턴에 의한 결정구조를 해석할 수 있다. FEI사의 Tecnai G2 12 Sprit 120 kV를 이용하였으며, 최대 200만배의 배율로 분석이 가능하다. 석면 분석 시 2만배의 배율로 분석하였다.

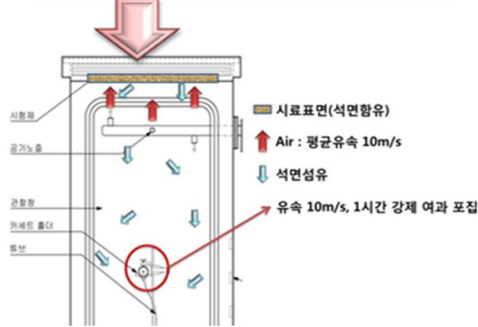
2.2.2. 실험 방법

(1) 석면 비산방지제 도포 전·후 천장재의 석면 비산성 실험

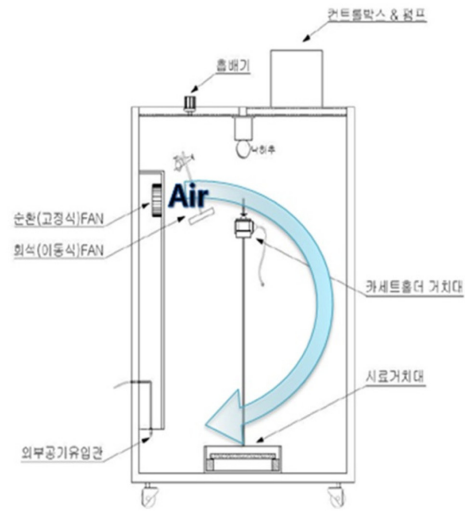
환기시설 등에 의해 바람이 노출될 경우 석면 섬유의 비산을 평가하기 위함으로 천장재의 표면분석 시 앞부분과 뒷부분 모두 공기 중으로 노출될 가능성이 있다고 판단하여 두 부분 모두 평가하였다. 천장재의 석면 비산성 실험 순서는 Fig. 2와 같다.

(2) 석면 비산방지제 도포 전·후 천장재의 표면 손상에 의한 석면 비산성 실험

표면 손상에 의한 석면 비산성 실험은 외부요인(전기 공사, 천장공사 등)에 의하여 천장재 표면에 손상이 발



(a) Friability measuring equipment



(b) Crushing equipment

Fig. 1. The shape of friability measuring equipment (a) and crushing equipment (b).

생된 경우, 석면 섬유 함유의 비산 유무를 평가하기 위한 목적이 있다. 표면손상 정도는 미국 AHERA 1등급 심한 훼손을 기준으로 하였고, 표면손상 방법은 면적대비 10%의 손상 분포를 만들기 위하여 일정한 크기의 지름(3 cm)을 가진 장치로 깊이 2 mm의 손상을 입혔다. 최종 표면손상 개수는 9개이며, 천장재의 표면 손상에 의한 석면 비산성 실험 순서는 Fig. 3과 같다.

(3) 석면 비산방지제 도포 전·후 천장재의 파쇄 시 석면 비산성 실험

낙하 등 외부요인에 의하여 천장재가 파쇄되는 경우 석면 섬유 함유의 비산 유무를 평가하기 위한 목적으로 석면 비산방지제의 도포 전·후 천장재를 석면농도측정기 챔버에 삽입하여 530 g의 추를 1 m 높이에서 낙하시켜 시험체를 파쇄한다. 챔버 내의 유속은 에어컨 흡기 및

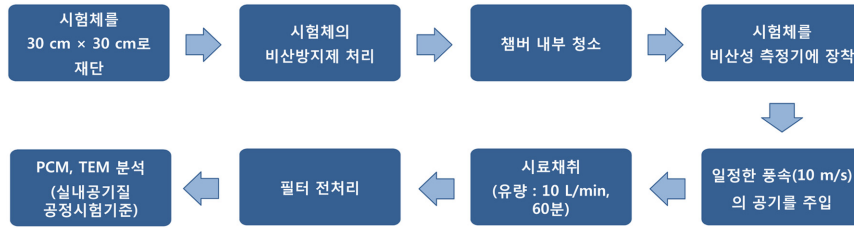


Fig. 2. Flow chart of scattering test.

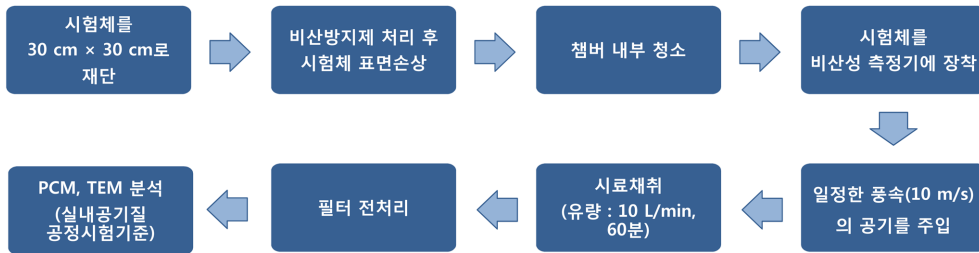


Fig. 3. Flow chart of damaging test.

배기구의 유속인 3~5 m/s를 유지하며 5~10 L/min, 60분 동안 채취한다. 천장재의 파쇄 시 석면 비산성 실험 순서는 Fig. 4와 같다.

(4) 전처리된 시료의 분석방법

채취된 시료를 환경부 실내공기질공정시험기준에 따라 위상차현미경법과 투과전자현미경법을 이용하여 분석하였다. 위상차현미경법의 경우 시료채취용 홀더에 내장된 셀룰로스 에스테르 멤브레인 필터를 4등분하여 아세톤증기화장치를 이용하여 투명화시킨 후 triacetone 용액을 이용하여 고정시킨다. 위상차 현미경 접안렌즈에 삽입된 Walton-Beckett Graticule 내에 섬유 계수법을 이용하여 100개의 시야를 분석하였다.

석면 및 섬유상 먼지의 농도는 식 1에 의하여 구한다.

$$C = \frac{A \times (N_1 - N_2)}{a \times V_{(25^\circ\text{C}, 1\text{atm})} \times n} \times \frac{1}{1000} \quad (\text{식 1})$$

여기서, C: 공기 중 석면 및 섬유상 먼지의 농도(개/cc)

A: 유효 포집면적(cm²)

N₁: 위상차현미경으로 측정한 시료의 총 섬유수(개)

N₂: 위상차현미경으로 측정한 바탕시료의 총 섬유수(개)

a: 현미경으로 측정한 1시야의 면적(cm²)

V_(25°C, 1atm): 환산한 채취 공기량(L)

n: 계수한 시야의 총수(개)

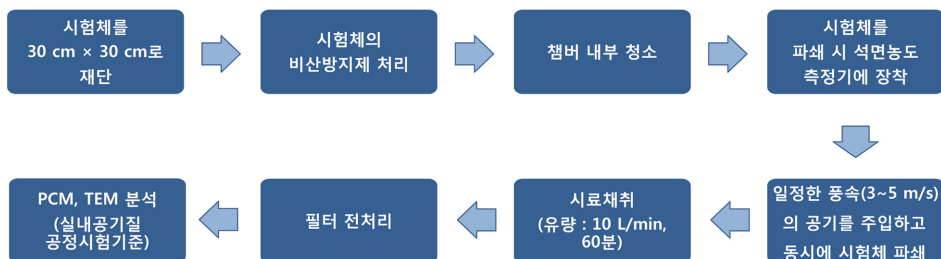


Fig. 4. Flow chart of crushing test.

채취한 공기는 25°C, 1기압 조건으로 식 2에 따라 보정하여 환산한다.

$$V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})} = V \times \frac{T_{(25^{\circ}\text{C})}}{T_2} \times \frac{P_2}{P_{(1\text{atm})}} \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, $V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})}$: 25°C, 1기압일 때 기체의 부피 (m^3)

$T_{(25^{\circ}\text{C})}$: 25°C의 절대온도(°K) ($298^{\circ}\text{K}=273+25^{\circ}\text{C}$)

$P_{(1\text{atm})}$: 1기압(atm)

V: 실제로 채취한 기체의 부피(m^3)

T_2 : 기체를 채취할 때의 절대온도(°K) ($^{\circ}\text{K}=273+^{\circ}\text{C}$)

P_2 : 기체를 채취할 때의 기압(atm)

투과전자현미경법의 경우 공기 중 석면 및 섬유상 먼지를 채취한 여과지와 현장 바탕시료에서 3개의 시료를 분리한 후, 아세톤으로 적신 종이 여과지가 있는 페트리 접시 안에 슬라이드를 놓고, 덮개를 덮은 후 5분간 투명화시킨다. 이 연구에서 투명화는 아세톤 증기화 장치를 이용하였으며, 다이메틸포아미이드(DMF) 용액을 이용하는 방법도 있다. 투명화된 여과지의 섬유들을 고루 분포시키기 위해 플라즈마 회화기를 이용하여 에칭 처리한다. 에칭 처리가 끝난 샘플은 탄소 코팅기에 설치 후 탄소 막대 전극을 이용하여 탄소 코팅을 해준다.

스테인리스 스틸 세정기(Jaffe 세정기)를 페트리 접시에 놓고, 그 위에 렌즈필터를 여러 조각 놓는다. 아세톤 또는 다이메틸포아미이드 용액이 세정기 밑면에 닿아 렌즈필터가 충분히 적셔지도록 채운다. 투과전자현미경용 그리드를 렌즈필터 위에 올린 후, 탄소 코팅 된 여과지를 한 변의 길이가 3 mm 이상의 정사각형 모양으로 분리하여 그리드 위에 올린다. 덮개를 덮고, 수 시간 방치한 후 분석한다.

공기 1 cc당 구조의 수로 표현되는 평균 구조 농도 C는 식 3을 이용하여 계산한다.

$$C = A_c \times \frac{(S_a/G_n)}{G_a \times V} \quad (\text{식 } 3)$$

여기서, C: 공기 중 석면 구조 농도(structures/cc)

A_c : 포집 여과지 유효 면적

S_a : 석면 구조 수

G_n : 계수 그리드 수

G_a : 그리드 면적

V: 시료 채취 유량(cc)

3. 결과 및 고찰

3.1. 천장재의 표면 분석 결과 및 고찰

Fig. 5와 같이 주사전자현미경을 이용하여 2,000~8,000배로 표면분석 결과 앞면도 뒷면과 마찬가지로 미세한 석면섬유가 노출되어 있는 것을 확인하였다. 천장재는 시공 시 노출되는 부분과 노출되지 않은 부분으로 구분할 수 있으며, 노출되는 부분은 흰색으로 코팅이 되어 제조되기 때문에 석면이 비산될 가능성이 없다고 생각하여 석면 비산 방지제를 사용할 때도 앞부분은 제외하는 경우도 있지만, 향후 앞, 뒷면 모두 비산방지제 처리가 필요할 것으로 판단된다.

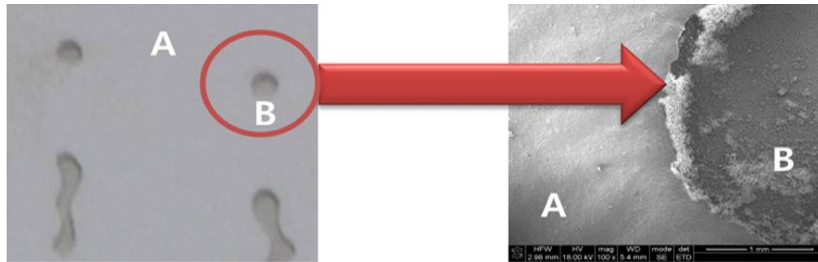
3.2. 천장재의 석면 비산성 실험 결과 및 고찰

석면 비산성 측정기를 이용하여 천장재의 코팅된 앞부분에 대한 비산성 실험 결과는 Table 2와 같다. 무처리군의 경우 위상차현미경법은 실내공기질 권고기준 미만이었지만, 0.005 fibers/mm²의 농도가 확인되었다. 또한 투과전자현미경법에서도 검출되는 것으로 확인되었다. 천장재의 앞면을 비산방지제로 도포하였을 경우 2종 모두 위상차현미경법에서는 검출한계 미만, 투과전자현미경법에서는 분석감도 미만으로 확인되었다. 분석감도란 공기 중 석면의 구조 농도를 계산한 것으로, 동일한 분석 조건으로 한 개의 석면구조가 산출된 것과 동등한 것을 의미한다.

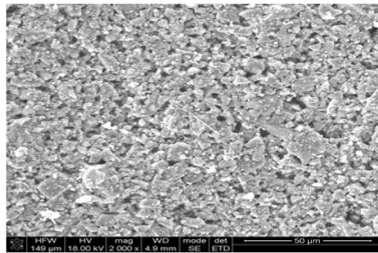
천장재의 뒷부분에 대한 비산성 실험 결과는 Table 3과 같다. 위상차현미경법의 경우 코팅된 앞부분과 다르게 실내공기질 권고기준을 초과하였다. 투과전자현미경법의 경우도 석면이 검출되는 것으로 확인되었다. 천장재의 뒷면을 비산방지제로 도포하였을 경우 2종 모두 위상차현미경법에서 섬유상이 검출되었지만, 투과전자현미경법에서는 분석감도 미만으로 확인되었다. 따라서 위상차현미경법에서 검출된 섬유상 물질은 석면 섬유가 아닐 개연성이 있다. 일본 M사에서 제조한 비산방지제를 도포하기 전·후 위상차현미경과 투과전자현미경 분석 사진은 Fig. 6과 같다.

3.3. 천장재의 표면 손상에 의한 석면 비산성 실험 결과 및 고찰

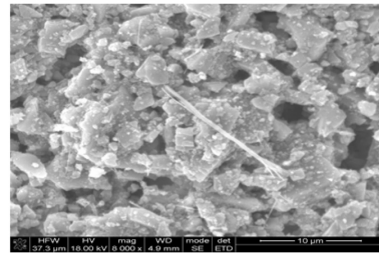
천장재의 표면을 손상했을 때 석면 비산성 측정기를 이용하여 분석한 농도는 Table 4와 같다. 위상차현미경법의 경우 무처리했을 때 실내공기질 권고기준의 5배에 해당하는 농도가 검출되었고, 투과전자현미경법의 경우



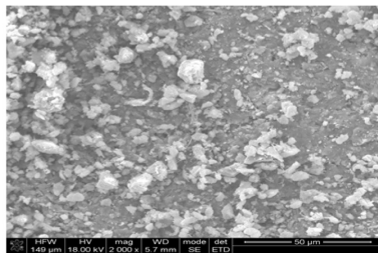
(a) The front side of interior material



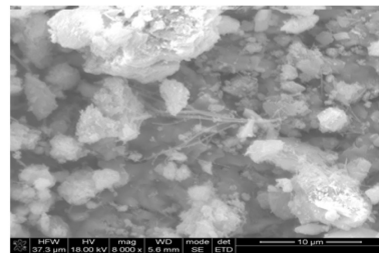
(b) A area (×2,000)



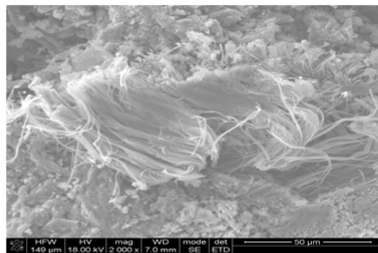
(c) A area (×8,000)



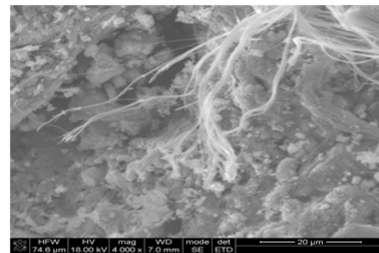
(d) B area (×2,000)



(e) B area (×8,000)



(f) The back side of a inerior material (×2,000)



(g) The back side of a inerior material (×4,000)

Fig. 5. Scanning electron microscope images of ceiling materials surface.

Table 2. Result from scattering test on the front side of ceiling material

Asbestos scattering inhibitor	Test Method	Sample No.			
		1	2	3	Ave
Blank	PCM Method (fibers/mm ²)	0.005	0.005	0.006	0.005
	TEM Method (structures/cc)	0.005	0.006	0.005	0.005
Asbestos scattering inhibitor (M)	PCM Method (fibers/mm ²)	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045
	TEM Method (structures/cc)	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003
Asbestos scattering inhibitor (C)	PCM Method (fibers/mm ²)	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045
	TEM Method (structures/cc)	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003

Table 3. Result from scattering test on the back side of ceiling material

Asbestos scattering inhibitor	Test Method	Sample No.			
		1	2	3	Ave
Blank	PCM Method (fibers/mm ²)	0.021	0.023	0.019	0.021
	TEM Method (structures/cc)	0.016	0.013	0.013	0.014
Asbestos scattering inhibitor (M)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.005	0.006	0.006	0.006
	TEM Method (structures/cc)	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003
Asbestos scattering inhibitor (C)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.005	0.006	0.005	0.005
	TEM Method (structures/cc)	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003

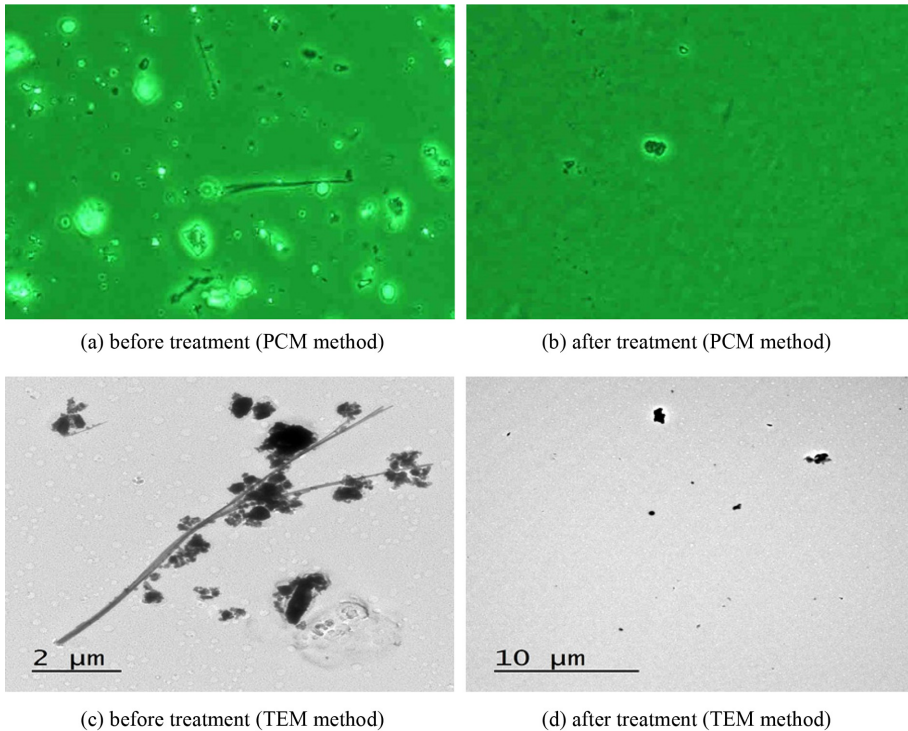


Fig. 6. Photomicrographs from testing on ceiling material before and after asbestos scattering inhibitor applied.

도 농도가 0.045 structures/cc로 100 μm 이상 석면 섬유가 검출되는 것으로 확인이 되었다. 비산방지제로 도포 후에는 위상차현미경법에서는 실내공기질 권고기준 미만에 해당하는 결과가 확인되었고, 투과전자현미경법에서도 무처리군에 비해 훨씬 낮은 석면이 확인되었지만, 비산방지제가 천장재 내부까지 완벽히 침투하지 않았다.

3.4. 천장재의 파쇄 시 석면 비산성 실험 결과 및 고찰

파쇄 시 석면농도측정기의 추를 이용하여 천장재를 파

쇄했을 때 석면 비산성 실험 결과는 Table 5와 같다. 무처리군의 경우 위상차현미경법은 실내공기질 권고기준의 4배에 해당하는 농도가 검출되었고, 표면을 손상한 시료와 유사한 값을 나타내었으나, 투과전자현미경법에서는 0.025 structures/cc의 값을 나타내었다. 비산방지제를 도포한 경우 모두 실내공기질 권고기준 미만에 해당하는 값을 나타내었다.

Fig. 7(a)에서와 같이 천장재의 석면 비산성, 손상 후 석면 비산성, 파쇄 후 석면 비산성 측정 결과 무처리했을 때 천장재 앞면의 경우 다중이용시설 실내공기질 권고기준 미만에 해당하는 결과를 나타내었다. 하지만 잠

Table 4. Result of scattering test during damage of ceiling material

Asbestos scattering inhibitor	Test Method	Sample No.			
		1	2	3	Ave
Blank	PCM Method (fibers/mm ²)	0.053	0.047	0.051	0.050
	TEM Method (structures/cc)	0.045	0.039	0.051	0.045
Asbestos scattering inhibitor (M)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.011	0.009	0.008	0.009
	TEM Method (structures/cc)	0.006	0.01	0.006	0.007
Asbestos scattering inhibitor (C)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.010	0.008	0.007	0.008
	TEM Method (structures/cc)	0.01	0.006	0.01	0.009

Table 5. Result of scattering test during crush of ceiling material

Asbestos scattering inhibitor	Test Method	Sample No.			
		1	2	3	Ave
Blank	PCM Method (fibers/mm ²)	0.040	0.042	0.044	0.042
	TEM Method (structures/cc)	0.028	0.023	0.023	0.025
Asbestos scattering inhibitor (M)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.009	0.009	0.008	0.009
	TEM Method (structures/cc)	0.011	0.006	0.011	0.009
Asbestos scattering inhibitor (C)	PCM Method (fibers/mm ²)	0.009	0.011	0.006	0.009
	TEM Method (structures/cc)	0.011	0.006	0.006	0.008

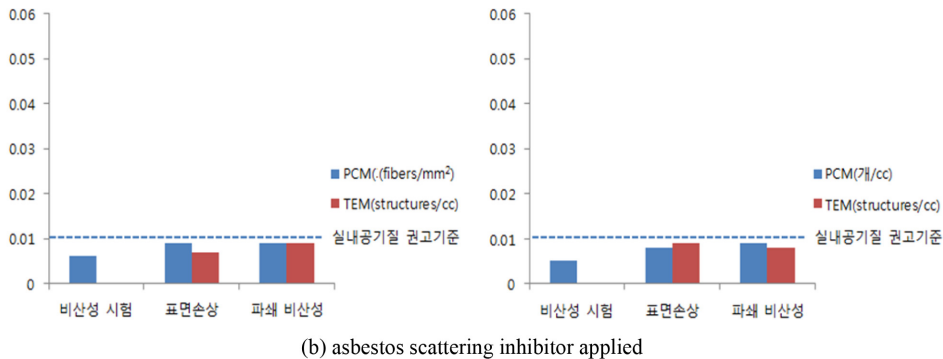
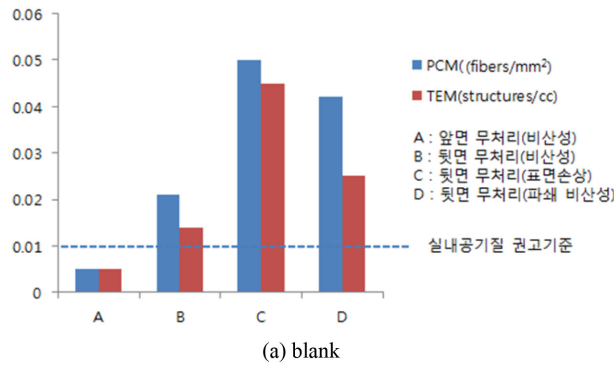


Fig. 7. Comparison of density on blank (a) and asbestos scattering inhibitor applied (b).

재적으로 석면이 노출될 가능성은 충분히 있다는 것을 확인하였고, 천장재 뒷면의 비산성, 손상, 파쇄 시 비산

성 실험에서는 모두 기준치를 초과하였다. 천장재를 파쇄했을 때보다 표면손상했을 때 석면의 농도가 높게 검

출되는 원인은 천장재가 손상되는 표면면적이 크기 때문일 것으로 판단된다.

실내공기질 권고기준을 초과한 실험에 대해서 2종의 비산방지제를 도포한 후 비산성 실험, 표면손상, 파쇄 시 비산성 실험에서는 일부 시료에서 20 μm 이상의 석면 섬유도 확인이 되었지만, 모든 결과에서 실내공기질 권고기준에 만족하는 결과를 나타내었다(Fig 7(b)).

4. 결 론

이 연구에서 석면내장재 중 천장재의 비산방지제 처리 전·후 석면비산 특성을 분석하기 위하여 석면 비산성 실험, 표면 손상에 의한 석면 비산성 실험, 파쇄 시 석면 비산성을 평가하였다. 이에 대한 결과치를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

천장재의 비산방지제 도포 전·후 석면 비산성 실험 결과 천장재의 코팅된 앞면도 투과전자 현미경법에서 석면이 확인되었다. 향후 비산방지제 도포 시 기존의 방법인 뒷면 도포 방식에서 양쪽면 모두 도포하는 방식으로 전환해야 할 것으로 판단된다. 실험결과 코팅이 되지 않은 뒷면의 경우 무처리 시 실내공기질 권고기준을 초과한 반면, 비산방지제가 도포된 천장재의 경우 기준을 초과하지 않아 향후 석면함유 천장재의 철거 또는 비산방지제의 의무 사용이라는 법적인 규제가 필요할 것이다.

무처리된 천장재가 표면이 손상되거나 파쇄되었을 때의 석면 농도는 예측한대로 고농도가 검출되었다. 비산방지제가 도포된 천장재의 경우는 일부 석면이 검출되었지만, 실내공기질 권고기준 이하의 값을 나타내어 비산방지제가 석면의 비산을 억제하는 기능이 있다는 것을 확인하였다.

이 연구는 석면 내장재 중 천장재에만 한정되었는데 향후에는 더 많이 노후화되고, 비산 가능성이 더 큰 슬레이트, 분무재 등의 자재에 대한 연구가 이뤄져야 할 것이다. 또한 비산방지제 도포 후 표면 손상이나 파쇄 시 석면이 전혀 비산되지 않도록 자재의 내부까지 고품질화시킬 수 있는 고품질의 비산방지제가 개발되어야 할 것이며, 비산방지제 도포 후 시간경과에 따른 성능실험

을 통해 사용주기에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 생활공감 환경보건기술개발사업인 “석면함유 건축자재별 비산방지 및 제어기술 개발을 통한 적용 및 평가 시스템 구축”의 지원으로 수행되었습니다(2013001350001).

참고문헌

1. M. R. Becklake, “Asbestos-related diseases of the lung and other organs”, *American Review of Respiratory Disease*, **1976**, 187-227.
2. 정다위, 류지연, 이성효, 윤정인, 오길중, 정명숙, 김남준, “폐기물 중 석면 분석방법 확립에 관한 연구”, *국립환경과학원 최종보고서*, **2007**, 1-2.
3. KONETIC 보도자료, “석면 수입 전면 금지”, **2006**, 1-2.
4. 선일식, 이재형, 황범구, 신현규, 박화미, “생활공감 환경보건기술개발사업 석면함유 내장재별 비산방지 및 제어기술 개발을 통한 적용 및 평가시스템 구축 최종보고서”, *환경부 최종보고서*, **2013**, 3-11.
5. 임호주, 임정연, 최아름, 정현성, 이주영, 김은주, 장성기, 최경희, “석면함유 내장재 비산방지 관리방안 연구”, **2010**, 9-13, 국립환경과학원 최종보고서.
6. 산업통상자원부 국가기술표준원, “KS D ISO 16700: 마이크로빔분석-주사전자현미경-영상배출 교정 지침”, **2013**, 1-22.
7. 산업통상자원부 국가기술표준원, “KS M 2757:석면 비산 방지제 성능 시험방법”, **2014**, 1-9.
8. 송태협, 김영훈, 이세현, “진동 및 풍속인자에 따른 내화 피복재 석면비산방지를 위한 비산방지제의 적용성 분석”, *한국폐기물학회지*, **2009**, 26(5), 428-437.
9. 김영훈, 송태협, 이세현, “석면 내장재 비산방지를 위한 침투성 경화제의 고품화 특성 연구”, *대한건축학회 학술발표대회논문집 구조계*, **2010**, 30(1), 241-242.
10. 김현욱, “석면슬레이트 표면에서 시간에 따른 석면섬유 방출연구”, *한국산업위생학회지*, **2010**, 432-438.
11. 산업통상자원부 국가기술표준원, “KS L 5300:고형시료 중의 석면 분석방법”, **2009**, 1-17.