석면 비산방지제의 성능평가 시험 연구

A Study on the Efficiency Test of Asbestos Stabilizers

김창규[†] · 하광태 · 강미혜 · 정숙녀 · 김지성 · 김가연* · 정종흡 · 어수미 · 정권
Chang-Kyu Kim[†] · Kwang-Tae Ha · Mi-Hyae Kang · Sook-Nye Chung · Ji-Sung Kim
Ga-Yeon Kim* · Jong-Heub Chung · Soo-Mi Eo · Kweon Jung

서울특별시보건환경연구원 · *단국대학교 보건대학원

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

**Department of Public Health, Graduate School of Health & Welfare, Dankook University*

(Received April 9, 2018; Revised May 15, 2018; Accepted July 12, 2018)

Abstract : The purpose of this study is to develop a device to evaluate the performance of asbestos stabilizers and improve the accuracy of the process test method. We increased the accuracy of the test method by applying the air injection method and pressure control method of the nozzle in the testing methods for performance evaluation of encapsulants in asbestos-containing building materials (KS M 2757:2014). As a result of applying the air injection method, the average concentration of asbestos obtained using the 2-way method was 0.051 f-PCM/cc, which is approximately four times higher than that obtained using the 1-way method (0.012 f-PCM/cc). In addition, as a result of applying the pressure control method, a constant air velocity of approximately 10 m/s was maintained at the air injection port to the specimen by using the surface pressure sensor. In the absence of the surface pressure measuring part, the air velocity was changed to 6.6, 4.8, and 3.7 m/s respectively, owing to the change of the travel distance of the turning motor. Therefore, the accuracy and efficiency of the test method were improved by supplying 2-way air injection to the specimen without blind spots and maintaining a constant air through the surface pressure sensing function.

Key Words : Asbestos Stabilizers, 2-way Air Injection, Surface Pressure Sensor

요약 : 본 연구의 목적은 석면 비산방지제의 성능을 평가하는 장치기술을 개발하여 현행 공정시험방법을 효율적으로 개선하고자 하였다. KS의 석면 비산방지제 시험방법(KS M 2757:2014)중 섬유비산 시험방법의 공기분사방식과 공기분사구의 압력조절방식을 개선하여 시험의 정확성을 증대시켰다. 공기분사방식을 1-way에서 2-way로 적용한 결과, 측정된 석면 평균농도는 0.051 f-PCM/cc로서 기존의 1-way방식(0.012 f-PCM/cc)보다 약 4배 높아 석면 검출능력이 향상되었다. 또한 공기분사구 압력조절방식 개선을 위해 표면압력측정부를 적용한 결과, 시험체 표면에 항상 일정한 풍속 약 10 m/s를 유지하였다. 그러나 표면압력측정부가 없는 경우에는 구동모터의 이격거리 변화 때문에 풍속이 변화하여 각각 6.6, 4.8, 3.7 m/s로 일정하지 못하였다. 그러므로 2-way공기분사방식을 통해 시험체에 충분한 유량을 사각지대 없이 공급하여 석면 검출능력을 높이고, 표면 압력 측정기능을 통해 시험체에 일정한 풍속을 유지시킴으로써 시험방법의 정확성과 효율성을 개선하였다.

주제어 : 석면 비산방지제, 2-way공기분사방식, 표면압력측정부

1. 서론

석면함유건축자재(Asbestos Containing Building Materials, ACBM)는 매우 탁월한 장점을 가지고 있다. 내열성, 유연성, 내화성, 내산성, 내부식성, 인장강도 등이 뛰어나 뿐만 아니라 값싸게 사용할 수 있어 그 동안 흔히 사용되어 왔다.¹⁾ 그러나 우리나라에서는 1급 발암물질로 밝혀지면서 2009년 이후로 사용이 금지되었다.^{2,3)}

석면은 섬유상 구조 형태를 가지며 분절되면서 미세한 석면입자가 되는 특징을 가지고 있다. 이러한 조건은 공기 중에 부유하기 쉽고 호흡기를 통해 노출되면서 10~40년의 잠복기를 거쳐 질병발생을 일으킨다. 일반적으로 석면은 폐암, 후두암, 난소암, 악성중피종, 석면폐증을 일으킨다.¹⁾ 특히 악성중피종은 폐암에 비해 적은 양의 노출에도 높은 발생률을 일으키고, 우리나라에서는 2030년까지 발생이 증가할

것으로 예상하고 있다.⁴⁾

최근에는 건축물이 점차 노후화 되고, 석면 노출에 의한 피해증가가 예상됨에 따라 석면 비산방지 대책이 더욱 중요해지고 있다. 건축에 사용된 석면함유건축자재는 위해성 평가를 통해 비산 가능성이 높은 경우에 해체·제거가 권장되고 있으나, 낮은 경우에는 지속적인 관리를 통해 석면 비산을 관리하는 것이 타당하다는 발표가 잇따르고 있다.^{5,6)} 그러므로 건축물의 석면함유건축자재의 위치와 상태 파악을 지속적으로 실시해야 하고, 안전한 석면 건축물 관리를 위해 석면 비산방지제의 사용이 권장되고 있다.⁷⁾

미국 재료시험협회(American Society for Testing and Material, ASTM)는 석면 비산방지제 평가를 위해 부착강도, 내충격성, 침투력, 내화성, 표면연소의 품질기준을 제시하고 있으며, 일본 국토교통성(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT)은 밀도 및 점도, 섬유비산, 부

[†] Corresponding author E-mail: cckim0707@seoul.go.kr Tel: 02-570-3172 Fax: 02-570-3177

작강도, 내충격성 평가를 통한 인증제도를 운영하고 있다.⁷⁾ 그리고 우리나라에서도 석면 비산방지제 활용에 대한 필요성을 인식하고 있다.⁸⁾

우리나라에서는 KS의 석면 비산방지제 시험방법(KS M 2757:2014)을 통해 충격, 부작강도, 섬유비산 시험에 적합해야 한다. 국가측정 표준시험 기준은 전 세계 시험기관을 대상으로 매우 중요한 잣대이므로, 정확해야 하고 새로운 기술개발 진화에 적응해야 한다. 본 연구에서는 석면 비산방지제의 성능평가를 위해 물리적 충격과 부작강도 시험을 거쳐 최종적으로 실시하는 공기 중 섬유비산 시험방법을 효율적으로 개선하고자 하였다. 섬유비산 시험방법은 밀폐형 상자용기 상단에 시험체를 거치시킨 후, 회전공기분사장치로 바람을 충돌시키고 탈리를 유도하여, 실질적으로 비산하는 석면을 측정하는 방법이다.

따라서 본 연구는 섬유비산시험을 응용하여 공기분사노즐은 1-way에서 2-way 방식으로 변경하고, 시험체의 표면압력 측정부에는 전기적 신호감지체계기술을 적용하여 보다 신뢰성 있는 분석결과를 도출하여 기존의 KS 시험방법을 개선함으로써, 소비자가 석면 비산방지제 제품을 신뢰기반 위에 사용할 수 있고, 엄격한 품질관리가 이루어질 수 있도록 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상

석면건축자재로 쓰이는 천장재를 대상으로 하였고, 섬유비산 시험을 통해 포집된 석면은 위상차현미경을 이용하여 분석하였다. Fig. 1과 같이 천장재(200 × 200 mm²) 면적의 12.5%를 훼손시킨 후, 분사된 공기(바람)의 충돌로 인해 석면이 비산되도록 유도하였다. 이때 천장재의 훼손기준은 AHERA (Asbestos Hazard Emergency Response Act: 미국석면긴급대응법)의 10% 이상 훼손을 “심한훼손(Significant Damaged Condition)”으로 규정하고 있으므로 실험에서는 보다 가혹조건으로 12.5%를 선정하였다.⁹⁾ 본 실험은 석면 비산방지제의 성능을 평가하는 것이 아니라 평가시험방법 자체

Fig. 1. Sample of damaged asbestos-containing ceiling materials.

를 개선하도록 검증한다는 점과, 석면 비산방지제 처리를 할 경우 석면의 탈리를 볼 수 없어 비산결과를 알 수 없다는 점 때문에 시험체 표면에 석면 비산방지제를 도포하지 않고 진행하였다.

2.2 섬유비산 시험방법

석면 비산방지제 성능시험방법(KS M 2757)의 「6.1 공기에 의한 섬유비산시험」에 따라 밀폐형 상자용기 상단에 시험체를 거치시키고 2.2.1의 1-way & 2-way 공기분사방식을 적용하여 바람을 충돌시켰다. 탈리된 비산석면은 직경 25 mm, pore size 0.8 μm의 MCE (Mixed Cellulose Ester) 필터가 장착되어 있는 cassette (Z008BA, Zefon USA)와 공기 중 시료채취 펌프(SARA-4000S, KEMIK)를 이용하여 60분간 동안 포집하였다. 포집된 시료는 실내공기질 공정시험기준 (Indoor air quality management guideline)의 「실내공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법(ES 02303.1)」에 따라 위상차현미경법(Phase Contrast Microscopy, PCM)으로 분석하였다. 위상차현미경 분석 특성상 숙련도가 중요하므로 실내공기질 공정시험의 정도관리 및 실험실 내부정도관리 기준에 적합한 실험자가 분석하였다.

2.2.1. 1-way & 2-way 공기분사방식

KS 시험방법에서는 공기의 송풍구에 3개의 노즐을 1-way (90°)로 분사하도록 설치하였으나, 본 연구에서는 2-way (10 ~ 15°) 분사방식도 추가하여 두 가지 경우를 2.2 섬유비산 시험방법에 따라 석면의 농도를 측정하였다. 단, 분사방식 자체의 결과를 비교하는 것으로 표면압력측정부 기능은 제외하였다.

2.2.2. 전기적 신호전달체계방식 표면압력측정부

KS 시험방법에서 시험체 표면풍압 98 kPa에 대응하는 풍속이 약 10 m/s이므로 풍속계를 이용하여 표면풍압을 측정하였다.⁷⁾ 한편 KS에서는 회전구동모터를 분당 10회 회전하도록 규정했지만 본 실험에서는 시험체와 분사노즐간 이격거리 100 ~ 400 mm로 변화시켜 상하이동까지 추가함으로써 챔버 내 시료의 균질성을 증대시키고자 했다. 그러므로 상하회전구동모터로 분사노즐부와 시험체간의 이격거리를 변화시키면서 시험체 표면에 도달하는 풍속을 표면압력측정부 유·무에 따라 비교 시험하였다. 이때 시험체 표면에 미치는 목표 풍속은 10 m/s로 선정하였다. 단, 표면압력측정부의 효과를 비교하는 것으로 분사방식 적용은 제외하였다.

3. 결과 및 고찰

12.5%로 훼손된 천장재를 시험체로 하여 본 연구의 2가지 개선된 시험방법에 따라 얻은 결과를 기존 KS 시험방법과 비교하였다. 자체적으로 모형장치를 개발하여 개선된 시

Fig. 2. Model device of the wind effect test equipment.

험방법을 정확히 구현하였다(Fig. 2). 모형장치는 내부공간을 가지는 챔버, 내부공간 상부에 설치되어 시험체가 장착되는 시험체거치부, 분사노즐의 중심축을 기준으로 10~20°의 각도를 이루는 2개의 분사구가 형성된 기둥 형상의 분사노즐부, 시험체로부터 발생한 입자상 물질을 포집하기 위하여 챔버내부에 설치된 시료포집부, 시험포집부와 포집관을 통하여 연결되는 포집펌프, 챔버의 측면부에 부착되고 송풍구 튜브부가 중심축을 기준으로 회전하도록 하는 회전모터부로 구성되어 있다. 챔버 하단에는 정전기 차단을 위하여 접지를 추가하였다.

시료채취 방식은 분사구에서 공기가 분사되어 시험체 표면과 충돌하여 석면이 탈리되면 시료포집부에서 시료를 채취할 수 있도록 하였다. 노즐 주변 공기흐름은 마찰계수 0.0588인 층류공기가 상하회전운동을 통해 분사되는 방식이며, 챔버 내부에 공기가 풍속 10 m/s로 유입될 경우 분사노즐내경의 반지름 0.85 mm를 감안할 때 유량은 $2.27 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 이며 챔버 체적이 $72 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 이므로 체류시간은 52 분이였다. 이때의 습도조건은 환경부 이화학실험실 상대습도 기준 40~60%를 유지하였다.

3.1. 공기분사방식

Table 1에서와 같이 2-way방식이 1-way방식보다 석면 평

Table 1. Result of the wind tunnel test between 1-way and 2-way (f-PCM/cc)

Test	Air injection nozzle	
	1-way	2-way
1	0.018	0.056
2	0.007	0.031
3	0.015	0.074
4	0.009	0.048
5	0.012	0.045
Average	0.012	0.051

Fig. 3. Internal air flow of 2-way air injection method.

균농도가 0.051 f-PCM/cc로서 기존의 1-way방식(0.012 f-PCM/cc)보다 약 4배 높게 검출되었다. 본 실험은 표면압력 측정 기능과 상관없이 2-way분사방식의 효과를 별도로 측정하였다. Fig. 3과 같이 외부 펌프로부터 유입되는 공기가 구동모터의 튜브부로 흘러 노즐에 이르게 되는데, 이때 노즐에는 전방 사선방향으로 두 개의 분사구를 구성하여 분사의 효율을 높였다. 10~20°로 분사구 방향을 정한 이유는 부채꼴 모양으로 균질하게 시험체 표면에 분사하면서 상하 이동 운동에 따른 이격거리 변화에도 공기유량을 시험체 표면에 정확히 제공하기 위함이다. 또한 겹쳐지는 분사면적(overlap)은 보강간섭을 일으켜 분사거리 증가에 따른 유량 밀도가 낮아지는 현상도 방지할 수 있다(Fig. 4). 따라서 10~20°의 사선으로 비산되는 2-way분사방식이 1-way분사방식보다는 충분한 유량을 시험체 표면에 제공할 수 있기 때문에 바람이 사각지대 없이 균질하게 공급된 것으로 판단된다.

Fig. 4. 2-way and 1-way air injection system.

3.2. 전기적 신호전달체계방식 표면압력측정부

Table 2에서와 같이 시험체 표면에 10 m/s의 일정한 풍속을 얻고자 할 때 표면압력측정부가 없을 경우에는 최초풍속 10 m/s로 출발하였으나 시험체 표면풍속은 6.6 m/s(이격거리 100 mm), 4.8 m/s(이격거리 150 mm), 3.7 m/s(이격거리 200 mm)로서 목표치 10 m/s에 도달하지 못하였다. 이는 상하방향을 이동하는 구동모터의 운동에 따른 이격거리가 변화하였지만 그에 걸맞는 풍속조절을 못했기 때문이다. 반면 표면압력측정부가 있을 때는 풍압정보가 오리피스부(압력 조절부)에 전달되어 풍속이 자동조절되므로 시험체 표면풍속은 일정하게 모든 이격거리에서 10 m/s로 조절되었다. 즉, 표면압력측정부의 기능으로 상하회전구동모터의 이격거리가 변화하여도 풍속을 일정하게 유지할 수 있었다. 그 이유는 Fig. 5와 같이 시험체 거치부의 일측에 표면압력측정부를 두어 이격거리 변화에 따른 다양한 풍속을 감지하여, 전기적신호를 오리피스(압력조절장치)에 전달하여 원하는 압력

Table 2. Comparison of the wind velocity change on areas of the air injection nozzle and the specimen surface (m/s)

Surface pressure	area of specimen surface			area of air injection nozzle		
	100 mm	150 mm	200 mm	100 mm	150 mm	200 mm
No surface pressure measurement	6.5	4.8	3.6	10.2	10	10.1
	6.6	4.9	3.7	10	10.1	10.2
	6.5	4.8	3.9	10.1	10	10
	6.6	4.7	3.8	10.1	10	10
	6.7	4.8	3.5	10	10.2	10
Average	6.6	4.8	3.7	10.1	10.1	10.1
With surface pressure measurement	10.1	10	10.1	18.7	20.2	22.9
	10	10.2	10.1	18.8	20.3	23
	10.1	10.1	10	18.8	20.4	22.8
	10.2	10	10	19	20.2	22.9
	10	10.1	10.1	18.7	20.5	23
Average	10.1	10.1	10.1	18.8	20.3	22.9

Fig. 5. Surface pressure sensor system applying the electronic signal transmission system.

Table 3. Comparison of test methods between KS and this study

Method	Air injection	Control of the air velocity and surface pressure
KS	1-way	1-way can hold only a preset air velocity
		It is possible to set the velocity before starting, but It is impossible to control the change in the travel distance
This study	2-way*	The pressure value corresponding to the changed travel distance is transmitted to the orifice**
		The orifice adjusts the velocity in the real time to provide a constant velocity to the surface of the specimen

* 2-way wind can blow into the specimen

** A constant air velocity can be maintained as a result of applying the pressure control method

으로 조절할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 이격거리 변화에 따른 일정한 풍속유지 여부를 평가하였지만 향후 다양한 환경조건에서 비교분석하여 평가할 필요가 있다.

요컨대, 표면압력측정 감지기능을 통해 분사장치에서 출발한 공기의 압력 값만을 조절하기 보다는 실제로 시험체 표면에 미치는 압력을 감지함으로써 일정한 유량을 유지할 수 있었다. 또한 대기압의 차이가 존재하는 다양한 장소에 상관없이 항상 일정한 유량을 시험체에 전달이 가능할 것으로 사료된다.

지금까지 공기분사방식과 전기적 신호전달체계방식 표면 압력측정부 기능을 개선하여 KS시험과 비교해 보면 Table 3과 같다. KS시험의 1-way분사방식을 2-way분사방식으로 적용함으로써 충분한 유량을 시험체 표면에 사각지대 없이 공급하였고, 표면압력측정부 설치를 추가하여 노즐이 장착된 상하회전구동모터의 이격거리가 변화하여도 풍속을 일정하게 유지할 수 있도록 하였다.

최근 미국과 일본에서는 석면건축물의 안전한 관리를 위해서 석면 비산방지제 사용을 권장하고 있다.¹⁰⁾ 특히 우리나라에서는 방학 중에 석면을 해체·제거하면서 발생하는 위해성을 학부모들이 염려하는 상황에서 석면 비산방지제가 대안으로 제시될 수 있어 필요성이 커지고 있다. 따라서 시중에 유통되는 석면 비산방지제에 대한 엄격한 품질관리와 부정불량 제품을 차단하고 정확한 시험기준 및 방법의 제시가 중요하기 때문에, KS시험방법에 의한 인증제도 도입 필요성이 증가되고 있다. 그러므로 위의 연구결과는 석면 비산방지제의 성능을 제대로 평가하는 효율적인 방법으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 석면 비산방지제의 효율적인 성능평가 방법을 확립하고자 공기가 종래의 1-way방식으로 분사되는 문제점을 해소하면서, 시험결과의 객관성 및 정확성을 높이하고자 했다. 한편 시험체 표면에는 표면압력측정부를 설치하여 구동

모터의 상하이동으로 발생하는 이격거리 변화에 상관없이 일정한 공기유량이 제공될 수 있도록 하였다. 공기분사방식을 1-way에서 2-way로 적용한 결과, 측정된 석면 평균농도는 0.051 f-PCM/cc로서 기존의 1-way방식(0.012 f-PCM/cc)보다 약 4배 높아 석면 검출능력이 향상되었다. 아울러 공기분사구에 표면압력측정부를 적용하여 시험체 표면에 항상 일정한 풍속 약 10 m/s가 유지될 수 있도록 했다.

즉, KS시험방법 중 시험체에 공기를 분사시켜 석면입자를 탈리시키는 섬유비산 시험방법 중 공기분사방식, 공기분사구의 압력조절방식을 적용하여 KS 시험방법을 개선함으로써 석면 비산방지제의 성능을 더욱 정확하고 신뢰성 있게 평가할 수 있었다. 그러므로 차후 석면 비산방지제의 KS시험 인증제 도입에 필요한 정확한 시험방법이 될 것으로 기대한다.

KSEE

References

1. Humans (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to), "ASBESTOS (CHRYSTOTILE, AMOSITE, CROCIDOLITE, TREMOLITE, ACTINOLITE AND ANTHOPHYLLITE)," <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304374/>, (2012).
2. Kim, H. R., "Overview of Asbestos Issues in Korea," *J. Korean Med. Sci.*, **24**(3), 363~367(2009).
3. Ki, Y. H., Kim, J. M., Roh, Y. M., Chung, L., Kim, Y. S. and Sim, S. H., "A survey for some asbestos containing products in Korea," *J. Environ. Hlth. Sci.*, **34**(1), 108~115(2008).
4. Kim, H. R., Ahn, Y. S. and Jung, S. H., "Epidemiologic Characteristics of Malignant Mesothelioma in Korea," *J. Korean Med. Assoc.*, **52**(5), 449~455(2009).
5. Lee, R. J. and Van Orden, D. R., "Airborne asbestos in buildings," *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **50**(2), 218~225(2008).
6. Cha, R. H., Zhang, Y. L., Kim, Y. C., Hong, W. H. and Son, B. H., "Study on the Effect Method to Manage Asbestos-Containing Materials on College Campuses Based on Their Usage Status Investigation - Focused on K University in Daegu-," *J. A. I. K.*, **31**(4), 247~254 (2015).
7. Lim, H. J., Lim, J. Y., Jung, H. S., Lee, J. Y. and Lee, W. S., "Study on the Introduction of the Efficiency Test of Asbestos Stabilizers on the Spray-applied ACBM," *J. Odor. Indoor. Environ.*, **9**(4), 345~353(2012).
8. Shin, H. G., Choi, Y. K., Jeon, B. R. and Ha, J. Y., "A Study of penetration depth into ceiling materials containing asbestos according to dilution rate of scattering prevention agent," *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.*, **25**(1), 82~88(2015).
9. EPA (Environmental Protection Agency), "How to Manage Asbestos in School Buildings: The AHERA Designated Person's Self Study Guide,"(1996).
10. Jung, S. H., Cha, J. S., Kim, S. M., Lee, W. S. Lim, H. J. and Kim, H. W., "Evaluating the efficiency of an asbestos stabilizer on ceiling tiles and the characteristics of the released asbestos fibers," *J. Hazard. Mater.*, **300**, 378~386(2015).