

서울시내 석면함유 건축물 철거 현장 등에서의 효과적인 공기 중 석면농도 측정을 위한 연구

이진호^{1*} · 이수현 · 김정연 · 김지희 · 정숙녀 · 김진아 ·
오석률 · 김익수 · 신진호 · 어수미 · 정권 · 이진숙²

¹서울특별시 보건환경연구원, ²인천광역시 보건환경연구원

A Study on the Efficient Measurement of Airborne Asbestos Concentrations at Demolition Sites of Asbestos Containing Buildings, etc. in Seoul

Jinhyo Lee^{1*} · Suhyun Lee · Jeongyeun Kim · Jihui Kim · Sooknye Chung · Jina Kim ·
Seokryul Oh · Iksoo Kim · Jinho Shin · Soomi Eo · Kweon Jung · Jinsook Lee²

¹Asbestos Research Team, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

²Division of Water Quality Conservation, Incheon Institute of Public Health and Environmental Research

ABSTRACT

Objectives: This study is intended to seek credible and efficient measurements on airborne asbestos concentrations that allow immediate action by establishing complementary data through comparative analysis with existing PCM and KF-100 method real-time monitoring equipment in working areas in Seoul where asbestos-containing buildings are being demolished, including living environment surroundings.

Materials: We measured airborne asbestos concentrations using PCM and KF-100 at research institutes, monitoring networks, subway stations and demolition sites of asbestos-containing buildings. Through this measurement data and KF-100 performance testing, we drew a conversion factor and applied it via KF-100. Finally we verified the relationship between PCM and KF-100 with statistical methods.

Results: The airborne asbestos concentrations by PCM for the objects of study were less than the detection limit (7 fiber/mm³) in three (20%) out of 15 samples. The highest concentration was 0.009 f/cc. The airborne asbestos concentrations by PCM in laboratories, monitoring networks, subway stations and demolition sites of asbestos-containing buildings were respectively 0.002±0.000 f/cc, 0.004±0.001 f/cc, 0.009±0.001 f/cc, and 0.002±0.000 f/cc. As a result of KF-100 performance test on rooftops, the conversion factor was 0.1958. Applying the conversion factor to KF-100 for laboratories, the airborne asbestos concentrations ratio of the two ways was nearly 1:1.5 (R²=0.8852). Also, the airborne asbestos concentration ratio of the two ways was nearly 1:1 (R²=0.9071) for monitoring networks, subway stations, and demolition sites of asbestos-containing buildings. As a result of independent sample t-tests, there was no distinction between airborne asbestos concentrations monitored in the two ways.

Conclusions: In working areas where asbestos-containing buildings are being demolished, including living environment surroundings, quickly and accurately monitoring airborne asbestos scattered in the air around the working area is highly important. For this, we believe a mutual interface of existing PCM and a real-time monitoring equipment method is possible.

Key words : Asbestos, asbestos containing buildings, conversion factor, PCM, real-time monitoring

I. 서 론

석면은 그리스어에서 유래한 것으로 ‘불멸의 물질’

이라는 뜻을 가진 천연에서 생산되는 섬유상 형태를 가지고 있는 ‘규산염 광물류’이다. 석면의 종류는 다양하지만 일반적으로 널리 사용된 사문석계통의 백

*Corresponding author: Jinhyo Lee, Tel: 02-570-3173, E-mail: co90mp@seoul.go.kr, Asbestos Research Team, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, 30 Janggunmaeul 3-gil, Gwacheon-si, Gyeonggi-do, 427-070
Received: February 18, 2014, Revised: May 26, 2014, Accepted: May 27, 2014

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.

석면(Chrysotile)과 각섬석계통의 갈석면(Amosite), 청석면(Crocidolite), 악티노라이트석면(Actinolite asbestos), 안소필라이트석면(Anthophyllite asbestos), 트레모라이트석면(Tromolite asbestos) 등으로 구분된다(KOSHA, 2012).

석면은 단열성, 내열성, 절연성이 좋고, 산이나 알칼리와 같은 화학물질에 대한 내구성이 강하며 내마모성이 좋아 마감재, 단열재, 보온재 등의 건축자재, 브레이크라이닝 및 클러치 표면 등의 자동차 부품, 배관공사 플랜지이음에서의 가스켓, 석면시멘트관 등 다양한 분야에서 이용되었고, 그 제품도 3,000여 개가 넘는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2010; KOSHA, 2012). 이처럼 석면은 다양한 제품으로 전 세계에서 광범위하게 사용되고 있으며, 우리나라에서도 1976년부터 1995년까지의 석면수입량이 연간 평균 6만 4천톤에 이르는 등 석면사용량은 산업의 발달과 더불어 꾸준히 증가하였으며, 특히 수입된 석면의 약 82% 이상은 건축자재로 사용되었다(Choi et al., 1998; Kim et al., 2013).

하지만 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 석면을 1급 발암물질(Group 1 Carcinogen)로 규정하고 있듯이 석면이 공기 중으로 방출되었을 경우, 석면입자는 호흡기를 통해 체내로 들어와 오랜 잠복기를 거쳐 석면폐증(Asbestosis), 폐암(Lung cancer) 및 중피종(Mesothelioma) 등의 악성질환을 발생시키는 것으로 보고되고 있는 등 석면에 의한 건강 피해는 사회적인 문제가 되고 있다(Artvinii & Bais, 1979; Christopher et al., 2002). 특히 앞서 언급했듯이, 우리나라의 경우 주로 건축자재에 석면이 광범위하게 사용되었기 때문에 노후화, 주거환경정비 등에 따른 재개발, 재건축 사업장 등에서 석면함유 건축물 철거 시, 필연적으로 석면이 공기 중으로 방출될 것으로 판단된다.

이와 같이 석면은 석면해체·제거 사업장에서 공기 중으로 방출되어 작업자뿐만 아니라 작업현장 주변에도 비산되는 등 2차적인 피해를 발생시킬 수 있기 때문에 석면에 의한 피해를 줄이기 위한 석면 비산 방지대책이 강조되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 보다 신속하고 정확한 석면농도 모니터링이 필요한데, 현재 국내에서는 공기 중 석면농도 측정방법으로써 실내공기질 공정시험기준(Indoor air quality management guideline, 2010)과 대기오염공정시험방법

(Standard methods for examination of air, 2007)에 따라 위상차현미경법(Phase Contrast Microscopy, PCM)이 널리 사용되고 있다. 하지만 PCM법은 공기 중에 포함된 섬유상 입자 이외의 비섬유상 입자에 의한 측정 오차가 발생하기 쉽고, 또한 측정 결과의 확인에 시간이 다소 걸리기 때문에 석면 비산 방지의 효과를 실시간으로 확인하는 것이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 기존의 공기 중 석면농도 측정을 위한 PCM법과 실시간으로 섬유상 물질을 측정하는 장비를 활용한 방법을 비교·분석하여 상호 보완적인 데이터를 구축함으로써 생활환경 주변뿐만 아니라 향후 석면함유 건축물 철거에 따른 신뢰할 수 있고 즉각적인 대처가 가능한 효율적인 측정방법을 모색하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 조사기간 및 대상

본 연구는 2013년 1년 동안 서울특별시보건환경연구원 연구동 옥상 및 석면조사탑 내 실험실 3개소, 대표적인 서울시 대기측정소 2개소, 많은 시민들이 이용하는 환승 지하철역사 2개소, 석면해체·제거 사업장 4개소에서 총 18회에 걸쳐 위상차현미경(ECLIPSE 80i, Nikon, Japan)과 실시간 섬유상 입자 모니터(KF-100, Sibata, Japan)를 사용하여 공기 중 석면농도를 측정하였다. 측정지점 및 관련 세부내역은 Figure 1 및 Table 1과 같다.

2. 시료채취

본 연구에서는 기존 PCM 분석을 위해 실내공기질

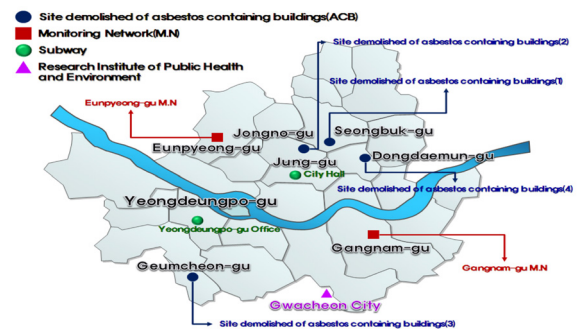


Figure 1. Each sampling point in the study

Table 1. The details of each sampling points in the study

Classification	Research subject	Sampling collection site	Note
Rooftop	Research building	4th floor rooftop	For drawing conversion factor
Laboratory	PCM	The interior of PCM laboratory	For verifying conversion factor
	PLM	The interior of PLM laboratory	
	TEM	The interior of TEM laboratory	
Monitoring network	Eunpyeong-gu	Eunpyeong-gu monitoring network	
	Gangnam-gu	Gangnam-gu monitoring network	
Subway	Yeongdeungpo-gu office	Station office	For comparative analysis PCM and KF-100
	City hall	Station office	
Sites demolished of asbestos containing buildings	Seongbuk-gu, bomun-dong	The boundary line of site	
	Jongno-gu, dongsoong-dong	Around the workplace(the interior)	
	Geumcheon-gu, doksan-dong	The boundary line of site	
	Dongdaemun-gu, hwigyeong-dong	The boundary line of site	



Figure 2. Sampling view for the airborne asbestos with KF-100 and PCM

Table 2. Sampling conditions for the airborne asbestos with KF-100 and PCM

Classification	Analytical instrument	Pore size(μm)	Sampling time(hr)	Air volume(L)	Flow (L/min)	Note
KF-100 performance test	KF-100	-	4	480	2	For drawing conversion factor
	PCM (Back up filter)	0.80	4	480	2	
	KF-100	-	4	480	2	For verifying conversion factor
	PCM	0.80	4	2,400	10	
Application examination	KF-100	-	4(2)	480(240)	2	For comparative analysis PCM and KF-100
	PCM	0.80	4(2)	2,400(1,200)	10	

공정시험기준과 대기오염공정시험방법에 따라서, 동시에 실시간으로 섬유상 물질을 측정하는 장비(KF-100, Sibata, Japan)를 이용하여 공기 중 시료를 채취하였다. 또한 석면 노출에 대한 최악의 경우를 대비하기 위하여 PCM법 및 KF-100 분석결과인 공기 중 섬유상 물질의 농도를 공기 중 석면농도로 간주였으며, 검출한계는 7 fiber/mm²이다(Indoor air quality management guideline, 2010).

PCM 분석용 시료는 직경 25 mm, pore size 0.80 μm의 MCE(Mixed cellulose ester) 필터(Filter)가 장착되어 있는 cassette(Z008BA, Zefon, USA)와 공기 중 시

료채취 펌프(LV-40BR, Sibata, Japan)를 이용하여 약 10 L/min의 유량으로 4시간 동안 2,400 L를 포집하였다(지하철역사의 경우, 2시간 동안 1,200 L 포집).

KF-100 장비는 공기 중에 부유하는 다양한 입자들로부터 석면 등의 섬유상 입자만을 선별하고, 이를 통해 실시간으로 농도를 산출하는 특징을 갖고 있다. 측정원리는 시료 공기가 장비의 채기구로 유입되어 검출부, 유량센서 등을 통과하고 최종적으로 배출될 때, 검출부내를 통과하면 산란광 광도가 펄스상으로 변화되는데 바로 이러한 변화정도의 차이가 섬유상 입자와 비섬유상 입자를 구별할 수 있게 해준다

(Sibata, 2009).

KF-100 장비는 약 2 L/min의 유량으로 4시간 동안 480 L를 포집하였으며, KF-100 후단에 설치되어 있는 백업필터(Back up filter, PCM 분석용 필터와 동일)를 이용하여 환산계수(Conversion factor)를 도출하였다.

3. 연구방법

KF-100 장비에 대한 성능시험을 실시하였다. Table 2와 동일한 조건에서 연구원 내 연구동 옥상을 대상으로 KF-100 측정값과 장비 후단에 설치되어 있는 백업필터를 PCM법으로 분석한 측정값을 이용하여 대표적 환산계수를 산정하였다. 이 때 주의할 점은 환산계수에 영향을 줄 수 있는 흡입속도 및 유량을 일정하게 유지하는 등 샘플링에 유의해야 한다. 그리고 KF-100에 환산계수를 적용시킨 후, 연구원 내 실험실을 대상으로 기존 PCM법과 KF-100 장비를 이용하여 공기 중 시료를 채취하고, 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석하였다.

최종적으로 서울시 대기측정소, 지하철역사 및 석면해체·제거 사업장에 대해서 SPSS 12.0 통계프로그램을 이용한 평균비교, 독립표본 t-검정을 통해 두 측정방법간의 통계적 차이 유무를 검증하는 등 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석하였다. 이를 통해 서울지역 생활환경 주변뿐만 아니라 궁극적으로 실제 석면해체·제거 사업장 등 석면함유 건축물 철거 현장에서 실시간 섬유상 입자 모니터링 장비를 연계하여 활용할 수 있는지를 살펴보았다. 환산계수를 구하는 방법은 아래 식(1)과 같으며,

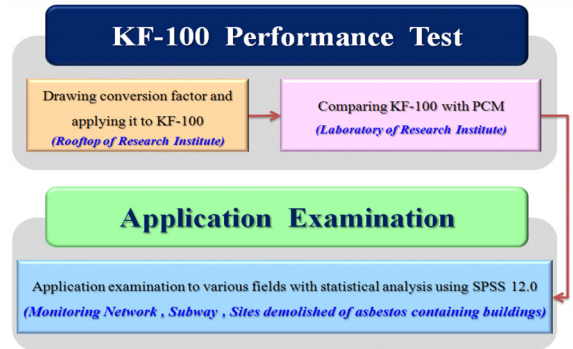


Figure 3. Scheme of method

연구방법에 대한 전체적인 개요는 Figure 3과 같다.

$$F = \frac{C}{R} \tag{1}$$

여기서 F : 환산계수

C : KF-100의 섬유상 입자 농도(f/L)

R : PCM법의 섬유상 입자 농도(f/L)

III. 연구결과 및 고찰

지하철역사, 서울시 대기측정소, 석면해체·제거 사업장 등 PCM법을 이용한 본 연구대상의 공기 중 석면농도를 조사한 결과는 Figure 4, Table 3과 같다.

PCM 분석결과, 전체 15개 시료 중 3개 시료에서 (20%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 모든 대상시설에서의 공기 중 석면(섬유상 물질) 농도는 실내공기질 관리기준인 0.01 f/cc 미만으로 나타났다.

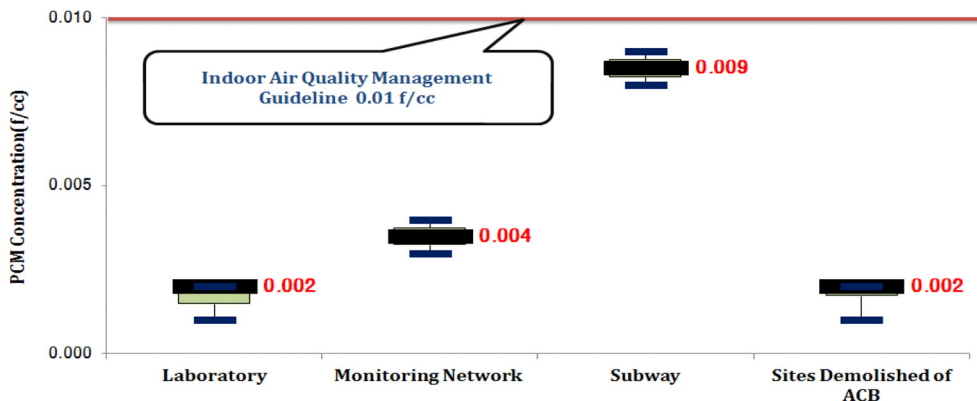


Figure 4. The airborne asbestos concentrations for objects of study with PCM analysis

Table 3. Summary of the airborne asbestos concentrations with PCM* analysis

No	Classification	Max(f/cc)	Min(f/cc)	Mean±SD(f/cc)	Note
1	Laboratory	0.002	0.001	0.002±0.000	
2	Monitoring network	0.004	0.003	0.004±0.001	Indoor Air Quality Management Guideline 0.01 f/cc
3	Subway	0.009	0.008	0.009±0.001	
4	Sites demolished of asbestos containing buildings	0.002	0.001	0.002±0.000	

* The concentration(f/cc) is determined by counting only fibers with length > 5 μm and length:width ≥ 3:1

하지만 Figure 4에서 나타난 것처럼, 지하철역사의 경우, 지하 및 상대적으로 밀폐되어 있는 공간 등 협소한 공간적인 제약으로 인해 공기 중 석면노출에 대한 우려가 있을 수 있기 때문에 향후에도 지속적인 석면모니터링 및 비산방지조치가 필요할 것으로 생각된다.

1. 환산계수 산정 및 적용

환산계수를 산정하기 위하여 연구동 옥상을 대상으로 KF-100 성능시험을 실시하였다. 산정 결과, Table 4와 같이 환산계수는 0.1958로 나타났으며, 이 값을 KF-100에 적용시킨 후, 연구원 내 실험실에서 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석하였다(Figure 5, Table 5).

각각의 환산계수를 살펴보면, 비교적 편차가 크게 나타났는데 이는 KF-100과는 달리 백업필터를 PCM법으로 분석함에 따라 발생한 측정의 편차 때문이다(Table 4). 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 보다 많은 샘플링과 분석이 필요하며, 이를 통해 좀 더 정확하고 대표적인 환산계수를 도출할 수 있을 것이다.

연구원 내 실험실 3개소, 총 7개 시료에 대해 PCM법과 KF-100으로 공기 중 석면농도를 측정된 결과, 두 가지

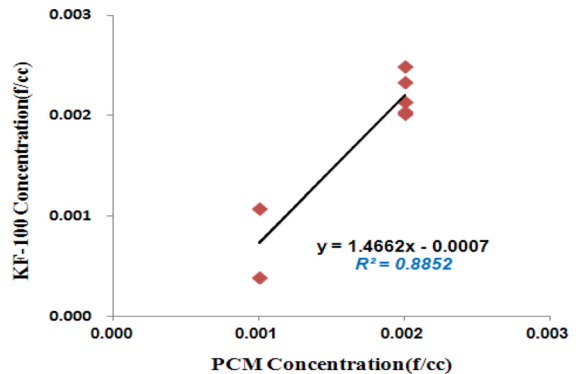


Figure 5. Correlation of PCM with KF-100

방법 모두 2개 시료에서(29%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 평균농도 또한 0.002±0.000 f/cc(최대 0.002 f/cc), 0.002±0.001 f/cc로(최대 0.002 f/cc) 나타나는 등 두 가지 방법으로 측정된 결과가 어느 정도 유사함을 확인할 수 있었다(Table 5).

또한 Figure 5에서 보듯이, PCM법과 KF-100의 석면농도 값들은 약 1:1.5* 관계(기울기=1.4662, R2=0.8852)인 것으로 나타났다. 이처럼 KF-100이 PCM법과의 직선성(연계 가능성)이 양호하게 나타나는 이유는 적정한 환산계수 산정과 함께 KF-100의 시료채취특성 때문이라고

Table 4. Drawing average conversion factor

No	Sampling point	Temp(℃)	Humidity(%)	KF-100(f/cc)	PCM(f/cc) (Back up filter)	Conversion factor	Average conversion factor
1	Rooftop 1	20.7	57.2	0.015	0.001	0.0662	F = 0.1958
2	Rooftop 2	22.8	68.7	0.014	0.003	0.2143	
3	Rooftop 3	22.4	74.3	0.016	0.005	0.3067	

* It seems there is a significant difference in measured values of two ways. But actually measured values of two ways are considerably low and difference values between two ways are less than the detection limit(7 fiber/mm²). So it is difficult to see the significant differences.

Table 5. Comparison of the airborne asbestos concentrations between PCM and KF-100

No	Sampling point	Temp(°C)	Humidity(%)	PCM(f/cc)	KF-100(f/cc)	Note	
1	Laboratory A-1	26.1	85.2	0.001	0.001		
2	Laboratory A-2	24.2	56.9	0.002	0.002		
3	Laboratory A-3	23.6	79.2	0.002	0.002		
4	Laboratory B-1	23.7	70.3	0.002	0.002	F = 0.1958	
5	Laboratory C-1	27.6	71.5	0.001	0.000		
6	Laboratory C-2	23.4	64.5	0.002	0.002		
7	Laboratory C-3	22.1	76.6	0.002	0.002		
Total				0.002±0.000	0.002±0.001		

생각된다. 즉, 앞서 언급했듯이, 시료 공기가 장비의 채기구로 유입되면 산란광 광도가 펄스상으로 변화되는데(산란광의 펄스는 섬유상 입자의 섬유가 길고 굵을수록 피크가 높고, 펄스면적은 섬유의 길이가 길수록 큼 (Sibata, 2009), 산란광 펄스의 피크와 면적비에 의해 유입되는 시료 공기 중 섬유상 입자의 장방형비(길이/폭)와 길이가 결정되고, 이를 통해 위상차현미경으로 계수되는 특성을 갖는 섬유상 입자를 선별해서 농도를 측정하게 되는 것이다. 따라서 KF-100은 사전에 설정한(위상차현미경으로 계수되는) 길이, 폭을 갖는 섬유상 입자만을 선별하고 측정하기 때문에 비섬유상 입자가 부유하더라도 측정결과에 미치는 영향이 적게 나타난다.

2. 실제 현장에서의 KF-100 적용성 검토

1) PCM 및 KF-100 석면농도 비교

환산계수 0.1958을 KF-100에 적용시킨 후, 서울시 대기측정소, 지하철역사 및 석면해체·제거 사업장에 대해서 PCM법과 KF-100 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석하였다(Figure 6, Table 6).

서울시 대기측정소 2개소, 지하철역사 2개소 및 석면해체·제거 사업장 4개소, 총 8개 시료에 대해 공기 중 석면농도를 측정할 결과, PCM법으로 측정할 경우, 1개 시료에서(13%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.004±0.003 f/cc로(최대 0.009 f/cc) 나타났다. 반면 KF-100으로 측정할 경우, 검출한계 이하로 나타난 시료는 없었으며, 평균

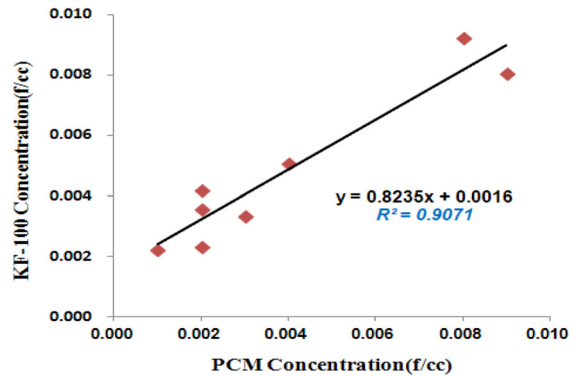


Figure 6. Correlation of PCM with KF-100

Table 6. Comparison of the airborne asbestos concentrations between PCM and KF-100

No	Sampling point	Temp(°C)	Humidity(%)	PCM(f/cc)	KF-100(f/cc)	Note	
1	Eunpyeong-gu	30.9	47.8	0.003	0.003		
2	Gangnam-gu	29.6	55.1	0.004	0.005		
3	Yeongdeungpo-gu office	18.8	31.5	0.009	0.008		
4	City hall	19.3	30.7	0.008	0.009	F = 0.1958	
5	Seongbuk-gu, bomun-dong	12.9	33.8	0.001	0.002		
6	Jongno-gu, dongsoong-dong	11.0	34.5	0.002	0.004		
7	Geumcheon-gu, doksan-dong	6.9	44.1	0.002	0.002		
8	Dongdaemun-gu, hwigyeong-dong	2.8	38.6	0.002	0.004		
Total				0.004±0.003	0.005±0.003		

농도는 0.005 ± 0.003 f/cc(최대 0.009 f/cc)로 PCM법으로 측정된 결과와 유사하게 나타났다(Table 6).

Figure 6을 살펴보면, PCM법과 KF-100의 석면농도 값들은 전반적으로 1:1 관계(기울기=0.8235, $R^2=0.9071$)인 것으로 나타나는 등 두 가지 방법으로 측정된 석면농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 이를 통해 향후 두 측정방법간의 상호보완적인 석면농도 측정결과 데이터를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

2) 연구결과

Table 8을 살펴보면, F 검정통계량의 유의확률 p값이 0.694로 유의수준 0.05보다 크므로 PCM법과 KF-100으로 측정된 석면농도 값들의 분산이 같다고 가정할 수 있으며, 이 때 t값이 -0.533이고, 유의확률 p값이 0.602로서 유의수준 0.05보다 크므로 두 가지 방법으로 측정된 석면농도 값들 간의 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

따라서 석면해체·제거 사업장을 포함한 실제 현장에서 KF-100은 부가적인 방법(연계 가능)으로서 PCM법과 함께 어느 정도 공기 중 섬유상 입자의 농

도를 확인하는데 있어서 충분히 사용 가능하다고 생각된다.

하지만 본 연구에서 석면해체·제거 사업장의 경우, 서울시 대기측정소와 지하철역사보다는 두 측정방법간의 오차가 좀 더 높게 발생한 것으로 나타났다. 이는 환산계수를 산정함에 있어 석면해체·제거 사업장과 같은 다종의 입자상 물질이부유하는 환경을 적절하게 고려하지 않았기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 또한 석면해체·제거 사업장의 경우, 다른 실제 현장 및 실내공기질 관리기준 0.01 f/cc 보다 석면농도가 낮게 나타났는데, 이러한 조건에서 PCM법과 KF-100의 차이를 비교한 한계점도 있다.

따라서 향후에는 측정환경(실내, 실외, 석면해체·제거 사업장 등)에 맞는 환산계수를 각각 산정하고, 이 값을 개별적으로 KF-100에 적용시킴으로써 KF-100의 신뢰성을 더욱 높이고, 또한 석면농도기준 0.01 f/cc의 영역농도에서 PCM법과 KF-100 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석하는 것이 중요하다고 판단된다. 동시에 섬유상 입자의 성질과 상태의 차이가 측정값에 영향을 주는지에 대해서도

Table 7. Group statistics

Item	Group	
	PCM	KF-100
N	8	8
Geometric mean	0.00302	0.00421
Std. deviation	0.002997	0.002615
Std. error mean	0.001060	0.000925

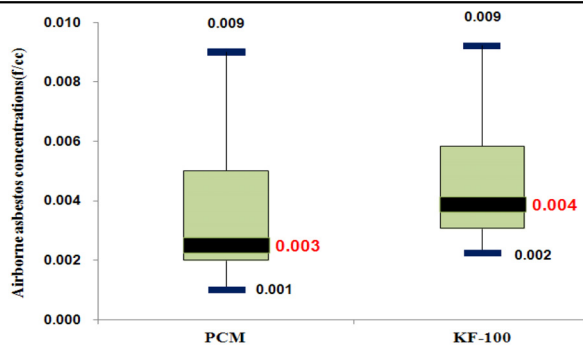


Table 8. Independent samples t-Test

		Levene's test for equality of variances		t-test for equality of means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	Std. error difference	95% Confidence interval of the difference	
									Lower	Upper
Airborne asbestos	Equal variances assumed	0.162	0.694	-0.533	14	0.602	-0.000750	0.001406	-0.003766	0.002266
	Equal variances not assumed			-0.533	13.748	0.602	-0.000750	0.001406	-0.003771	0.002271

검토가 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 석면함유 건축물 철거 등에 따른 신뢰할 수 있고 즉각적인 대처가 가능한 효율적인 측정방법을 모색하고자, 서울시 대기측정소, 지하철역사 등 생활환경 주변뿐만 아니라 궁극적으로 실제 석면해체·제거 사업장 등 석면함유 건축물 철거 현장에 대해서 기존의 공기 중 석면농도 측정을 위한 PCM법과 실시간으로 섬유상 물질을 측정하는 장비를 활용한 방법을 비교·분석하였다. 동시에 두 측정 방법간의 통계적 차이 유무를 검증하는 등 궁극적으로 실제 현장에서도 실시간 섬유상 입자 모니터링 장비를 연계하여 활용할 수 있는지를 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 실시간 섬유상 입자 모니터링 장비를 활용하기 위해 본 연구대상인 서울시 대기측정소, 지하철역사, 석면해체·제거 사업장 등에서 PCM법을 이용한 공기 중 석면농도 측정결과, 전체 15개 시료 중 3개 시료에서(20%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 모든 대상시설에서의 공기 중 석면(섬유상 물질) 농도는 실내공기질 관리기준인 0.01 f/cc 미만으로 나타났다.

2. KF-100 성능시험 결과, 환산계수는 0.1958로, 이 값을 KF-100에 적용시킨 후, 연구원 내 실험실에서 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석한 결과, PCM법과 KF-100의 석면농도 값들은 약 1:1.5 관계(기울기=1.4662, R²=0.8852)인 것으로 나타났다.

3. 환산계수 적용 후, 서울시 대기측정소 2개소, 지하철역사 2개소 및 석면해체·제거 사업장 4개소, 총 8개 시료에 대한 공기 중 석면농도 특성을 조사한 결과, PCM법으로 측정한 경우, 1개 시료에서(13%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.004±0.003 f/cc(최대 0.009 f/cc), KF-100으로 측정한 경우, 검출한계 이하로 나타난 시료는 없었으며, 평균농도는 0.005±0.003 f/cc(최대 0.009 f/cc)로 나타났다.

4. 또한 서울시 대기측정소, 지하철역사 및 석면해

체·제거 사업장에 대해서 PCM법과 KF-100 두 가지 방법으로 측정된 석면농도를 비교·분석한 결과, PCM법과 KF-100의 석면농도 값들은 전반적으로 1:1 관계(기울기=0.8235, R²=0.9071)인 것으로 나타나는 등 두 가지 방법으로 측정된 석면농도는 큰 차이를 보이지 않았다.

5. 앞의 결과에 대해서 독립표본 t-검정을 통해 두 측정방법간의 통계적 차이 유무를 검증한 결과(p=0.602), PCM법과 KF-100 두 가지 방법으로 측정된 석면농도 값들 간의 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

6. 이를 통해 기존 PCM법과 함께 KF-100과 같은 실시간으로 섬유상 물질을 측정하는 장비를 활용하여 두 측정방법간의 상호보완적인 석면농도 측정결과 데이터를 구축함으로써 향후 생활환경 주변뿐만 아니라 석면해체·제거 사업장을 포함한 실제 현장에서도 신뢰할 수 있고 즉각적인 대처가 가능한 효율적인 측정방법으로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

석면은 단열성, 내열성, 절연성, 내마모성 등의 물리·화학적 성질을 갖고 있어 오래 전부터 유용하게 사용되어 왔다. 하지만 국제암연구소(IARC)에서 1급 발암물질로 규정하고 있듯이 석면의 노출은 소량이라 할지라도 인체에 매우 위험하기 때문에 현재는 그 이용이 법적으로 금지되고 있다. 하지만 우리나라의 경우, 주로 건축자재로서 과거에 석면이 광범위하게 사용되었기 때문에 노후화, 주거환경정비 등에 따른 재개발, 재건축 사업장 등에서 석면함유 건축물 철거 시, 필연적으로 석면이 공기 중으로 방출될 것이며, 이는 작업자뿐만 아니라 작업현장 주변에도 비산되는 등 2차적인 피해를 발생시킬 수 있다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 무엇보다 신속하고 정확한 석면모니터링 자료 확보 및 데이터베이스 구축, 과학적인 분석 및 결과해석이 중요하며(Lee et al., 2013), 이를 위한 한 가지 방법으로는 본 연구의 결과로 도출된 실시간 섬유상 입자 모니터링 시스템을 기존 PCM법과 함께 활용함으로써 두 측정방법간의 상호보완적인 석면농도 측정결과 데이터를 구축하는 것이다. 이를 통해 생활환경 주변뿐만 아니라 석면함유 건축물 철거 현장에 맞는 효과적인 석면농도 측정방법을 도출할 수 있고, 궁극적

으로 석면으로 인한 시민건강 피해예방 및 불안감을 해소시킬 수 있을 것이다.

References

- Artvinii M, Bais YI. Malignant mesotheliomas in a small village in the Anatolian region of Turkey. An epidemiologic study JNCI 1979; 63:17-22
- Choi JK, Paek DM, Paik NW. The production, the use, the number of workers and exposure level of asbestos in Korea. Korean Ind Hyg Assoc J 1998;8(2):242-253
- Christopher BM, Val V, Brooke TM. Diseases caused by asbestos: mechanisms of injury and disease development. Int Immunopharmacol 2002; 2:191-200
- Kim JM, Ku JM, Kim KY, Kim DI, Kim CL et al. Asbestos survey and abatement · removal. Donghwa Technology Publishing.; 2010. p. 10-20
- Kim YC, Hong WH, Son BH. Analysis of generation pattern and generation amount of asbestos containing material, when demolition of buildings in the housing redevelopment district. Journal ACI 2013;29 (7):317-324
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). How to manage asbestos-containing building.; 2012. p. 3-4
- Lee JH, Lee SH, Kim JH, Oh SR, Shin JH et al. A study on characteristics of airborne asbestos concentrations using PCM and TEM in life environment surroundings of Seoul. J Kor Soc Environ Eng 2013;35(9):613-623
- Ministry of Environment(ME). Standard Methods for Examination of Air.; 2007.
- Ministry of Environment(ME). Indoor air quality management guideline.; 2010.
- Sibata. Fiber monitor KF-100 operation manual.; 2009.