

실제 환경을 고려한 천장텍스의 석면안정화제 처리 연구

신현규^{1*} · 최용규 · 전보람 · 하주연 · 선일식² · 박화미³

¹한국산업기술시험원, ²한국화학융합시험연구원, ³한양대학교

A Study of Asbestos Stabilizer Treatment Considering the Actual Environment of Ceiling Materials

Hyungyoo Shin^{1*} · Youngkue Choi¹ · Boram Jeon¹ · Jooyeon Ha¹ · Yleshek Sun² · Whame Park³

¹Material & Components Technology Center, Korea Testing Laboratory

²Material & Components Research Institute, Korea Testing & Research Institute

³Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to confirm the optimal processing conditions of the asbestos stabilizer by considering various actual environments at the time of stabilization treatment of the ceiling materials containing asbestos with asbestos stabilizer.

Methods: The anti-scattering performances of the asbestos stabilizer were confirmed by considering the method and quantity of the asbestos stabilizer treated, comparing the loss weight by measuring the weight of ceiling materials prior to and after having treated 30, 50, 100, 200, and 400 of stabilizer using the brush and spray. The effects of backside dust and steel frame structure on the performances of the stabilizer was also confirmed by comparing samples with and without the dust on the rear surface removed by wiping the ceiling material specimens and the blinding treatment simulated by using tape.

Results: The asbestos stabilization treatment using the brush method in comparison with the use of a spray has reduced stabilizer loss, resulting in better anti-scattering performance. In addition, the stabilizer loss is increased with increasing treatment quantity; as a result, treating a larger quantity of stabilizer does not improve the performance. For the conditions related to ceiling materials, the anti-scattering performance is enhanced by removing the backside dust and spreading the stabilizer evenly on the masking portion by steel frame structures.

Conclusions: Based on these results, it is determined that the appropriate choice of the tool used for the treatment of the asbestos stabilizer and the appropriate quantity of asbestos stabilizer were needed at the time of actual stabilization processing of the ceiling materials containing asbestos. Moreover, this study confirmed that preliminary processing and verification of the structure at which the ceiling materials are installed can enhance the effectiveness of prevention of the scattering of asbestos into the air.

Key words: actual environment, asbestos, asbestos stabilizer, ceiling materials

I. 서 론

석면의 인체 유해성이 사회적으로 크게 이슈화되면서(Sebastien et al., 1982; Frumkin & Berlin, 1988; Lee et al., 1992; Hodgson & Darnton, 2000), 석면함

유 건축자재를 대상으로 석면 비산방지제 활용에 대한 필요성이 제시되고 있다(Li et al., 2014; Kim et al., 2015; Zhang et al., 2016). 석면 비산방지제는 안정화제의 개념으로 석면을 해체·제거하지 않고 석면분진이 날리지 않도록 표면 및 내부를 안정화시켜

*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: February 3, 2016, Revised: June 1, 2016, Accepted: June 25, 2016

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.

석면의 비산을 방지하는 약품으로(Paustenbach et al., 2004; Kim et al., 2010a; Jung et al., 2015), 석면을 함유한 건축물의 안전하고 지속적인 사용을 목표로 한다(Gualtieri et al., 2008; Averroes et al., 2011; Jung et al., 2015; Shin et al., 2015).

이러한 안정화제를 이용하여 실제 현장에서 천장재에 대한 석면 안정화 처리를 할 때, 안정화제 및 천장재의 여러 가지 조건에 따라 안정화제 성능 특성이 달라진다(Kim et al., 2010b; Turci et al., 2010; Shin et al., 2015). 안정화제의 경우 도포 방법 및 도포량에 따른 영향을 고려할 수 있다. 천장재에 안정화제를 도포하는 방법에는 여러 가지가 있으나(Jung et al., 2015; Shin et al., 2015), 도포 방법에 따라 손실되는 안정화제의 양이 달라지므로 이에 따른 성능 변화가 발생할 수 있어 도포방법에 따른 성능 차이를 확인하고자 하였다. 또한, 성능 특성을 발현하는 중요한 요소 중 하나인 도포량에 따른 성능 변화를 확인하였다. 천장재의 경우 표면 먼지 및 고정하기 위한 나사, 구조물의 영향을 고려할 수 있다(Sebastien et al., 1979; Schneider et al., 2001; Young-Corbett & Nussbaum, 2009). 주로 실내 건축물 마감재로 사용되는 천장재는 한쪽 면이 노출되어 있지 않아 먼지나 이물질 등이 많이 쌓이고, 천장에 고정하기 위한 나사, 구조물 등에 의해 마스킹되어 있는 부분이 있기 때문에 현장에서 안정화제를 도포할 때 주의를 기울여야 한다.

따라서 본 연구에서는 안정화제의 도포 방법 및 도포량에 따른 성능 변화와, 천장재 뒷면에 쌓인 먼지 및 철근 구조물에 의한 마스킹이 안정화제 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 또한, 이와 같이 실험 환경을 모사한 안정화제 성능 평가 결과를 바탕으로 실제 석면 작업 현장에 적용할 수 있는 안정화 처리 최적 조건을 제시 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 10년 이상 노후된 건축물의 철거 현장에서 채취한 석면이 함유된 벌레무늬 천장재 텍스를 대상으로 연구를 진행하였으며(Figure 1), 포함된 석면의 종류 및 함유량은 편광현미경(Polarized Light Microscope, PLM)(ZEISS Axio Scope.A1 SZ61,



Figure 1. Photographs of the asbestos-containing ceiling materials selected for testing

Carl ZEISS, Germany)을 통해 확인하였다. 실험에 사용된 안정화제는 일본에서 시판되고 있는 무기계 제품(AGUA-A3000, AGUA, Japan)이며, 실제 시공 현장에서 안정화제를 도포하는 방법과 현장의 구조적 여건을 고려하여 안정화제 처리 성능의 효율을 높일 수 있는 방안에 대하여 연구하였다. 연구에 사용된 안정화제의 고형성분 함량, 점도, 비중, pH와 주성분 등 기초적인 특성을 파악하여 연구의 기초 자료로 삼았다.

2. 안정화제 성능평가

Figure 2는 안정화제를 처리한 시험체에 일정 압력의 공기가 분사될 경우 석면 섬유의 비산 유무 및 정도를 측정하기 위해 제작된 air erosion 시험 장치의 모식도 및 사진을 나타낸다. 모식도에 나타난 바와 같이 시험 장치는 밀폐형 상자 용기에 회전 공기 분사 장치, 외부용기의 내압을 조정하는 블로어(blower) 및 미세 차압계 등으로 구성되어 있다. 이러한 air erosion 시험기를 이용하여 300×300 mm 크기로 절단한 석면 함유 천장재를 안정화제 처리 후 25±5℃, 상대습도 60% 이하에서 3일 동안 건조시킨 뒤 비산방지 성능평가 시험을 실시하였다. 시험기 내부에 이물질이 없도록 청소한 후 천장재 시편의 안정화제가 도포된 면이 아래쪽을 향하도록 시험장치 상부에 장착하고, 천장재의 노출면은 200×200 mm 크기가 되도록 한다. 장치 아랫부분의 에어풍압장치는 외경 9.5 mm, 내경 1.7 mm, 길이 25 mm, 확산각도 90°의 노즐을 가졌으며, 천장재와 15 cm 떨어진 거리에서 압력차 95 kPa의 공기를 균일하게 분사시키면서 장치 내부의 공기를 직경 25 mm의 필터에서

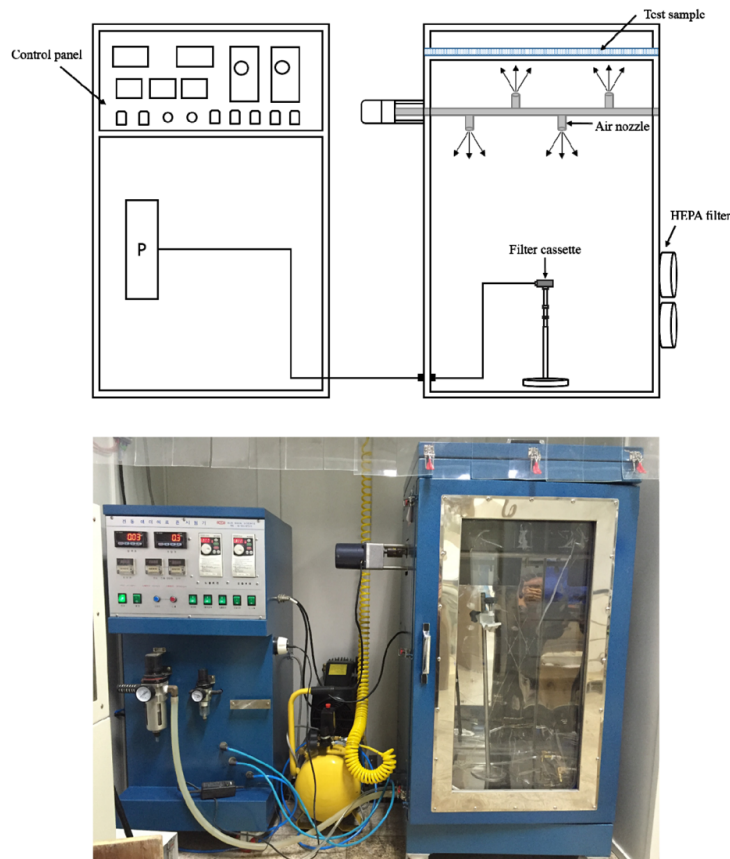


Figure 2. Diagram and photograph of the air erosion test equipment for the asbestos scattering prevention performance evaluation

10 ℓ/min의 유속으로 60분간 채취하였다. 채취한 공기 중 석면시료의 농도분석은 NIOSH 7400 시험방법인 위상차현미경(Phase Contrast Microscope, PCM)(ZEISS Axio Scope.A1 SZ51, Carl ZEISS, Germany)을 이용하여 시료분석을 실시하였다. 모든 조건에 대한 안정화제 성능평가 실험은 결과값의 통계적 신뢰성을 위해 동일한 석면 함유량을 가진 천장재로 10회씩 반복하여 수행하였다.

3. 안정화제 도포 방법에 따른 성능 연구

실제 현장에서의 천장재 안정화 처리를 위해 스프레이나 브러쉬 등의 여러 가지 방법들을 이용한다. 그 중 도포 작업의 편리성과 효율성을 고려하여 스프레이 공법을 주로 사용하는데, 이러한 스프레이 공법은 브러쉬로 도포하는 방법에 비해 천장재 표면 및 내부에 남아있지 않고 손실되는 양이 상대적으로

많다. 따라서 스프레이와 브러쉬를 이용한 도포 방법별로 각각 1개의 300×600 mm 천장재 시편을 대상으로 안정화제 200 g을 충분히 도포한 후, 도포 전과 후의 천장재 무게를 측정하여 천장재 표면 및 내부 안정화제 잔존량을 비교 및 비산방지 성능평가를 통한 결과를 비교하였다. 스프레이 공법의 경우, 직경 1.5 mm의 노즐 및 2.0-3.5 bar의 작동 압력을 가지는 에어스프레이건을 사용하여 천장재 표면으로부터 약 5 cm 거리에서 안정화제를 균일하게 분사하였고, 브러쉬 공법은 70×H55 mm 돈모를 가지는 브러쉬로 천장재 표면 가장자리부터 200 g의 안정화제를 소진할 때까지 반복적으로 도포하여 안정화 처리하였다.

4. 안정화제 도포량에 따른 성능 연구

안정화제 도포량은 석면의 비산 방지 성능을 발현하는 중요한 요소 중 하나이다. 도포량별 1개의

300×600 mm 천장재 시편을 대상으로 각각 30 g(167 g/m²), 50 g(278 g/m²), 100 g(556 g/m²), 200 g(1111 g/m²), 그리고 400 g(2222 g/m²)의 안정화제를 브러쉬를 이용하여 도포한 후 안정화제 도포 전과 후의 천장재 총 무게변화를 비교하여 도포 시 손실되는 안정화제 양을 확인하였다. 또한, 각 도포량에 따른 성능 평가 결과를 비교하여 안정화제 최적 도포량 조건을 도출하였다.

5. 먼지 유무에 따른 안정화제 성능 연구

현장에서 시행하는 안정화제 처리는 천장재의 앞면과 뒷면, 양쪽에 모두 도포하는 방식으로 진행된다. 이 때 천장재의 뒷면은 바깥쪽으로 노출되어있지 않아 앞면에 비해 상대적으로 먼지나 이물질 등이 많이 쌓여 있다. 이러한 이물질과 먼지 등은 천장재 내부 안정화제의 흡수에 부정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에, 천장재 뒷면의 먼지를 제거한 시험체와 그렇지 않은 시험체를 비교하여 천장재 뒷면 먼지 유무가 안정화제의 성능에 미치는 영향을 확인하였다(Figure 3). 천장재 뒷면을 일회용 종이 와이퍼를 사용하여 더 이상 먼지가 묻어 나오지 않을 때까지

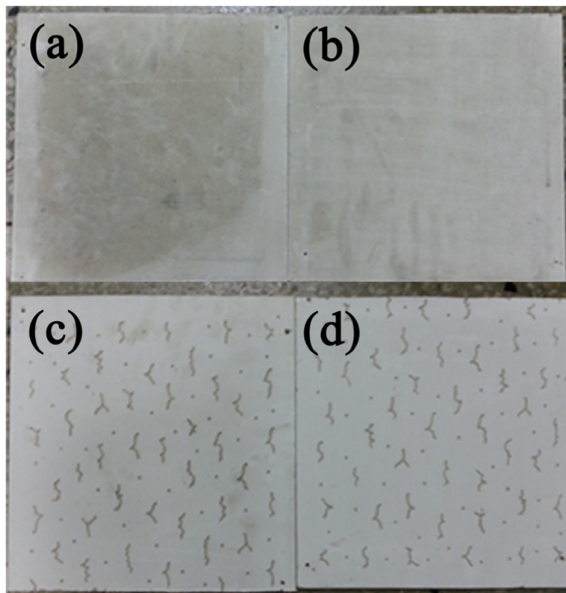


Figure 3. Photograph of (a) the backside of a dirty ceiling material, (b) the backside of clean ceiling material, (c) the front side of dirty ceiling material, and (d) the front side of clean ceiling material

닦아준 뒤 브러쉬와 스프레이를 사용하여 안정화제를 처리하였다.

6. 철골 구조물을 고려한 안정화제 성능 연구

천장재는 철골 구조물에 고정되어 설치되기 때문에, 안정화제 도포 시 철골 구조물 및 고정 나사에 가려져 안정화제가 충분히 도포 및 침투되지 않는 부분이 발생하게 된다. 따라서 본 연구가 진행된 실험실의 철골 구조물을 기준으로 Figure 4와 같이 천장재의 가려지는 부분의 면적을 측정, 테이프를 이용하여 모사한 후 안정화제를 도포하여 성능 차이를 확인하였다. 천장재의 모서리 부분에 철골 구조물로 인해 가려지는 부분 25 mm를 테이프로 마스킹 처리 후, 250 g/m² 기준으로 안정화제를 붓으로 도포한 후 마스킹 처리를 유지한 채로 성능평가를 수행하였고, 테이프를 제거하기 전과 후로 나누어 성능 차이를 확인하였다.

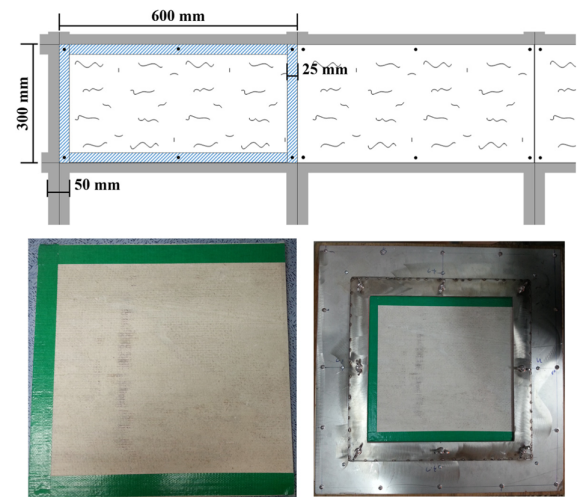


Figure 4. Masking simulation diagram and photograph of the ceiling materials covered by steel frame structures

III. 연구결과 및 고찰

1. 기초 특성

PLM을 이용하여 본 연구에서 사용된 천장재 석면의 종류 및 함유량을 분석한 결과, 백석면 함유량이 3%인 것으로 확인되었다. Table 1은 안정화제 기초 특성 분석 결과를 나타내며(Shin et al., 2015), 본 연

Table 1. Basic properties of the asbestos stabilizer

Solid(wt%)	Viscosity(sec)	Specific gravity	pH	Main components(wt%)
14 ~ 16	10.05	1.11 ~ 1.15	11.2	Si: 43.0 / K: 50.2

Table 2. Weight loss rate of the asbestos stabilizer for different treatment methods used on the ceiling materials

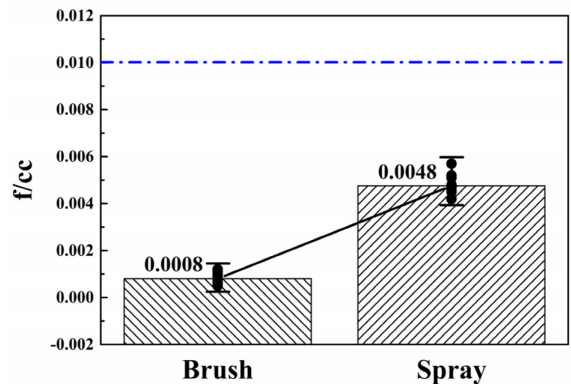
Treatment method	Initial weight of ceiling materials(g)	Weight after treatment with 200 g of stabilizer(g)	Net weight of stabilizer(g)	Weight loss rate of stabilizer(%)
Brush	1533.37	1626.05	92.68	54
Spray	1400.45	1476.82	76.37	62

구에서 사용된 안정화제의 고형분 함량은 14~16 wt%이고, 비중은 1.11~1.15, pH는 11.2로 강한 알칼리성을 띄었다. ASTM D1200-10: Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup에 따라 Ford cup을 이용하여 측정한 점도는 10.05초로 거의 점성을 띄지 않았다(Anderson et al., 2011). 또한, X 선형광분석기(X-ray Fluorescence, XRF)를 이용하여 안정화제 주성분이 Si와 K임을 확인하였고(Table 1), X선 회절 분석기(X-ray Diffractometer, XRD)를 이용한 결정구조분석 결과, Si 성분은 안정화제 내에서 비정형으로 존재함을 확인하였다.

2. 안정화제 도포 방법에 따른 성능 연구

Table 2는 붓과 스프레이를 사용하여 동일한 양의 안정화제를 도포하기 전후의 천장재 무게 변화를 나타낸 표이다. 안정화제 200 g을 스프레이로 도포한 경우 천장재 표면 및 내부 잔존량은 76.37 g으로, 총량 200 g 중 123.63 g의 안정화제가 도포 과정에서 손실되어 약 62%의 손실률을 나타내었고, 붓으로 도포한 경우 안정화제 200 g 중 잔존량은 92.68 g이고 손실량은 107.32 g으로 약 54%의 안정화제가 손실되었다. 따라서, 스프레이보다 붓을 사용하여 도포할 경우 안정화제 처리효율이 8% 정도 향상되는 것을 확인할 수 있다.

Figure 5는 도포 방법에 따른 안정화제 성능 평가 결과를 나타낸 그래프이다. 붓과 스프레이 공법 모두 안정화제 성능이 실내 공기질 기준(0.01 f/cc)을 만족하였지만, 붓으로 도포한 경우 스프레이보다 공기 중으로 비산되는 평균 석면의 농도가 0.004 f/cc 더 낮았으며 상대적으로 향상된 안정화제 비산방지성능을 확인할 수 있었다. 이는 붓으로 도포하는 방법이 스

**Figure 5.** Anti-scattering performance of the asbestos stabilizer applied on the ceiling materials using the different treatment methods of brush and spray type**Table 3.** Results of performance evaluation of the asbestos stabilizer applied on the ceiling materials using the different treatment methods of brush and spray type

Treatment methods	Airborne asbestos concentration(f/cc) Mean \pm SD(N=10)
Brush	0.0008 \pm 0.0002
Spray	0.0048 \pm 0.0004

프레이 공법에 비해 상대적으로 안정화제 처리효율이 높아(Table 2) 안정화제 성능이 향상되는 것으로 판단할 수 있다.

3. 안정화제 도포량에 따른 성능 연구

Table 4는 안정화제 도포량에 따른 실제 처리효율을 나타낸 표이다. 30 g(167 g/m²)의 안정화제를 도포할 경우 손실되는 양이 거의 없고, 50 g(278 g/m²)과 100 g(556 g/m²) 도포 시에도 안정화제 손실량은 약 20% 내외이다. 그러나 200 g(1111 g/m²)의 도포량에서 안정

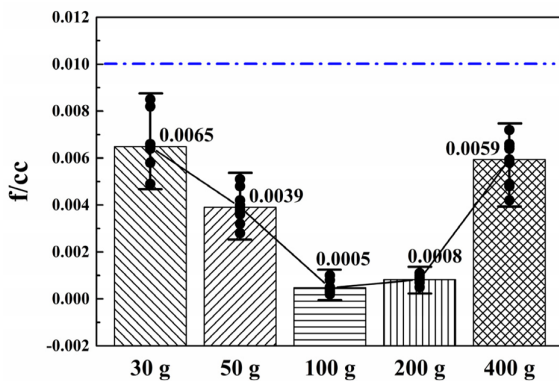
Table 4. Weight loss rate of the asbestos stabilizer treated with various amount onto the ceiling materials

Treatment weight (g(g/m ²) [†])	Initial weight of ceiling materials(g)	Weight after treatment with stabilizer(g)	Net weight of stabilizer(g)	Weight loss rate of stabilizer(%)
30(167)	1550.96	1580.38	29.42	2
50(278)	1556.69	1598.95	42.26	15
100(556)	1560.11	1638.60	78.49	22
200(1111)	1533.37	1626.05	92.68	54
400(2222)	1545.19	1642.05	96.86	76

[†] 본 시험은 0.18 m² (0.3×0.6 m) 크기의 천장텍스 시편을 대상으로 수행하였으며, 단위중량 SI 단위인 평방미터당 중량단위(g/m²)로 환산한 수치

화제의 손실률이 50% 이상으로 급격히 증가함을 확인할 수 있는데, 이는 천장재의 단위면적 당 안정화제 임계 흡수량을 초과하였기 때문이라 판단되며, 이와 같은 이유로 400 g(2222 g/m²)을 도포한 경우 약 75% 이상의 안정화제가 손실되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 안정화제 도포량이 증가함에 따라 도포과정에서의 손실률이 증가하여 천장재 내부 침투량이 감소하고, 일정 도포량 이상에서는 표면이 고착화되어 더 이상 침투가 발생하지 않는 것으로 판단할 수 있다.

Figure 6은 도포량에 따른 안정화제 성능평가 결과이다. 안정화제 도포량이 증가함에 따라 비산되는 석면의 양이 감소하였고, 100 g을 도포한 경우 공기 중으로 비산되는 석면의 양이 가장 적게 나타났다. 그러나 400 g을 도포한 경우에는 오히려 비산되는 석면의 양이 급격하게 증가하였는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 일정 임계량에서부터는 표면이 고착화되어 천장재에 흡수되는 안정화제 양이 한정되기 때문으로 판단할 수 있다.

**Figure 6.** Anti-scattering performance of the asbestos stabilizer treatments of the ceiling materials for quantities of 30, 50, 100, 200, and 400 g of the stabilizer**Table 5.** Results of performance evaluation of the asbestos stabilizer treatments of the ceiling materials for quantities of 30, 50, 100, 200, and 400 g of the stabilizer

Treatment weight(g/m ²) [†]	Airborne asbestos concentration(f/cc) Mean ± SD(N=10)
30(167)	0.0065 ± 0.0012
50(278)	0.0039 ± 0.0007
100(556)	0.0005 ± 0.0002
200(1111)	0.0008 ± 0.0002
400(2222)	0.0059 ± 0.0010

[†] 본 시험은 0.18 m² (0.3×0.6 m) 크기의 천장텍스 시편을 대상으로 수행하였으며, 단위중량 SI 단위인 평방미터당 중량단위 (g/m²)로 환산한 수치

4. 먼지 유무에 따른 안정화제 성능 연구

천장재 뒷면 먼지 유무에 따른 안정화제 성능평가 결과를 Figure 7에 나타내었다. 먼지를 제거한 천장재에 대해 붓을 사용하여 안정화 처리를 한 경우, 공기

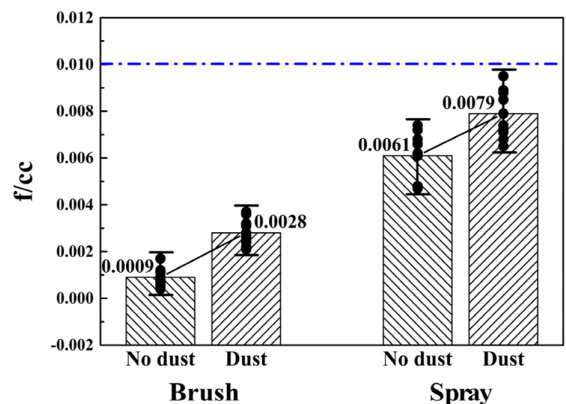
**Figure 7.** Differences in the anti-scattering performance of the asbestos stabilizer treatments of the ceiling materials according to whether the backside dust was removed or not

Table 6. Results of performance evaluation of the asbestos stabilizer treatments of the ceiling materials according to whether the backside dust was removed or not

Conditions	Airborne asbestos concentration(f/cc) Mean \pm SD(N=10)	
	Brush	Spray
No dust	0.0009 \pm 0.0004	0.0061 \pm 0.0010
Dust	0.0028 \pm 0.0006	0.0079 \pm 0.0010

중 비산되는 평균 석면 농도가 0.0009 f/cc로 매우 낮게 나타났고, 먼지를 제거 하지 않은 경우도 0.0028 f/cc로 실내 공기질 기준을 만족하는 성능을 나타냈다. 스프레이 공법으로 동일한 양의 안정화제를 도포한 결과 브러쉬 공법으로 도포한 경우보다 높은 농도의 석면이 검출되었지만 기준치는 넘지 않았다.

5. 철골 구조물을 고려한 안정화제 성능 연구

테이프를 이용한 블라인드 처리에 따른 안정화제의 성능 평가 결과를 Figure 8에 나타내었다. 블라인드 처리 유무와 상관없이 두 시험체 모두 실내 공기질 기준을 만족하는 결과를 보였지만, 블라인드 무처리 천장재에서 상대적으로 높은 석면 농도가 측정되었다. 블라인드 처리를 통해 천장재 전체 면적의 약 76%만 안정화제가 도포되었고, 이로 인해 공기 중으로 비산되는 평균 석면 농도가 0.0045 f/cc 증가하였다. 이는 무시할 수 없는 양이므로, 철골 구조물에 의해 가려진 천장재 부분에도 따로 안정화 처리가 필요하다고 판단된다.

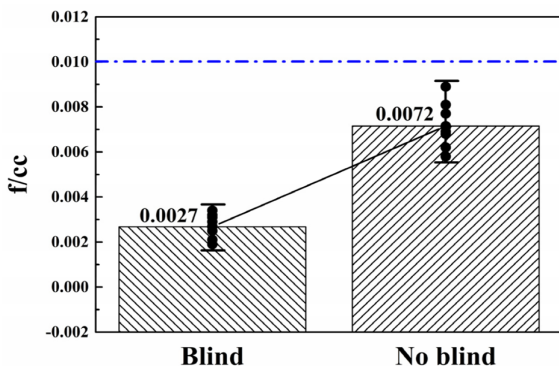


Figure 8. Differences in the anti-scattering performance of the asbestos stabilizer treatment of the ceiling materials according to whether or not the masking processing for steel frame structure simulation was implemented

Table 7. Results of performance evaluation of the ceiling materials according to whether or not the masking processing for steel frame structure simulation was implemented

Conditions	Airborne asbestos concentration(f/cc) Mean \pm SD(N=10)
Blind	0.0027 \pm 0.0005
No blind	0.0072 \pm 0.0009

IV. 결 론

본 연구에서는 석면이 함유된 천장재의 안정화제 처리 시 여러 가지 실제 환경 조건을 고려하여 안정화제 최적 처리 조건을 확인하고자 하였다. 안정화제의 도포 방법, 도포량, 천장재의 전처리 유무, 그리고 철골 구조물을 고려한 경우를 모사하여 안정화제 성능을 확인하였다.

1. 안정화제를 스프레이와 붓을 사용하여 도포한 경우를 비교하여 성능 시험을 수행하였다. 그 결과 붓의 사용이 스프레이의 사용보다 안정화제의 손실이 적었고, 그로 인해 공기 중으로 비산되는 석면의 농도도 낮게 확인되었다. 따라서, 붓을 이용한 방법이 석면 비산 방지 효과를 더 높일 수 있다고 판단된다.

2. 안정화제의 양을 다르게 하여 도포한 후 천장재에 실제 처리되는 양을 확인하였고 성능 평가를 통하여 도포량의 최적 조건을 도출하고자 하였다. 300×600 mm 천장재를 기준으로 100 g을 도포할 경우 손실되는 양도 적고 공기 중으로 비산되는 석면 농도도 적었다. 반면에 안정화제를 100 g 이상 도포한 경우 손실되는 양이 많아 처리 효율이 낮았고 성능 평가도 크게 향상되지 않았다.

3. 실내 건축자재인 천장재의 후면은 외부로 노출되어 있지 않아 먼지가 많이 쌓인 상태로 존재하는데, 안정화제 처리를 시행하기 전 먼지 제거를 실시하여 안정화제 처리가 용이하도록 전처리 과정을 거치는 것이 안정화제의 성능을 향상시키는데 도움이 된다고 판단된다. 또한 철골 구조물로 인해 안정화제가 처리되지 못하는 부분이 발생하므로 추가적인 도포 작업이 필요하다고 판단된다.

위의 결과로부터 석면이 함유된 천장재에 실제로 시공을 수행할 때, 안정화제를 도포하는 적절한 도구 및 도포량의 선정과 천장재 전처리 과정 및 천장재

가 설치된 구조의 인식이 안정화제 비산 방지 효과를 증대시킬 수 있다고 판단된다.

감사의 글

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

References

- Anderson AM, Bruno BA, Smith LS. Viscosity measurement, In: Kutz M, editors. Handbook of Measurement in Science and Engineering. 1st ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2011. p. 947-979
- Averroes A, Sakamoto K, Sekiguchi H. Treatment of airborne asbestos and asbestos-like microfiber particles using atmospheric microwave air plasma. *J Hazard Mater* 2011;195:405-413
- Berlin J, Frumkin H. Asbestos exposure and gastrointestinal malignancy review and meta analysis. *Am J Ind Med* 1988;14(1):79-95
- Bignon J, Billon M, Bonnaud G, Dufour G, Gaudichet A, et al. Levels of asbestos air pollution in some environmental situations. *Ann NY Acad Sci* 1979;330:401-415
- Bignon J, Martin M, Sebastien P. Indoor airborne asbestos pollution: from the ceiling and the floor. *Science* 1982;216(4553):1410-1412
- Bono M, Paustenbach DJ, Sage A, Mowat F. Occupational exposure to airborne asbestos from coatings, mastics, and adhesives. *J Expo Anal Env Epid* 2004;14(3):234-244
- Brückel B, Kleineberg J, Rödelberger K, Schneider J, Weitowitz HJ. Pleural mesothelioma associated with indoor pollution of asbestos. *J Cancer Res Clin* 2001;127(2):123-127
- Cha JS, Jung HS, Kim H, Kim S, Lee W, et al. Evaluating the efficiency of an asbestos stabilizer on ceiling tiles and the characteristics of the released asbestos fibers. *J Hazard Mater* 2015;300:378-386
- Choi YK, Ha JY, Jeon BR, Shin HG. A study of penetration depth into ceiling materials containing asbestos according to dilution rate of scattering prevention agent. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2015;25(1):82-88
- Colonna M, Cravotto G, Fubini B, Mantegna S, Tomatis M, et al. New detoxification processes for asbestos fibers in the environment. *J Toxicol Env Heal A* 2010;73(5-6):368-377
- Com M, Crump KS, Lee RJ, Van Orden DR. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg* 1992;16(1):93-107
- Darnton A, Hodgson JT. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg* 2000;44(8):565-601
- Dong Q, Li J, Liu L, Yu K. Asbestos and asbestos waste management in the Asian-Pacific region: trends, challenges and solutions. *J Clean Prod* 2014;81:218-226
- Gualtieri AF, Gualtieri ML, Tonelli M. In situ ESEM study of the thermal decomposition of chrysotile asbestos in view of safe recycling of the transformation product. *J Hazard Mater* 2008;156(1-3):260-266
- Hong WH, Kim YC, Zhang YL. Development of a model to calculate asbestos fiber from damaged asbestos slates depending on the degree of damage. *J Clean Prod* 2015;86:88-97
- Hong WH, Kim YC, Zhang YL. Visualizing distribution of naturally discharged asbestos fibers in Korea through analysis of thickness changes in asbestos cement slates. *J Clean Prod* 2016;112(1):607-619
- Kim YH, Lee SH, Song TH. A study on the entraining properties of plate type asbestos building materials. *Archit. Inst. Korea* 2010b;26(12):141-148
- Kim YH, Lee SH, Song TH. The characteristics of penetrating hardener solidification to prevent flying-asbestos material. *Archit. Inst. Korea* 2010a; 30(1):41-242
- Nussbaum MA, Young-Corbett DE. Dust control technology usage patterns in the drywall finishing industry. *J Occup Environ Hyg* 2009;6(6):315-323