

## 석면 함유 천장재의 안정화제 희석에 따른 침투깊이 연구

신현규\* · 최용규 · 전보람 · 하주연

한국산업기술시험원

## A Study of Penetration Depth into Ceiling Materials containing Asbestos according to Dilution Rate of Scattering Prevention Agent

Hyungyoo Shin\* · Youngkue Choi · Boram Jeon · Jooyeon Ha

Material & Components Technology Center, Korea Testing Laboratory

### ABSTRACT

**Objectives:** This study is designed to analyze the penetration performance into ceiling materials containing asbestos of scattering prevention agents and investigate the change in penetration depth and viscosity according to the dilution rate of anti-scattering agents diluted with distilled water.

**Methods:** Five different types of scattering prevention agents were spread on plate-type asbestos ceiling materials. The penetration depth of each coated ceiling material was measured by energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis, based on X-ray fluorescence (XRF) results of the non-coated ceiling materials. Test equipment installed the ceiling materials and 60 minutes were collected at a flow rate of 10 l/min at a filter of 25 mm.

**Results:** An EDS analysis of the cross-section of ceiling materials constructed with a scattering prevention agent revealed that potassium is detected in the process of penetrating hardener solidification and this element could be an indicator for infiltration. When anti-scattering agents with different viscosities were constructed and the penetration depth was analyzed by potassium detection assessment using EDS, the depth results with viscosities of 5.0, 2.5, and 1.9 cP were 98.5, 103, and 147  $\mu$ m, respectively. Penetration performance improved with decrease in viscosity.

**Conclusions:** For asbestos ceiling materials, it is concluded that a higher dilution rate of the scattering prevention agent leads to lower viscosity, and hence a deeper penetration depth from 156  $\mu$ m to 3 mm. The asbestos anti-scattering properties according to the penetration depth will be confirmed through further study.

**Key words:** asbestos, dilution, penetration depth, scattering prevention agent, viscosity

### I. 서 론

국내 석면 규정은 건축물에 사용된 석면함유 건축 자재의 해체·제거가 주요 관리방안으로 제시되고 있으나(Bae et al., 2012; Jeon et al., 2013), 미국, 일본 등에서는 비용, 공사 기간, 사후 안정성 등의 측면을 고려하여 석면 함유 건축물의 안전하고 지속적인 사용

을 위한 새로운 관리 방안 및 규정을 제시하고 있다. 미국재료시험협회(American Society for Testing and Materials, ASTM)에서는 석면 관리를 위해 둘러쌈(Encasement)과 안정화(Encapsulation)방법을 권장하고 있으며, 뿔칠재의 안정화를 위한 시험기준(ASTM E 1494-92)을 제시하고 있다(ASTM, 2002). 또한, 일본 국토교통성에서는 2006년 건축기준법에서 건축물

\*Corresponding author: Hyungyoo Shin, Tel: 02-860-1574, E-mail: hgshin@ktl.re.kr  
Korea Testing Laboratory, 87 Digitalro 26-gil, Guro-gu, Seoul, 152-718  
Received: March 3, 2015, Revised: March 23, 2015, Accepted: March 24, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

관리를 위한 석면 안정화제를 인증하였고, 일본의 건축물에 주로 사용된 뿔칠재의 석면 비산 관리를 할 수 있는 규정을 명시하여 운영하고 있다(JTCCM, 2007; MLIT of Japan, 2009). 이에, 국내에서도 석면 비산 안정화제(이하 안정화제) 활용에 대한 필요성이 제시되고 있으며, 2009년 건설기술연구원에서는 나노 실리카 및 알칼리 이온을 이용하여 100% 무기질계 안정화제를 개발하는 등 안정화제 관련 연구가 진행되어 왔다(KICT, 2009). 하지만, 현재까지도 안정화제 자체의 성분이나 원리, 시공 방법 등에 대해서 명확하게 검증된 바가 없고, 제조사 별로 제시되는 사양에만 의존하고 있기 때문에 안정화제의 기초 특성 및 성능에 대한 연구가 필요한 상황이다.

무기계 안정화제는 무색, 무취 액상형태의 물질로, 용제가 석면 함유 건축자재의 표면 또는 내부로 침투하여 외부에서 가해지는 풍속이나 진동 등의 물리적 영향으로 인하여 발생할 수 있는 석면 비산을 방지하는 기능을 한다. 또한, 파손면의 보수 작용과 상부면에서 적층된 먼지와 함께 비산될 수 있는 석면 입자에 대해서도 안정화가 가능한 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2011). 최근에는 안정화제가 석면 함유 건축자재의 표면뿐만 아니라 내부까지 침투될 수 있어 비산성능 평가에 파쇄시험 항목이 포함되어 연구되고 있다(Kim et al., 2010). 파쇄 성능은 표면뿐 아니라 시료 내부까지 침투된 안정화제가 석면 섬유를 고착화하여 비산되는 석면의 농도를 최소화 할 수 있기 때문에 표면에서 내부로 침투되는 침투 깊이가 중요한 특성이라 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 증류수로 희석시킨 안정화제의 희석 비율에 따른 침투율에 관하여 연구하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구에서는 건축자재 중 석면이 함유된 천장재를 대상으로 연구를 진행하였으며 포함된 석면의 종류 및 함유량은 편광현미경(Polarized Light Microscope, PLM, ZEISS Axio Scope.A1, Carl ZEISS, Germany)으로 분석하였다. Scanning electron microscopy(SEM, MIRA 3 XMU, TESCAN, Czech)와 Energy dispersive

spectroscopy(EDS, X-act, OXFORD, Germany)를 이용하여 미세구조와 섬유상 구조를 가진 물질의 성분을 분석하였다.

### 2. 안정화제 특성 평가

안정화제는 석면의 비산 방지 역할을 하는 약품으로 유기계와 무기계로 분류된다. 본 연구에서는 일본에서 시판되는 무기계 제품 3종과 국내 무기계 제품 2종을 선정하였으며 안정화제의 밀도, 점도, 고형분 함량, pH 등 기초 특성 및 구성 성분을 분석하였다.

### 3. 성능 시험 평가

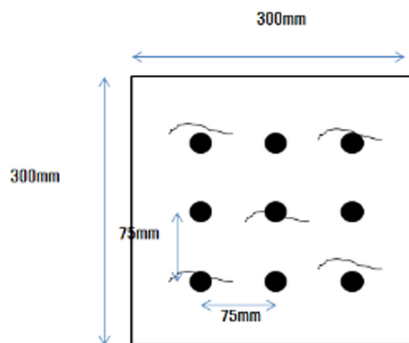
안정화제의 비산 방지 성능 평가는 Figure 1에서 보는 바와 같이, 석면 함유 천장재를 30×30 cm 크기로 절단하여 안정화제로 처리한 후, 에어로존 시험기 상부에 설치하여 성능 평가 시험을 수행하였으며, 자세한 시험 조건은 Table 1과 같다. 에어로존 시험 장치 내부에 이물질이 없도록 청소한 후 천장재를 설치하고 25 mm의 필터에서 10 ℓ/min의 유량으로 60 분간 채취하였다. 채취한 공기 중 시료는 위상차현미경(Phase Contrast Microscope, PCM, ZEISS Axio Scope.A1, Carl ZEISS, Germany)으로 분석하였으며 파손 시험의 경우, Figure 2에서 보는 바와 같이 30×30 cm 크기의 천장재에 안정화제를 도포한 후 직경 7 mm의 드릴을 이용해 간격이 75 mm가 되도록 9개의 구멍을 뚫어 성능 평가를 진행하였다.



Figure 1. Test equipment used to measure the concentration of airborne asbestos particles

**Table 1.** Test conditions of Airozone performance evaluation

Test conditions	Value
Angular spread(Air)	90°
Pressure difference	95 KPa
Flow velocity	10 ℓ/min
Time	60 min

**Figure 2.** Mimetic diagram of damaged asbestos-containing ceiling materials

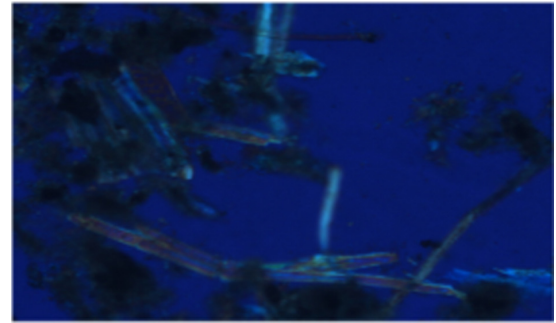
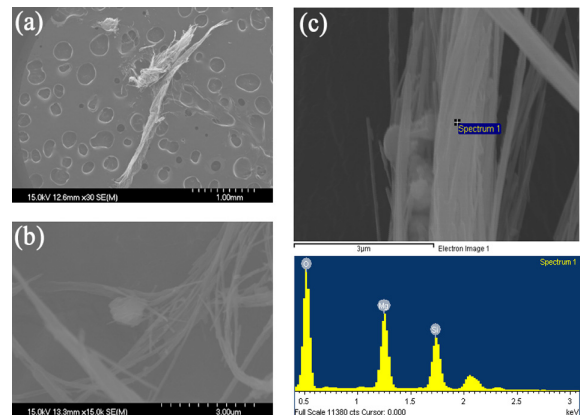
#### 4. 침투 깊이 평가

본 연구에서는 천장재에 처리된 안정화제의 침투 여부와 깊이를 확인하기 위하여 성분 분석이 가능한 EDS 분석 방법을 사용하였다. 안정화제가 처리되지 않은 천장재와 안정화제가 처리된 천장재의 EDS 분석을 통한 성분 비교를 통해 천장재 표면에서 수직 방향으로 point 분석을 실시하여 안정화제 성분의 검출 경계를 확인한 후, 수평 방향으로 이동해 물질의 검출 여부를 확인하는 방식으로 침투 깊이를 측정하였다.

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 천장재의 기초 특성 결과

Figure 3은 석면의 PLM 사진으로, 분석 결과 본 연구에 사용한 천장재는 백석면 3%가 함유되어 있

**Figure 3.** PLM image of asbestos-containing ceiling materials**Figure 4.** (a), (b) SEM micrographs of asbestos fibers in ceiling materials; and (c) the corresponding EDS profile analysis for the SEM image

음을 확인하였다. 석면의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 통해 석면의 섬유상 특징과 주요 성분인 Mg와 Si 성분이 검출됨을 확인하였다(Figure 4).

#### 2. 안정화제의 기초 특성 결과

안정화제 5종의 고형분 함량, 점도, 비중 및 pH의 분석 결과는 Table 2와 같다. 5종의 안정화제가 점도에서 가장 큰 차이를 보였고 나머지 물성으로 인한 차이는 크지 않았다. 고형분은 전체적으로 10~18

**Table 2.** Basic properties of scattering prevention agents

	A	B	C	D	E
Type	inorganic	inorganic	inorganic	inorganic	inorganic
Solid [wt%]	14~16	12~15	10~12	16~18	10~12
viscosity [cP]	5.6	2.2	2.5	5.0	1.9
specific gravity	1.11~1.15	1.08~1.12	1.10~1.15	1.15~1.18	1.08~1.12
pH	11.2	12.1	11.7	11.5	11.8

**Table 3.** Elemental composition of scattering prevention agents in wt% by XRF method

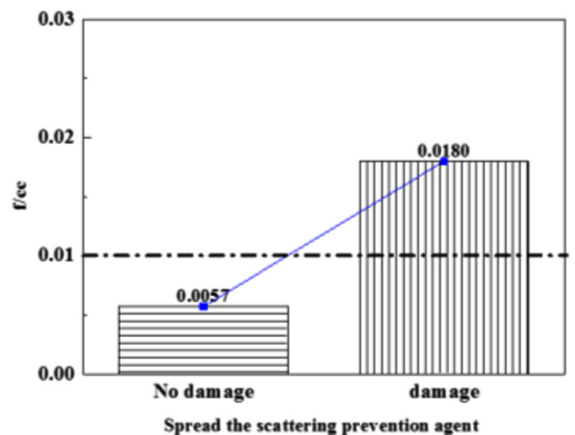
Component [wt%]	A	B	C	D	E
Na	6.03	0.262	0.174	8.11	0.232
Mg	0.0095	0.0106	-	-	-
Al	0.122	0.0151	0.0141	0.16	0.0849
Si	43.0	28.7	25.2	90.1	32.5
P	0.0046	-	-	-	0.0140
S	0.0425	0.0121	-	0.0703	0.033
Cl	0.153	-	-	-	-
K	50.2	71.0	72.0	1.03	67.1
Ca	0.299	0.0477	0.0341	-	0.186
Fe	0.202	0.0464	0.0422	0.534	-
Rb	0.0166	0.0249	0.0162	-	-
Zr	0.0277	-	-	0.0633	-
Ni	-	0.0244	-	-	-

wt%, 비중은 1.10~1.25로 5가지 제품 모두 비슷한 물성을 나타냈으며, pH의 분포는 pH 11~12로 알칼리성을 띄었으며 점도는 1~5 cP로 분포하였다.

안정화제의 XRF 분석 결과, 5종의 안정화제에서 공통적으로 Si, Na, K 성분이 다량 검출되었고, 이는 무기질 안정화제의 기초 물질로 알려진 Na 및 K이 Si와 다양한 방식으로 결합된 규산염이 주된 성분을 이루고 있기 때문인 것으로 판단되었다(Table 3).

### 3. 안정화제 처리 후 성능 평가 결과

30×30 cm 크기의 천장재에 희석하지 않은 안정화제를 스프레이를 이용하여 250 g/m<sup>2</sup> 기준으로 도포한 후 Figure 1의 에어로존 시험기를 이용하여 Table 1의 조건에서 성능 평가를 실시하였다. Figure 5의 결과와 같이 안정화제 처리를 한 경우에는 0.0057 f/cc로 실내 공기질 기준(0.01 f/cc)을 초과하지 않는 결과가 나왔지만, 안정화제 처리 후 Figure 2와 같이 파손하고 성능 평가를 실시한 결과 0.0180 f/cc로 실내 공기질 기준을 초과하는 결과를 보였다. 이를 통해 천장재에 안정화제를 도포했을 경우 공기 중으로 비산되는 석면의 농도를 감소시키지만, 천장재가 파손될 경우 안정화제가 내부로 충분히 침투되지 않아 고착화되지 못한 석면 섬유로 인해 비산 농도가 증가됨을 확인할 수 있었다. 따라서 파손이 발생하는 경우를 고려하여 천장재 내 안정화제 침투 깊이를 증가시킬 필요가 있다.


**Figure 5.** PCM-asbestos fiber concentrations measured after spread-coating the scattering prevention agent and damaging the ceiling materials

### 4. 침투 깊이 평가 결과

EDS 분석을 통해 안정화제 처리 전 Mg, Si, O, C, Al 등 약 7가지 성분이 검출되었지만 안정화제 처리 후 Mg 성분의 양이 크게 감소하고 안정화제 도포 전에 존재하지 않던 K 성분이 검출됨을 확인할 수 있었고(Table 4), 안정화제 도포 후 Figure 4(c)에서 확인한 석면 섬유의 구성 성분인 Mg 검출량이 감소되어 안정화제가 석면 표면에 고착된 것으로 판단되었다.

안정화제 처리 전에 천장재에 존재하지 않던 K 성분

**Table 4.** EDS analyses results(wt%) on asbestos-containing ceiling materials before and after spread the scattering prevention agents

Element [wt%]	A		B		C	
	Before	After	Before	After	Before	After
C	8.47	9.78	8.46	11.15	8.20	11.88
O	59.63	60.19	58.65	49.69	53.34	55.54
Na	0.71	2.69	0.21	5.64	0.61	1.13
Mg	13.39	9.26	15.66	0.72	11.08	0.78
Al	1.16	0.75	0.65	0.11	0.63	0.33
Si	7.04	7.31	6.90	18.51	7.25	16.02
K	-	2.41	-	10.50	-	7.80
Ca	9.59	7.61	9.47	3.67	18.89	6.52

Element [wt%]	D		E	
	Before	After	Before	After
C	8.2	14.36	8.25	18.54
O	58.13	55.34	56.85	53.40
Na	0.98	15.2	0.45	0.77
Mg	14.89	-	16.85	1.02
Al	1.29	0.23	1.25	0.51
Si	7.10	12.86	6.65	17.75
K	-	2.01	-	3.05
Ca	9.4	-	9.7	4.96

**Table 5.** Viscosities of diluted scattering prevention agents with different concentration of distilled water of 0, 20, 40, 60, and 80%

Concentration of distilled water	Viscosity(cP)				
	A	B	C	D	E
0%	5.6	3.2	2.5	5.0	1.9
20%	2.3	2.0	2.0	3.7	1.8
40%	1.8	1.7	1.7	2.4	1.3
60%	1.5	1.4	1.5	1.8	1.3
80%	1.3	1.2	1.2	1.4	1.2

이 안정화제 처리 후 검출되는 것을 확인하고 K성분을 안정화제 침투 깊이 확인을 위한 지표로 선정하여 EDS 분석으로 안정화제의 침투 깊이를 확인하였다.

Figure 6 및 Table 5는 각각 EDS 분석을 이용한 안정화제 종류에 따른 침투 깊이 결과와, Vibro Viscometer로 측정한 안정화제 점도 결과이다. Figure 6에서 알 수 있듯이 희석하지 않은 안정화제의 침투 깊이는 평균 113  $\mu\text{m}$ 로 6 mm의 천장재 기준 약 2% 정도 침투 되며, 내부 침투가 거의 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 점도는 안정화제 자체가 수용성이

므로 증류수를 이용한 조절이 가능하기 때문에 Table 5와 같이 희석 비율별로 점도를 변화시켜 침투 깊이를 확인하였다.

Figure 6에서 침투 깊이가 가장 우수했던 안정화제 B를 대상으로 20, 40, 60 그리고 80%의 비율로 희석하여 석면 함유 천장재에 도포한 후 희석 비율별 침투 깊이를 측정하여 모식도로 나타내었다(Figure 7). 희석하지 않은 안정화제는 천장재 내 침투 깊이가 156  $\mu\text{m}$ 인 반면 80% 희석한 경우 침투 깊이가 3.6 mm로 20배 이상이었다.

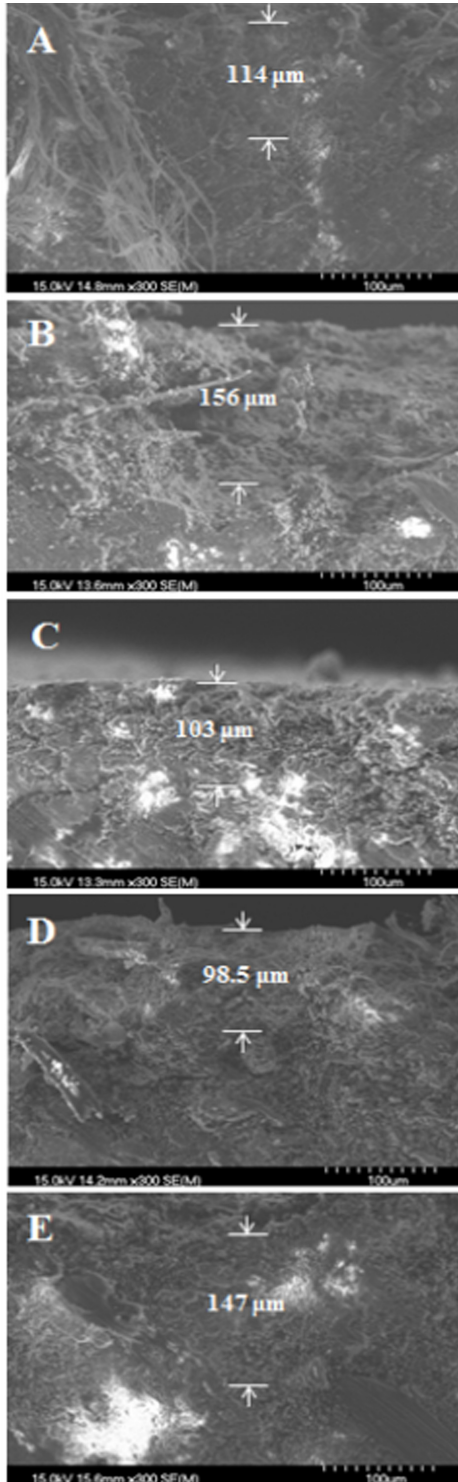


Figure 6. The penetration depth according to type of undiluted scattering prevention agent

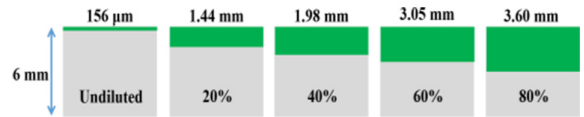


Figure 7. The penetration depth of diluted scattering prevention agent B

## IV. 결 론

석면 함유 천장재의 안정화제 처리 시 천장재 내부로의 침투가 충분히 이루어지지 않아 외부의 자극으로 인한 파손이 발생할 경우 공기 중으로 비산되는 석면의 농도가 급격히 증가하는 결과를 바탕으로 안정화제의 침투 깊이 확인 및 향상 방법을 연구하였으며, 증류수를 이용한 안정화제의 비율별 희석을 통해 안정화제의 점도를 낮추어 점도에 따른 안정화제의 침투 깊이를 확인하였다.

성분 분석 결과 무기질계 안정화제는 주로 Na, K, Si 성분으로 구성되어 있으며, 안정화제 도포 전 천장재는 Mg, C, O 등이 주요 성분으로 구성되어 있음을 확인하였다. 안정화제 처리 후 석면 섬유의 구성 물질인 Mg의 양이 크게 감소하고 안정화제의 K 성분이 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 K 성분을 기준으로 EDS 분석을 통해 천장재 표면에서 수직방향으로 point 분석을 실시하여 K가 검출되지 않는 경계를 확인한 후 수평방향으로 이동해 검출 유무를 확인하여 안정화제의 침투 깊이를 확인하였다.

위의 방법을 바탕으로 증류수의 비율이 20, 40, 60 그리고 80%가 되도록 안정화제를 희석하여 점도를 낮춘 후 희석 비율별로 안정화제의 침투 깊이를 확인한 결과 희석시키지 않은 경우 156  $\mu\text{m}$  침투된 반면 80%희석한 경우 3 mm로 희석 비율이 높아질수록 침투 깊이가 향상됨을 확인하였다. 따라서 추후 희석으로 인한 안정화제의 침투 깊이 변화에 따른 안정화제 성능평가를 통해 공기 중 비산되는 석면의 농도가 최소화 되는 조건 연구를 진행할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국환경산업기술원 생활공감 환경보건 기술개발사업(2013001350002)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.



## References

- American Society for Testing and Materials(ASTM) E 1494-92. Standard practice for encapsulants for spray- or trowel-applied friable asbestos-containing building materials.; 2002
- Bae JM, Kim YC, Won AN, Hong WH. A study on the improvement of residential environment in building of asbestos cement slate through the survey - focusing in seoul city-. Arch Inst Kor 2012;28(12): 399-406
- Japan Testing Center for Construction Materials(JTCCM). Special review: test of capability of anti-friable encapsulant materials, building material testing information.; 2007
- Jeon RY, Yu YS, Lee CS. The checklist & manual development for safe dismantling of asbestos building materials. Arch Inst Kor 2013;29(7):117-124
- Korea Institute of Civil engineering and building Technology(KICT). Smart monitoring of indoor asbestos based on the distinct optical properties of asbestos from particulate matters.; 2009
- Kim YH, Song TH, Lee SH. The characteristics of penetrating hardener solidification to prevent flying-asbestos material. Arch Inst Kor 2010;30(1): 241-242
- Kim YH, Song TH, Lee SH. The entraining properties of plate type asbestos ceiling materials using prevent flying-asbestos coat. Arch Inst Kor 2011;31(2): 367-368
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) of Japan. Survey of sprayed asbestos coatings in privately owned building.; 2009