

## 석면 함유 천장재에 대한 석면 안정화제 내구성 평가 연구

하주연\* · 신현규

한국산업기술시험원 재료기술센터

### Research on Durability Assessment of Asbestos Stabilizer for Asbestos-containing Ceiling Materials

Joo-Yeon Ha\* · Hyun-Gyoo Shin

Materials Technology Center, Korea Testing Laboratory

#### ABSTRACT

**Objectives:** For testing asbestos stabilizer products which are used for the maintenance and management of asbestos-containing materials, durability assessment should accompany the evaluation of basic properties and performance. Therefore, in this study we designed a testing method and constructed a database of durability performance, thereby providing basic data for reliability studies of asbestos stabilizer.

**Methods:** Since the ceiling materials targeted in this study are interior materials, test conditions of 95% relative humidity and 60°C temperature were designed in consideration of the effect of high relative humidity in summer and seasonal indoor temperatures. Plate-shaped specimens treated with asbestos stabilizers were maintained in a thermo-hygrostat for 5, 10, and 20 days, and then the asbestos scattering prevention rate was measured by air erosion testing.

**Results:** The scattering concentration tended to increase with time under the single humidity condition, and exceeded the indoor air quality standard of 0.01 f/cc, during the 20 days of maintenance. On the other hand, there was little change according to the temperature condition. In the case of a complex condition with temperature and humidity, the results were similar to the humidity test, but the scattering concentration increased more sharply at 20 days.

**Conclusions:** The main deterioration factor that affects the durability of asbestos stabilizer is humidity, and the deterioration is caused by a mechanism in which the stabilizer coated on the surface is re-dissolved by moisture and evaporates or the coating layer is peeled off, which is accelerated by high temperatures.

**Key words:** Asbestos, asbestos stabilizer, ceiling materials, durability assessment, humidity

#### I. 서 론

석면은 자연적으로 생산된 광물로서 내열성, 내마모성, 단열성 등의 유용한 특성을 지니고 있어 절연체, 보온 단열재, 방직제품, 자동차 용품 등의 산업용이나 충전재, 내화피복재, 벽체, 미장재, 지붕재, 흡음재 및 타일 등의 건축자재용으로 광범위하게 사용되어 왔으나 세계보건기구에서 규정한 1급 발암물질로서 국내에서도 2007년 1월부터 수입·제조·유통 등 사용에 있어


서 전면적으로 금지된 재료이다(ILO, 1998; Furuya et al., 2018; Yoon et al., 2018).

국내에서 사용된 석면의 대부분은 수입된 것으로서 수입 석면량의 82% 가량이 건축내장재, 천장재, 바닥재, 지붕재, 보온단열재, 흡음재 등의 건축자재 제조에 사용되었으며, 이렇게 제조된 건축자재는 건축물 신축에 사용된 후 현재까지 잔존하고 있어 석면 비산으로 인한 위험성에 노출되어 있는 상황이다. 2006년 국내 사업장 건축물을 대상으로 조사한 결과 대상 사업장의

\*Corresponding author: Joo-Yeon Ha, Tel: 02-860-1573, E-mail: [hjyeon@ctl.re.kr](mailto:hjyeon@ctl.re.kr)

87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, 08389, Rep. of KOREA

Received: January 17, 2020, Revised: February 22, 2020, Accepted: March 5, 2020

 Joo-Yeon Ha <https://orcid.org/0000-0001-5022-8984>

 Hyun-Gyoo Shin <https://orcid.org/0000-0002-7762-5928>

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.

90%에서 적어도 한 건 이상의 석면 함유 건축자재가 사용된 것으로 확인되었으며(Ki et al., 2008; Lee & Van Orden, 2008; Kim et al., 2018), 정부에서도 석면에 대한 심각성을 인식하고 석면관리 종합대책을 2007년 7월 3일에 수립하여 관련 정책을 추진하였다. 또한, 2012년 4월부터 기존 건축물의 석면건축자재 관리를 위한 석면지도 작성의 의무, 건축물 석면관리인의 지정, 석면 건축자재 함유 건축물의 공기 중 석면의 농도, 석면 해체를 위한 감리제도 도입, 그리고 석면 정책의 장기적 관리를 위한 중장기 관리계획 수립 등을 주 내용으로 하고 있는 “석면안전관리법”을 제정하여 시행하고 있다(Kwon, 2019; MoEL, 2020).

이러한 위험을 극복하기 위한 가장 이상적인 방법은 기존 석면 함유 건축자재를 해체·제거 및 무석면 건축자재로 교체하는 것이나, 그 양이 방대하여 시간적, 경제적으로 엄청난 비용이 소모된다. 이에 따라 최근 노후된 석면 함유 건축자재(내장재)의 유지·보수를 위해 습윤제 개념의 무기계 석면 안정화제의 수요 및 적용처가 점차 증가하고 있는 추세이다(Lim et al., 2012; Jung et al., 2015; Spasiano & Pirozzi, 2017). 석면 안정화제는 비산방지제의 개념으로 석면 함유 건축자재 표면에 물리적으로 흡착하여 석면 미세 섬유를 고착화시켜 비산을 방지하는 약품으로 석면을 함유한 건축물의 안전하고 지속적인 사용을 목표로 한다(Kim et al., 2018; Song et al., 2018).

본 연구진은 석면 안정화제 관련 연구로써 석면 함유 판상형 건축자재에 대한 비산방지 성능 평가 기술 개발

및 표준화 연구를 수행하였고, 이를 통해 석면 안정화제 단체 표준을 제정하여 시험인증 사업에 적용하고 있다(Shin et al., 2015; Shin et al., 2016). 하지만 석면 함유 건축자재의 안전하고 지속적인 사용을 목적으로 하는 석면 안정화제 성능 평가를 위해서는 처리 직후의 초기성능뿐만 아니라 그 성능이 얼마나 유지되는지 확인할 수 있는 장기성능, 즉 내구성 평가가 필수적으로 수반되어야 하며, 이와 관련하여 국내뿐만 아니라 석면 관리 선진국인 일본, 미국, 호주 등에서도 석면 안정화제 내구성 평가 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 주요 석면 함유 건축자재인 천장재에 대하여 석면 안정화제의 내구성 평가 기준을 설계 및 확립하고 이에 따라 국내외 시판중인 다양한 종류의 석면 안정화제 상용품을 대상으로 내구성 평가 결과 데이터베이스를 구축함으로써 내구성 평가기술에 대한 최적화 연구를 수행하였다.

## II. 대상 및 방법

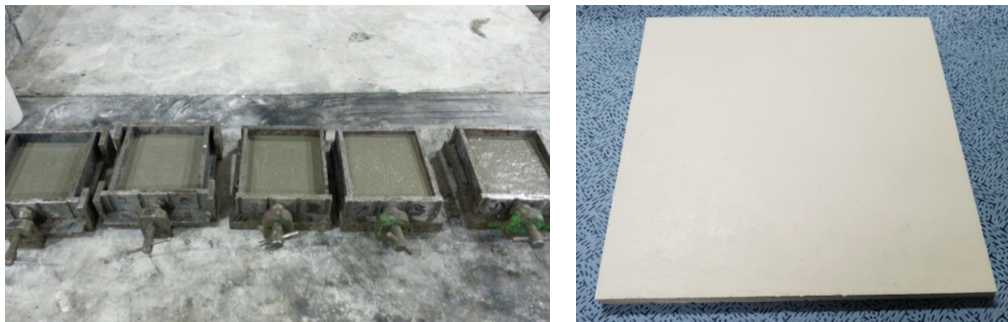
### 1. 연구 대상

본 연구에서는 석면 안정화제가 적용되는 석면 함유 건축자재로써 천장형 텍스를 연구 대상으로 하고 있다. 하지만 현장에서 수거된 석면 텍스를 사용할 경우 각각 함유된 석면의 농도 및 노후 정도에 따라 비산 상태가 다르게 나타날 수 있어 본 연구에서는 일정한 함량의 유사 석면 물질을 함유한 판상형 시험체를 제조하여 사용함으로써 재현성 있는 데이터를 확보하고자 하였다.

**Table 1.** Raw material mix proportion for manufacturing of plate-shaped specimen

Raw material	Meerschau	OPC*	Water
Mix proportion [wt%]	25	30	45

\*OPC : Ordinary Portland Cement



**Figure 1.** Manufacturing mold and plate-shaped specimen simulated asbestos-containing ceiling tex

석면 안정화제 단체 표준인 KTL L 073을 참조하여 Table 1과 같이 배합한 혼합물을 W 250 mm × L 250 mm × H 10 mm 크기의 몰드에  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대 습도 80% 이상에서 24시간 동안 방치한 후 탈형하여  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ , 상대 습도 60% 이하의 양생실에서 7일 이상 양생하여 시험체를 제조하였다. Figure 1은 제조에 사용된 몰드 및 시험체 사진을 나타낸다.

## 2. 연구 방법

### 1) 기초특성 평가

본 연구에서 대상으로 하는 석면 안정화제는 무기계 액상 형태로 석면 함유 건축자재 내부에 침투하여 재료 내의 석면 섬유와 물리화학적 반응을 통해 비산을 방지하는 메커니즘이다. 따라서 안정화제의 성능 및 내구성에 있어서 표면에서의 침투성이나 재료 내부로 흡수되는 양상이 중요하다. 본 연구에서는 국내외에서 시판되고 있는 무기계 석면 안정화제 상용품을 대상으로 기초특성 평가를 실시하였고, 침투성 및 흡수성과 연계되는 기초특성인 점도에 있어서 다양한 분포를 가지는 석면 안정화제 제품 5종을 연구 대상으로 선정하였다.

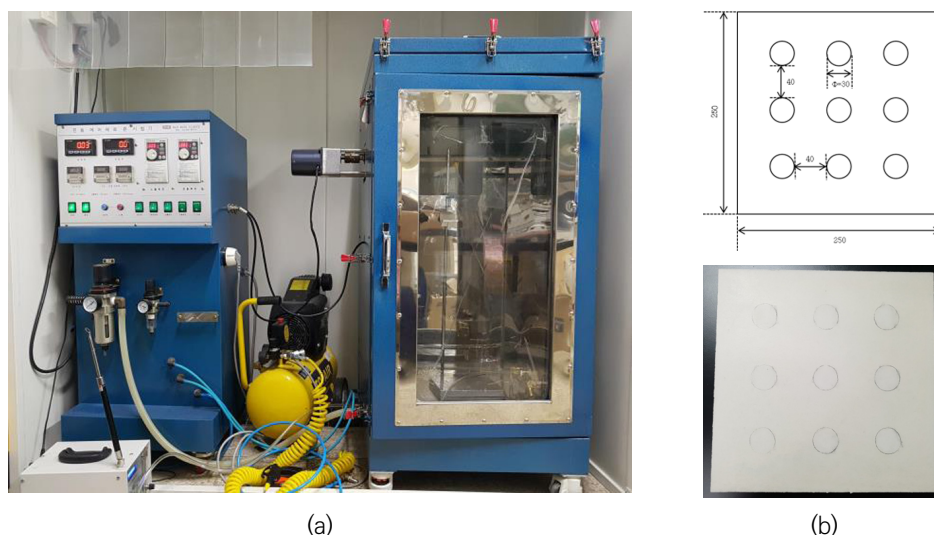
### 2) 성능 평가

석면 안정화제의 성능 평가를 위해 제작된 진동 및 에어로존 시험 장치는 Figure 2(a)와 같다. 장치 상부에 판상형 시험체를 설치하고 압력차 95 kPa의 공기를 균일하게 분사시키면서 장치 내부의 공기를  $0.8 \mu\text{m}$  규격

의 멤브레인 필터에서 10 L/min의 유속으로 60분 동안 채취하였다. 채취한 필터를 대상으로 실내공기질공정시험기준(ES 02303 1b) 위상차 현미경법을 이용하여 비산농도를 측정하였다(Phase Contrast Microscope, PCM)(ZEISS Axio Scope.A1 SZ51, Carl ZEISS, Germany). 무처리 시험체는 실제 천장텍스의 석면 비산농도를 기준으로 비산농도가 평균 0.04 개/cc 이상이 되도록 Figure 2(b)와 같이 지름 30 mm 크기의 원형 모양으로 시험체 표면을 사포 또는 그라인더를 이용하여 전처리하였다.

### 3) 내구성 평가

본 연구에서 대상으로 하는 석면 함유 건축자재는 내장재(천장재)로써 내부 누수, 여름철 높은 상대 습도, 계절별 실내 온도 등의 환경적 요인을 고려하여 습도 및 온도를 석면 안정화제 내구성 평가를 위한 가속인자로 설정하였고, 도료 및 관련제품의 내후성 시험 규격 및 기상청 통계 자료에 근거하여 습도 95%RH, 온도  $60^\circ\text{C}$ , 온·습도 동시 인가의 가속 조건에서 120시간(5일), 240시간(10일), 480시간(20일)의 유지기간을 시험조건으로 설계하였다. 무처리 시험체에  $1 \text{ kg/m}^2$  이하의 석면 안정화제를 도포한 시험체 3개를 항온항습 챔버(WKL 64/70, Weiss Technik, Germany)를 이용하여 Table 2의 가속인자별 시험조건에서 유지 기간 동안 보관한 후 진동 및 에어로존 시험을 통해 내구성 시험 전후 비산농도 차이를 백분율로 산출하여 내구성을 평가하였다.



**Figure 2.** Photograph of (a) air erosion test equipment, and (b) blank specimen for performance evaluation of asbestos stabilizer

$$\text{석면비산방지율(내구성)} = \left( \frac{\text{무처리 시험체 석면 개수} - \text{처리 시험체 석면 개수}}{\text{무처리 시험체 석면 개수}} \right) \times 100 (\%) \quad (\text{Equation})$$

**Table 2.** Durability evaluation conditions for asbestos stabilizer

Acceleration factor	Test conditions	Maintenance period
Humidity	Temperature 25°C, Humidity 95%RH	120 hours(5 days)
Temperature	Temperature 60°C, Humidity 50%RH	240 hours(10 days)
Humidity and Temperature	Temperature 60°C, Humidity 95%RH	480 hours(20 days)

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 석면 안정화제의 기초특성

Table 3은 5종의 석면 안정화제 제품에 대하여 시공 특성 및 재료와의 부착특성, 침투 특성에 영향을 미칠 수 있는 점도, 밀도, 고형분 함량, 환경에 영향을 미칠 수 있는 pH 등 기초 특성을 분석한 결과를 나타낸다. 고형분 함량은 전체적으로 10~18wt%, 밀도는 0.99~1.20 g/cm<sup>3</sup>로 5종의 석면 안정화제 제품 모두 비슷한 물성을 나타냈으며, pH의 분포는 pH 11~12로 강한 알칼리성을 띠었다. ASTM D1200-10: Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup에 따라 측정된 점도는 9.56~12.08초로 분포하였으며, Ford cup을 통과하는 시간이 가장 짧은 C 제품이 가장 낮은 점도를 가지고 A, B, E, D 순으로 고점도를 가진다. 점도가 낮을수록 자재 내부 침투능력이 증가하지만 석면 섬유와의 봉합 및 고착 효과가 떨어질 수 있으며, 고점도인 경우 침투능력은 떨어지더라도 자재 표면의 코팅 효과를 나타내는 등 이와 같이 점도 특성에 따라 석면 안정화제의 비산 메커니즘이 달라질 수 있다. 또한 X선 형광 분석기(X-ray fluorescence, XRF)(ZSX100e, Rigaku, Japan)를 이용하여 성분 분석을 실시한 결과 5종의 석면 안정화제에서 공통적으로 Si, Na, K 성분이 다량 검

출되었고, 이는 무기계 안정화제의 기초 물질로 알려진 Na 및 K가 Si와 다양한 방식으로 결합된 규산염이 주된 성분을 이루고 있기 때문인 것으로 판단된다.

#### 2. 습도에 대한 석면 안정화제 내구성 평가

Figure 3은 상대 습도 95%RH 인가 조건에서 시간 경과에 따른 석면 안정화제의 비산성능 평가결과를 보여주며, Table 4는 무처리 시험체와 비교하여 산출한 석면비산 방지율을 백분율로 나타낸 결과로 내구성능 평가지표를 나타낸다. 안정화제를 처리할 경우 석면비산 평균농도는 0.0054 개/cc로 나타나 5종의 제품 모두 실내공기질 기준(0.01 개/cc)을 만족하였으며, 무처리(평균 0.0418 개/cc) 대비 석면비산 방지율이 87% 이상으로 나타난다. 상대 습도 95% 인가 조건에서 5일 동안 유지할 경우에는 5종 모두 여전히 실내공기질기준을 만족하는 결과(평균 0.061 개/cc)를 보이며, 유지 기간 10일의 경우에도 각각 0.0105, 0.0101, 0.0108, 0.0080, 0.0078 개/cc로 안정화제 종류별로 약간의 차이는 있지만 기준치 이하인 평균 0.0094 개/cc로 나타났다. 하지만 95%RH 조건의 챔버에서 20일 동안 유지한 경우, 앞선 5, 10일에서의 성능평가 결과와 달리 기준치를 초과하는 석면비산 평균농도(0.0129 개/cc)를 나타내며 석면비산 방지율이 69%까지 감소하였다. 습도 인자에 대한 석면 안정화제의 내구성 평가 결과, 습도가 높은 환경에 오래 방치될수록 내구성능이

**Table 3.** Basic properties of asbestos stabilizer products

Test item	Asbestos stabilizer product					Note
	A	B	C	D	E	
Solid(wt%)	10~12	12~15	10~12	16~18	14~16	KS M ISO 14680-3
Viscosity(sec)	10.19	10.28	9.56	12.08	11.30	ASTM D 1200
Density(g/cm <sup>3</sup> )	0.99~1.03	1.08~1.09	1.07~1.11	1.17~1.20	1.08~1.12	KS M ISO 2811-1
pH	11.7	12.1	11.8	11.5	11.2	KS M 0011
Main component(wt%)	K: 72.0 Si: 25.2	K: 71.0 Si: 28.7	K: 67.1 Si: 32.5	Si: 90.1 Na: 8.11	K: 50.2 Si: 43.0	XRF



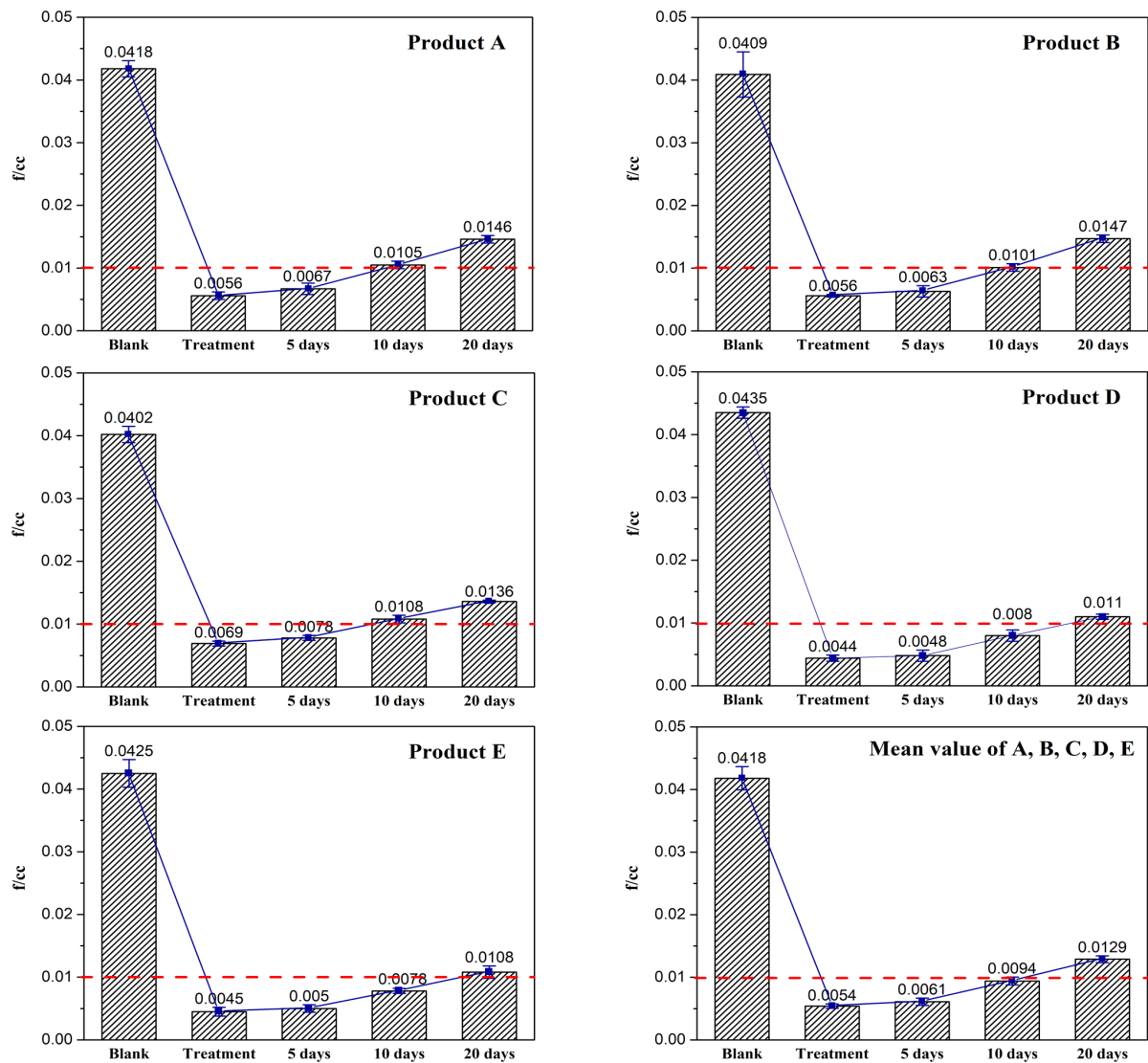


Figure 3. Durability evaluation results of asbestos stabilizer against humidity factor

Table 4. Calculation of asbestos scattering prevention rate by humidity test

Products	Asbestos scattering prevention rate(%)			
	After treatment	After 5 days	After 10 days	After 20 days
A	86.6	84.0	74.9	65.2
B	86.3	84.7	75.3	64.0
C	82.7	80.7	73.2	66.1
D	90.0	89.0	81.5	74.6
E	89.4	88.1	81.7	74.7

감소하며, 공기 중으로 비산되는 석면의 농도가 높아지는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 즉, 습도 인자가 석면 안정화제의 성능 및 내구성에 주요한 영향을 미치는 것을 확

인할 수 있다.

### 3. 온도에 대한 석면 안정화제 내구성 평가

Figure 4와 Table 5에서 보는 바와 같이, 석면 안정화

제를 처리할 경우 평균 비산농도는 0.0053 개/cc, 무처리 (0.0417 개/cc) 대비 석면비산방지율은 87.2%로 습도 시험에서의 무처리 및 처리 직후 데이터와 거의 일치하는 결

과로써 비교를 위한 전제조건이 성립함을 확인하였다. 60℃에서 5일 유지한 후 성능평가를 실시한 결과 5종 모두 실내공기질기준을 만족하였으며(평균 0.0059 개/cc), 처

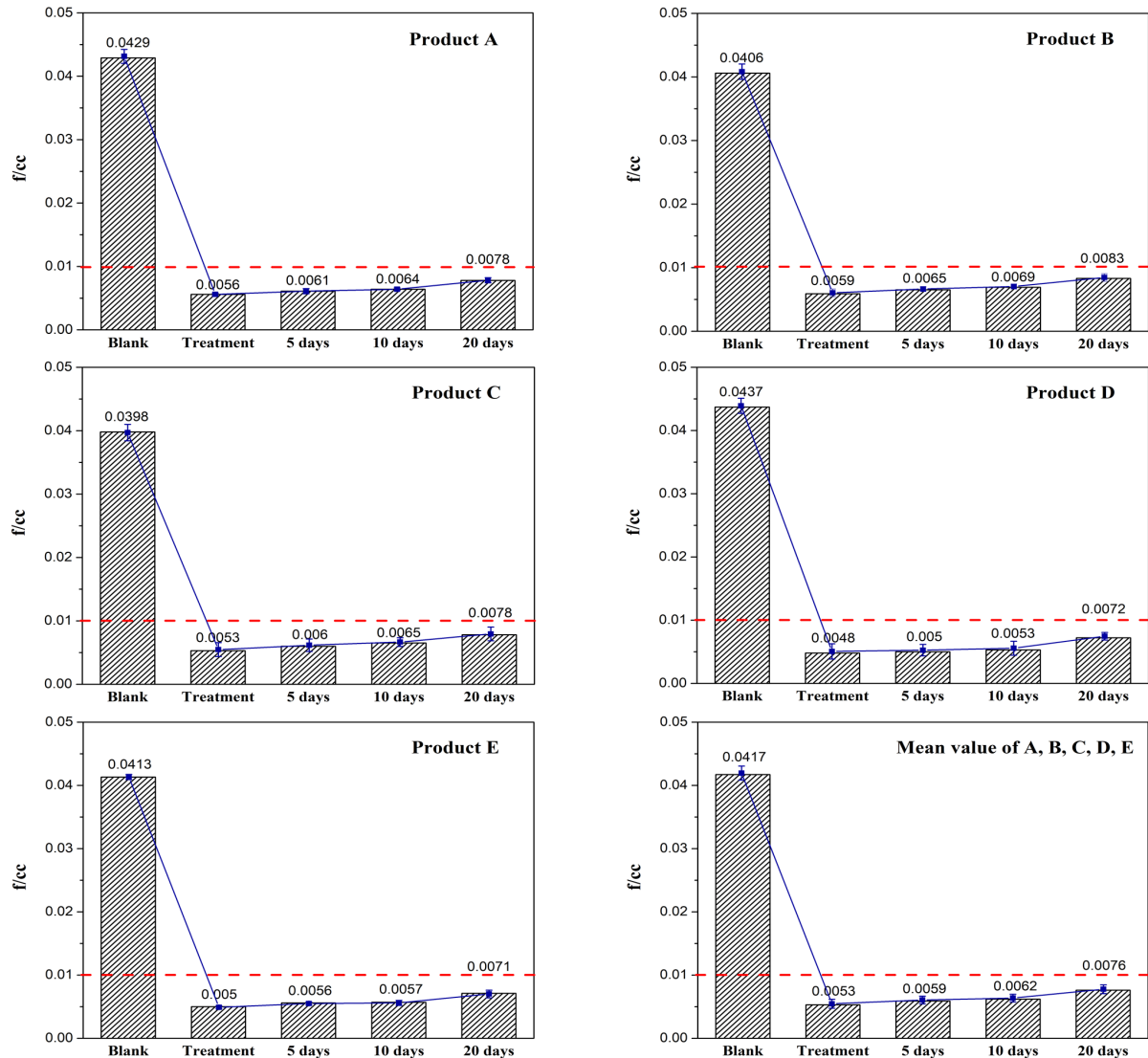


Figure 4. Durability evaluation results of asbestos stabilizer against temperature factor

Table 5. Calculation of asbestos scattering prevention rate by temperature test

Products	Asbestos scattering prevention rate(%)			
	After treatment	After 5 days	After 10 days	After 20 days
A	87.0	85.7	85.1	81.7
B	85.6	83.9	82.9	79.5
C	86.6	84.9	83.6	80.5
D	89.1	88.5	87.9	83.5
E	87.8	86.5	86.1	82.8

리 직후와 비교해도 큰 차이를 보이지 않았다. 10일, 20일 동안 같은 조건에서 유지한 경우에도, 안정화제 종류에 따라 약간의 차이는 보이지만 큰 증감폭은 보이지 않았다. 앞서 시험한 습도 조건에서는 챔버 내 유지 시간이 증가할수록 석면 안정화제의 성능이 현저히 저하되는 것을 확인한 반면, 온도 조건에서는 시간 경과에 따라 내구성능에 큰 차이를 보이지 않았다. 이를 통해 석면 안정화제의 내구성능에 영향을 미치는 주요 열화 인자가 습도임을 판단할 수 있다.

#### 4. 온도 및 습도 동시인가에 따른 석면 안정화제 내구성 평가

시험 조건은 복합 스트레스 인가에 따른 가속 조건으로 상대습도 95%RH, 온도 60℃의 항온항습 챔버 내에 5, 10, 20일 동안 유지시킨 시험체의 성능평가 결과를 Figure 5에 나타냈고, 이를 통해 산출한 석면비산 방지율을 Table 6에 나타냈다. 무처리 시험체의 평균 비산농도는 0.0479 개/cc로, 0.0418 및 0.0417 개/cc의 습도 및 온도 단일 인자 무처리 결과를 참조했을 때 환경 인자별 내구성 평가에 적용된 모든 판상형 시험체가 평균 0.04 개/cc의 균일한 비산농도를 가짐을 확인할 수 있었다. 석면 안정화제를 처리한 직후 평균 농도는 0.0056 개/cc로 나타났다으며 5종의 제품 모두 0.01 개/cc 이하의 실내공기질

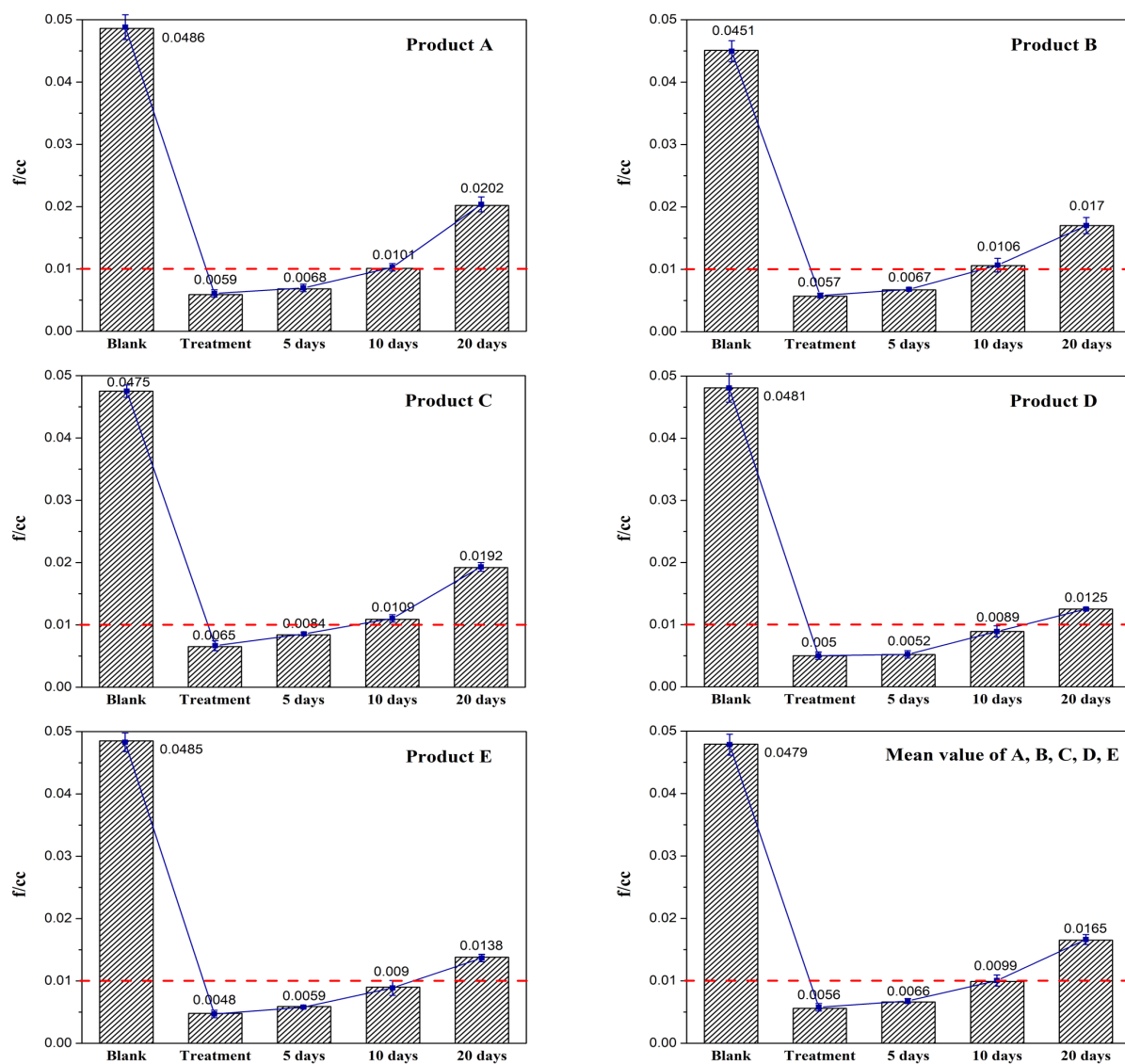


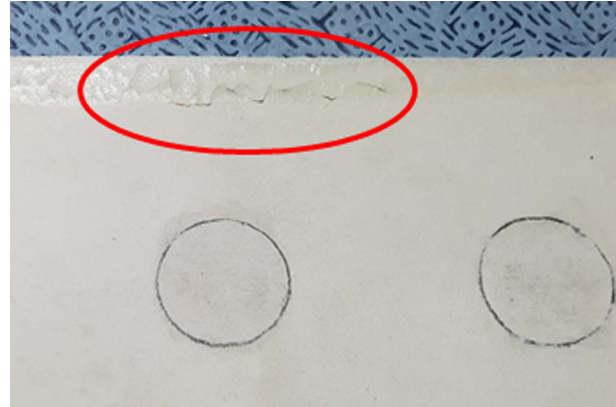
Figure 5. Durability evaluation results of asbestos stabilizer against temperature and humidity factor

**Table 6.** Calculation of asbestos scattering prevention rate by temperature and humidity test

Products	Asbestos scattering prevention rate(%)			
	After treatment	After 5 days	After 10 days	After 20 days
A	88.0	86.0	79.3	58.5
B	87.3	85.2	76.4	62.2
C	86.2	82.2	77.1	59.6
D	89.5	89.2	81.6	73.9
E	90.2	87.9	81.5	71.6



(a)



(b)

**Figure 6.** Comparison of appearance of specimens maintained for 20 days under (a) single(humidity) and (b) complex stress(humidity and temperature) conditions

기준을 만족하였다. 유지 기간 5일 및 10일의 경우 평균 0.0066 개/cc 및 0.0099 개/cc의 비산 농도를 가짐으로써 안정화제 종류별로 차이는 있지만 여전히 기준치를 만족하는 결과를 나타냈으나, 유지 기간 20일의 경우 평균 비산농도가 0.0165 개/cc로 급격히 증가하여 기준치를 초과하는 결과를 보였으며 석면비산 방지율은 65%까지 감소하였다. 이는 고온 다습 환경에 오래 방치될수록 안정화제의 내구성능이 저하되는 거동을 나타냄으로써 습도 단일 인자에 따른 내구성 평가 결과와 매우 유사한 경향을 확인하였다.

앞선 습도와 온도 각각의 단일 인자에 의한 내구성 평가 결과를 통해 석면 안정화제의 내구성능이 온도에는 거의 영향을 받지 않으나 습도 인자에 대해서는 크게 영향을 받아 습도가 주요 열화 인자로 작용함을 확인하였다. 이에 따라 온도 및 습도가 동시 인가될 경우 석면 안정화제의 내구성능은 습도 인자에 대해서만 주로 영향을 받음으로써 앞서 시험했던 습도에 따른 내구성능과 거의 유사하게 나올 것으로 예상할 수 있었다. 실제로 온·습도 동시인가에 따른 내구성능 평가 결과, 유지기간 5일 및 10

일까지는 거의 유사한 성능치를 나타냈으나, 온·습도 동시인가 조건에서 20일 동안 유지한 후 성능평가 결과 (0.0165 개/cc)는 습도 단일 조건 결과(0.0129 개/cc)와 비교하여 급격하게 저하된 비산성능을 나타냈다. 이는 습도에 의한 열화가 지속적인 고온 환경에서 보다 촉진되어 나타나는 시너지 효과라고 판단되며, Figure 6에 나타난 바와 같이 복합 스트레스에 의한 열화 메커니즘은 습도에 의한 열화 메커니즘과 동일함을 확인할 수 있다. 결론적으로 석면 안정화제의 열화는 다습 조건에 지속적으로 노출될 경우 표면에 코팅된 안정화제가 수분에 의해서 재용해되어 증발하거나 코팅층이 벗겨지기 때문이며 이러한 열화는 고온 환경에서 가속되어 나타날 수 있다. 따라서 석면 안정화제 내구성능을 향상시키기 위해서는 내수성 및 발수성을 부여할 수 있는 첨가제를 적용하는 등의 습도 저항성을 향상시킴으로써 여름철 고온 다습 환경에 의한 석면 안정화제의 내구성능 저하를 개선시키는 연구가 필요하다.

#### IV. 결 론



석면 안정화제는 비산방지제의 개념으로 석면 함유 건축자재 표면에 물리적으로 흡착하여 석면 미세 섬유를 고착화시켜 비산을 방지하는 약품으로써 석면을 함유한 건축자재의 안전하고 지속적인 사용을 목표로 한다. 이러한 석면 안정화제의 제품 평가를 위해서는 기초 특성 및 성능 평가뿐만 아니라 내구성 평가가 필수적으로 수반되어야 하며, 현재까지는 이와 관련하여 국내외 석면 안정화제의 내구성 평가 기술 및 관련 규격이 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 환경 인자를 고려하여 내구성 평가 기준을 설계하고 이에 따른 내구성능 데이터베이스를 구축하였다.

본 연구에서 대상으로 하는 천장재는 내장재로써 여름철 높은 상대 습도, 계절별 실내 온도의 영향을 고려하여 습도 및 온도를 석면 안정화제의 내구성 평가를 위한 환경 인자로 설정하였고, 도로 및 관련제품의 내후성 시험 규격 및 기상청 통계자료에 근거하여 습도 95%RH 및 온도 60℃의 조건에서 120, 240, 480시간(5, 10, 20일)의 유지 기간을 평가 기준으로 도출하였다. 석면 안정화제의 내구성 평가를 위해 천장 텍스에서 비산되는 석면 농도를 기준으로 평균 0.04 개/cc의 균일한 비산농도를 가지는 판상형 시험체를 제작하여 무처리 시험체로 사용하였고, 평가 기준에 적합한 시험 환경을 구현하기 위해 습도 및 온도 조절이 가능한 항온항습 챔버를 도입하였다.

국내외에서 시판되고 있는 무기계 석면 안정화제 상용제품 5종을 연구 대상으로 선정하여 판상형 시험체에 1 kg/m<sup>2</sup>으로 처리한 후 평가 기준에 따른 내구성 평가를 실시하였다. 습도 단일 조건에서의 내구성 평가 결과, 5, 10, 20일의 시간 경과에 따라 석면 비산농도가 증가하는 경향을 나타냈으며, 상대습도 95% 조건에서 20일 동안 유지한 경우에는 실내공기질기준인 0.01 개/cc를 초과하였다. 하지만 온도 단일 조건에서의 내구성 평가 결과, 20일까지 유지한 후에도 여전히 실내공기질기준을 만족하였으며, 처리 직후와 비교해도 큰 차이를 보이지 않았다. 온도 및 습도 동시 인가에 따른 내구성 평가 결과 습도 단일 인자에 따른 내구성 평가 결과와 매우 유사한 경향을 나타냈으나, 유지기간 20일에서 석면 비산농도가 급격히 증가하여 보다 저하된 성능치를 나타냈다.

이를 통해 석면 안정화제의 내구성능에 영향을 미치는 주요 열화 인자가 습도임을 확인하였고 이는 표면에 코팅된 석면 안정화제가 수분에 의해서 재용해되어 증

발하거나 코팅층이 벗겨지는 메커니즘으로 이러한 열화는 고온 환경에서 가속되어 나타남을 확인하였다.

## 감사의 글

이 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20006585)

## References

- Furuya S, Chimed-Ochir O, Takahashi K, David A, Takala J. Global asbestos disaster. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(5):1000 (<https://doi.org/10.3390/ijerph15051000>)
- International Labor Organization(ILO). *Encyclopaedia of occupational health and safety*. 4th ed. vol II. Geneva, International Labour Office, 1998. p.138-145
- Jung SH, Cha JS, Kim SM, Lee WS, Lim HJ, Kim HW. 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 (<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.021>)
- Ki YH, Kim JM, Roh YM, Chung L, Kim YS, Sim SH. A survey for some asbestos containing products in Korea. *J Environ Health Sci* 2008;34(1):108-115 (<https://doi.org/10.5668/JEHS.2008.34.1.108>)
- Kim CK, Ha KT, Kang MH, Chung SN, Kim JS, Kim GY, Chung JH, Eo SM, Jung K. A study on the efficiency test of asbestos stabilizers. *J Korean Soc Environ Eng* 2018;40(7):277-281 (<https://doi.org/10.4491/KSEE.2018.40.7.277>)
- Kim HK, Chon YW, Roh YM, Hong SH, Kim, CN, Lee IM. Investigation and risk assessment of asbestos-containing materials used in buildings. *J Korean Soc Environ Hyg* 2018;29(1):35-42 (<http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2018.28.1.35>)
- Kwon JW. Evaluation of quality management of domestic asbestos survey and monitoring service providers. *J Korean Soc Environ Hyg* 2019;29(2):217-225 (<http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2019.29.2.217>)
- Lee RJ, Van Orden DR. Airborne asbestos in buildings. *Regul Toxicol Pharmacol* 2008;50(2):218-225 (<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.10.005>)
- Lim HJ, Lim JY, Jung HS, Lee JY, Lee WS. Study on the introduction of the efficiency test of asbestos stabilizers on the spray-applied ACBM. *J Odor*

- Indoor Environ 2012;9(4):345-353
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Asbestos Safety Management Act(MoEL Public Notice No. 16272).; 2020
- Shin HG, Choi YK, Jeon BR, Ha, JY. 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 (<http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2015.25.1.82>)
- Shin HG, Choi YK, Jeon BR, Ha, JY, Seon YS, Park WM. A study of asbestos stabilizer treatment considering the actual environment of ceiling materials. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2016;26(2):139-146 (<http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2016.26.2.139>)
- Song TH, Park JS, Shin HG. A study on penetration effect of penetrating hardener for prevention of scattering of asbestos building materials. J Rec Const Resources 2018;6(4):324-330 (<https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.4.324>)
- Spasiano D, Pirozzi F. Treatments of asbestos containing wastes. J Environ Manage 2018;204:82-91 (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.038>)
- Yoon YR, Kwak KM, Choi YY, Youn KW, Bahk JW, Kang DM, Paek DM. The Asbestos Ban in Korea from a Grassroots Perspective: Why Did It Occur?. Int J Environ Res Public Health 2018;15(2):19 (<https://doi.org/10.3390/ijerph15020198>)

#### <저자정보>

하주연(연구원), 신현규(수석연구원)