

PCM과 TEM을 이용한 서울지역 생활환경 주변 공기 중 석면분포 특성에 관한 연구(2013)

석면조사팀

김진아 · 이진호 · 김정연 · 이수현 · 김지희 · 정숙녀 · 김익수 · 어수미

A Study on Characteristics of Airborne Asbestos Concentrations using PCM and TEM in the living Environment in Seoul(2013)

Asbestos Research Team

**Jin-a Kim, Jin-hyo Lee, Jeong-yeon Kim, Su-hyun Lee,
Ji-hui Kim, Sook-nye Chung, Ick-soo Kim and Soo-mi Eo**

Abstract

The purpose of this study was to evaluate concentrations of airborne asbestos in the living environment in Seoul. We investigated airborne asbestos concentrations in 17 asbestos abatement and removal working areas, 4 air monitoring stations, 4 roadsides by subway stations, 6 streams which were landscaped with asbestos-containing stones, 4 tunnels, 10 public facilities, and 8 subway stations. Concentrations were measured using Phase Contrast Microscopy(PCM) and Transmission Electron Microscopy(TEM). The airborne asbestos fiber and other fiber concentrations measured using PCM for 6 areas studied were less than the detection limit(7 fiber/mm²) in 165 out of 417 samples(40%). The average airborne asbestos fiber and other fiber concentrations were 0.0034 ± 0.0024 f/cc in asbestos abatement and removal working areas, 0.0041 ± 0.0020 f/cc in public facilities, 0.0043 ± 0.0019 f/cc in subway stations, 0.0038 ± 0.0011 f/cc in air monitoring stations, 0.0027 ± 0.0013 f/cc in streams, and 0.0040 ± 0.0022 f/cc in tunnels, according to the PCM data. Airborne asbestos concentration was detected in 5 samples(1.2%) at 0.0107~0.0148 f/cc. However, the additional TEM analysis results showed that the 5 samples exceeded the guideline value for indoor air quality(0.01 f/cc) proposed by the Ministry of Environment(Korea), even though no asbestos was detected. Airborne asbestos concentrations using TEM were detected in 18 out of 140 samples(12.9%) at 0.0009~0.0036 s/cc. All places studied satisfied the guidelines for value of indoor air quality.

Key words : Asbestos, Living Environment, PCM, TEM, The guideline value for indoor air quality

서 론

석면(Asbestos)은 자연에서 발생하는 섬유상 수화규산마그네슘염 광물(Fibrous Hydrated Magnesium Silicate Mineral)로, 특성에 따라 백석면(Chrysotile) 등의 사문석군과 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite), 양기석석면(Actinolite), 투각섬석면(Tromolite), 직섬석석면(Anthophyllite) 등의 각섬석군으로 구분된다(1). 또한, 석면은 불연성, 내열성, 절연성, 단열성, 내화학적, 내약품성등의 특성을 지니고 있어, 전기 절연재, 방직재, 건축자재 등 다양한 제품으로 전 세계에서 광범위하게 사용되고 있다(2). 최초로 인류가 석면을 사용한 흔적은 기원전 3,000년경으로 추정되며, 스칸디나비아 반도의 가옥과 도자기에서 발견되었다. 19세기말 산업혁명이후로 석면이 본격적으로 사용되기 시작하여, 1900년에서 2000년까지 전세계적으로 석면의 생산량은 173백만톤에 달했으나, 석면에 대한 건강유해성이 알려진 1975년 이후부터는 석면생산과 소비량이 급격히 감소하게 되어, 2000년도에는 석면 소비량이 1.48백만톤으로 감소하게 되었다(3).

국내에서는 1970년대 급격한 경제성장을 이루면서 석면사용이 급증하기 시작하였는데, 약 96%가 건축자재인 슬레이트 제조에 사용되었고, 1990년대에는 보온단열재, 건축내장재, 천장재등 건축자재 제조에 약 82%가 사용되었으며, 그 밖에 마찰재제조, 석면방직, 가스켓단열재에도 사용되었다(4).

하지만 WHO 산하 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 1급 발암물질로(Group 1) 지정하였고, 미국 EPA 통합 유해성 정보시스템(IRIS)에서는 Group A 등급의 발암물질로 분류하고 있다(3). 석면이 인체에 노출시, 10~40년의 잠복기간을 가지는 폐암(Lung Cancer), 석면폐증(Asbestosis) 및 중피종(Mesothelioma) 등의 악성질환을 유발할 수 있는 물질로 보고되었으며(4~5), WHO는 세계적으로 1억2천5백만명이 직업상 석면에 노출되어 있으며 연간 9만명이 석면으로 인한 질병으로 사망한

다고 보고하였다(5).

이러한 석면의 유해성이 보고됨에 따라, 우리나라에서도 1990년 산업안전보건법을 개정하여 사용허가 대상 유해물질에 석면을 추가한 것을 시작으로 2009년부터 모든 석면 및 석면함유제품의 제조, 수입, 사용을 금지시켰다. 또한 2012년부터는 석면안전관리법을 시행하여 석면함유제품, 자연발생석면관리, 기존건축물 석면조사 관리, 석면해체사업장 주변환경관리등 석면규제를 강화하였다.

그러나 수입 및 사용등이 금지되기 이전에 지어진 공공건물, 학교, 다중이용시설 등의 건물에는 석면이 함유된 건축자재들이 광범위하게 사용되었고, 노후된 건축물에 함유된 석면이 공기 중으로 비산되어 건물 이용자에게 건강상 위해를 미칠 가능성에 대한 우려가 높아지고 있다(6~7). 또한 석면의 긴 잠복기를 고려할 때, 직업성, 환경성 노출에 의한 건강문제는 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이러한 상황에서 석면에 관한 연구는 계속적으로 이루어져야 할 부분이다(8). 하지만 국내에 보고된 석면에 관한 연구는 석면광산, 석면취급사업장으로부터의 직업성 노출 및 석면이 사용된 건축물에 대한 석면 노출을 중심으로 한 연구가 대다수이며(9~10), 반면에 실제 우리가 직·간접적으로 접하고 있는 다양한 생활환경으로부터 일반대기 중으로 노출되는 즉, 환경성 노출에 관한 석면연구는 아직 부족한 실정이다(11). 최근에는 경제성장으로 인한 시민의 삶의 질이 높아짐에 따라 쾌적하고 좋은 환경에서 건강한 삶을 영위하고 싶은 소망이 점차 증대하고 있으며, 생활주변에 잠재해 있는 유해물질로 인한 건강피해에 대한 우려가 지속적으로 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 석면으로 인한 시민건강 피해예방 및 불안감을 해소하고, 환경 노출로 인한 지속적인 모니터링 자료를 확보하여, 석면노출을 예방할수 있는 효과적인 환경관리방안 마련하고자, 위상차현미경법(Phase Contrast Microscopy, PCM)과 투과전자현미경법(Transmission Electron Microscopy, TEM)을 이용하여, 서울지역 생활환경 주변의 공기 중 석면농도를 조사하였다.

자료 및 방법

1. 자료

1) 조사대상

본 연구에서는 건축물 석면 해체·제거 사업장, 일반대기(대기측정소 및 인근 도로변, 하천 내 석면함유 조경석 주변, 터널), 다중이용시설(공공건축물, 지하철역사)에서 공기 중 석면농도를 측정하였다. 조사대상별 측정장소는 다음과 같다. 석면 해체·제거 사업장의 경우 강북구 미아4구역 주택재개발정비사업장 등 17개 사업장내 178개 지점에서 측정하였고 대기측정소의 경우는 영등포측정소, 강남측정소, 은평측정소, 동대문측정소 등 4개소에서, 인근 도로변지역은 영등포구청역, 선릉역, 연신내역, 신설동역 등 4개역 주변에서 측정하였다. 하천 내 석면함유 조경석 주변의 석면농도는 도립천, 전농천, 홍제천, 안양천, 정릉천, 우이천

등 6개소에서 측정하였고, 터널의 경우 구룡터널, 호암2 터널, 은평터널, 오패산터널 등 4개소를 대상으로 조사하였다. 한편 공공건축물은 모두 10개소로 서울대공원, 잠실빛물펌프장, 올림픽경기장, 잠실야구장, 서울지방경찰청 제1기동대, 해화경찰서, 관악산공원 관악산휴게소, 동작경찰서를 대상으로 조사하였으며 지하철역사는 시청역, 을지로입구역, 용답역, 삼성역, 선릉역, 교대역, 신림역, 영등포구청역 등 2호선 8개역을 대상으로 공기 중 석면농도를 측정하였다.

측정지점 및 관련 세부내역은 표 1과 같다.

2) 조사기간

석면 해체·제거 사업장 조사는 2013년도에 실시된 공사기간내, 공공건축물 석면농도 조사는 상·하반기에 걸쳐 연 2회 조사하였으며, 대기측정소등 4개 조사대상은 연 4회(3월, 6월, 9월, 12월) 모니터링하였다.

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

Classification	No. Sample	Research Subject(site number)	Sample Collection Site
Asbestos abatement and removal working area	178	Gangbuk-gu Mia-dong 4 District(9)	
		Geumcheon Middle School(8)	
		Sinbanpo 1(il)-cha Apt.(23)	
		Oksu 13 District(8)	
		Jongno-gu Sungin-dong Gageongdong Arcade(8)	
		Jamwon Daelim Apt (9)	Site boundary line,
		Ahyeon 1-3 District (10)	Sanitary arrangements,
		Tonimun 1 District (11)	Workings surroundings,
		Kukje building 1 District (13)	Waste storage place,
		Gaenari 6 Cha Apt.(8)	Residence vicinity,
		Godeok Siyeong Apt.(10)	Negative pressure unit.
		Donam-dong Jeongneung District(10)	
		Malli 2 District(10)	
		Bomun 3 District(10)	
		College of Medicine Seoul National University International Sector(8)	
		Doksan-dong Air Force Site(8)	
		Korea Occupational Safety & Health Agency(7)	

Table 1. (Continued)

Classification	No. Sample	Research Subject(site number)	Sample Collection Site
Public facility	34	The Seoul Grand Park(4)	Aquarium information desk Exhibit hall Animal exhibit hall
		Seoul Gangseo Campus of Korea Polytechnic	Ground floor education building
		Seoul Dongjak Police Station	Subbasement storage
		Jamsil Flood Pumping Station	The first floor hallway
		The main Olympic Stadium	First basement level hallway
		Olympic stadium (4)	Indoor swimming pool
		Jamsil Baseball Stadium	The first floor hallway
		Gwanaksan rest area	First basement level restaurant
		Hyehewa Police Station(3) Mobile Police Regiment 1, Seoul Metropolitan Police Agency	The first[second, third] floor hall Underground parking lot
Stream	56	Anyangcheon(2)	The vicinity of Anyangcheon stone 1, 2
		Jeongneungcheon(3)	The vicinity of Jeongneungcheon stone 1, 2, 3
		Jeonnongcheon(2)	The vicinity of Jeonnongcheon stone 1, 2
		Uicheon(3)	The vicinity of Uicheon stone 1, 2, 3
		Dorimcheon(2)	The vicinity of Dorimcheon stone 1, 2
		Hongjecheon(2)	The vicinity of Hongjecheon stone 1, 2
Air monitoring station	32	Eunpyeong-gu(2)*	Eunpyeong-gu monitoring network, The vicinity roadside of Yeonsinnae 1gate exit
		Dongdaemun-gu(2)	Dongdaemun-gu monitoring network, The vicinity roadside of Sinseol-dong 8gate exit
		Yeongdeungpo-gu(2)*	Yeongdeungpo-gu monitoring network, The vicinity roadside of Yeongdeungpo-gu Office 1gate exit
		Gangnam-gu(2)	Gangnam-gu monitoring network, The vicinity roadside of Seolieung 4gate exit
Tunnel	48	Guryong(3)	Entrance, Center, Exit (Gaepo-dong → Bundang districts)
		Hoam2(3)	Entrance, Center, Exit (Shiheung-dong → Anyang districts)
		Opaesan(3)	Entrance, Center, Exit (Mia-dong → Beon-dong districts)
		Eunpyeong(3)	Entrance, Center, Exit (Susaek-dong → Sinsa-dong districts)
Subway station	69	City Hall(2)	platform(Chungjeongno districts), waiting room
		Euljiro 1(il)-ga(2)	platform(City Hall districts), waiting room
		Yongdap(1)	waiting room
		Samseong(2)	platform(Samseong districts), waiting room
		Seolieung(2)	platform(Seolieung districts), waiting room
		Seoul Nat'1 Univ.of Education(2)	platform(Seocho districts), waiting room
		Sillim(2) Yeongdeungpo-gu Office(2)	platform(Sindaebang districts), waiting room platform(Dangsan districts), waiting room

2. 분석방법

공기 중 석면농도 측정에는 위상차현미경법(Phase Contrast Microscopy, PCM)과 투과전자현미경법(Transmission Electron Microscopy, TEM)이 일반적으로 이용되며, 본 연구에서도 환경부 『실내 공기질 공정시험기준』(12), 대기오염공정시험방법 중 『환경대기 중 석면시험방법』(13), 그리고 ISO 10312(International Organization for Standardization 10312)법(14), ISO 10312 PCME(Phase Contrast Microscopy Equivalent)법(14)에 따라 PCM(NIKON, ECLIPSE 80i)과 TEM(FEI, Tecnai G2)을 이용하여 서울지역 생활환경 주변의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도를 조사하였다. 일반적으로 PCM은 입자의 형태만을 관찰하여 섬유상 입자를 계수하는 방법으로, 분석결과에 석면섬유와 비석면섬유상 입자가 모두 포함된다(15). 이에 비해 TEM은 입자의 형태, 원소조성, 결정구조를 확인하여 모든 섬유상 입자를 구분할 수 있는 가장 정확한 방법으로, PCM으로 관찰할 수 없는 지름 $0.25\ \mu\text{m}$ 이하의 가는 석면섬유도 관찰할 수 있다. 따라서 일반대기 중 석면농도에 대한 정확한 실태조사를 위해서 특히 비석면섬유상 물질이 많이 함유된 공공건축물, 지하철역사, 학교 등의 실내공기 중 석면농도를 파악하기 위해

서는 TEM을 이용한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 PCM 분석결과(검출한계 $7\ \text{fiber}/\text{mm}^3$)인 공기 중 섬유상 물질의 농도를 석면농도로 간주하였으며, 건축물 석면 해체·제거 사업장은 석면안전관리법에 따라, 공공건축물 및 지하철역사는 다중이용시설등의 실내공기질관리법에 따라 PCM 분석후 검출된 시료에 한해 TEM으로 추가분석을 하였다. 반면, 환경대기 중 석면농도 기준이 따로 정해져 있지 않은 대기측정소 및 도로변 지역, 석면함유 하천 조경석 주변, 터널에서는 PCM 과 TEM을 동시분석하여 실내공기질 관리기준과 비교하였다.

1) 시료채취

PCM 분석용 시료는 직경 25 mm, pore size $0.80\ \mu\text{m}$ MCE(mixed cellulose ester) 필터가 장착된 cassette(Z008BA, Zefon)에 시료채취펌프(SARA-4000S, KEMIK)를 이용하여 약 10 L/min의 유량으로 2시간 동안 1,210 L를 포집하였다. TEM 분석용 시료는 직경 25 mm, pore size $0.45\ \mu\text{m}$ MCE와 $5\ \mu\text{m}$ MCE 백업 필터가 장착된 cassette(Z045BA, Zefon)에 약 5 L/min의 유량으로 4시간 동안 1,210 L를 포집하였다. 그림 1과 표 2에 시료채취방법을 나타냈다.

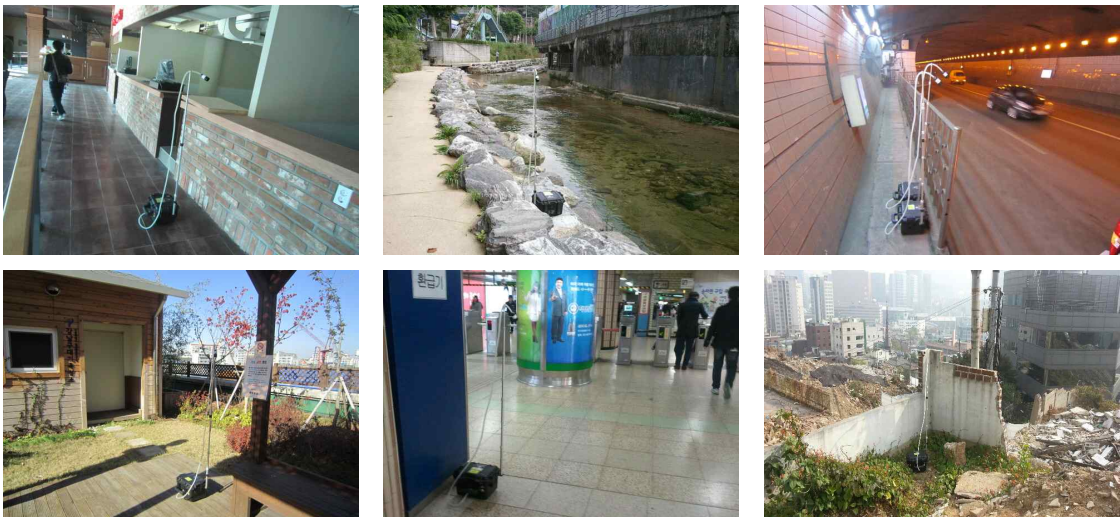


Fig. 1. Field sampling for the airborne asbestos with portable pump.

Table 2. Sampling conditions for the airborne asbestos with portable pump

Classification	Analytical Instrument	Pore Size(μm)	Sampling Time(hr)	Air Volume(L)	Flow (L/min)	Note
Asbestos abatement and removal working area	PCM	0.80	2 ~ 4	1,210~2,410	10	
Stream	TEM	0.45	4	1,210	5	Add PCM analysis using same TEM filter
Air monitoring station	TEM	0.45	4	1,210	5	Add PCM analysis using same TEM filter
Tunnel	PCM	0.80	2	610	5	
	TEM	0.45	2	1,210	5	
Public facility	PCM	0.80	2	1,210	10	
Subway station	PCM	0.80	2	1,210	10	

결과 및 고찰

1. 위상차현미경법(PCM)을 이용한 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 특성

건축물 석면 해체·제거 사업장, 일반대기(대기 측정소 및 인근 도로변, 하천 조경석주변, 터널), 다중이용시설(공공건축물, 지하철역사)등 서울지역 생활환경주변의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도를 조사한 결과는 표 3과 같다. 위상차현미경법(PCM) 분석결과, 전체 417개 시료 중 165개 시료에서(40%) 검출한계(7 fiber/mm²) 이하로 나타났으며, 일부 5개 시료를 제외한 모든 대상시설에서의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도는 실내 공기질 관리기준인 0.01 f/cc 미만으로 나타났다.

1) 건축물 석면 해체·제거 사업장

석면 해체·제거 사업장내 부지경계, 거주자주거지역, 폐기물보관지점 등에 대해 석면 및 섬유상 먼지 농도를 모니터링 하였다. PCM 분석 결과, 총 178개 시료에 대한 공기 중 석면농도는, 106개 시료에서(60%) 검출한계 이하로 나타났으며, 평균 농도는 0.0034±0.0024 f/cc로(최대 0.0126 f/cc)

나타났다. 4개 시료에서 관리기준(0.01 f/cc)을 초과한 것으로 나타났으나, 실내 공기중 석면 측정 방법 투과전자현미경(PCME 방법)을 이용하여 추가 분석한 결과, 모두 불검출로 나타났다. 따라서 모니터링 대상 사업장 모두 환경부 석면안전관리법 석면배출허용기준(0.01 f/cc 이하) 이내로 나타났다.

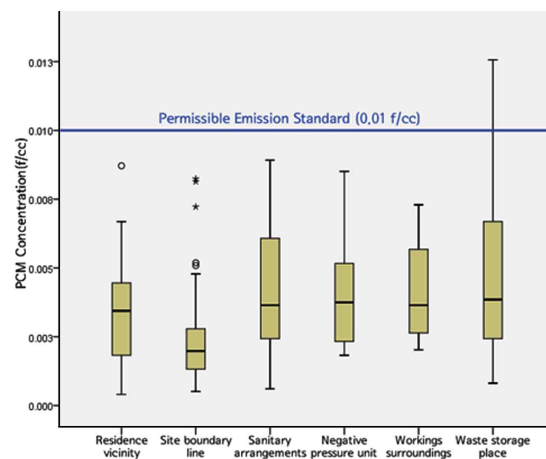


Fig. 2. The airborne asbestos fiber and other fiber concentrations in Asbestos abatement and removal working area by PCM.

Table 3. Summary of the airborne asbestos fiber and other fiber concentrations by PCM

Classification	No. Sample	PCM(f/cc)*	Detection rate %	Analytical sensitivity
Asbestos abatement and removal working area	178	0.0034 ± 0.0024 (ND~0.0126)	0.0107~0.0120 (4 samples)	2.2
Air monitoring station	32	0.0038 ± 0.0011 (0.0012~0.0148)	0.0148 (1 sample)	3.1
Stream	56	0.0027 ± 0.0013 (0.0006~0.0071)	-	-
Tunnel	48	0.0040 ± 0.0022 (0.0010~0.0092)	-	-
Public facility	34	0.0041 ± 0.0020 (0.0008~0.0083)	-	-
Subway	69	0.0043 ± 0.0019 (0.0006~0.0087)	-	-
Total	417		5	1.2

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

2) 일반대기질

대기측정소 4개소 및 각각의 인근 도로변 지역 1개소에서, 총 32개 시료에 대한 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도결과는 9개 시료에서(28%) 검출한계 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.0038±0.0011 f/cc로(최대 0.0148 f/cc) 나타났다. 0.0148 f/cc로 관리기준을 초과한 1개 시료에 대하여, TEM(ISO 10312법)을 이용한 추가 분석결과 불검출로 나타났다. 그림 3(a)에서 보듯이 인근 도로변 지역의 경우 자동차 운행에 따른 미세먼지 발생으로 인해 석면농도가 높을 것으로 예상했지만 이와 달리 대기측정소와 유사한 값을 나타내는 등 (16, 17) 서울지역 대기측정소 및 인근 도로변 지역 모두 실내공기질 관리기준 미만으로 나타났다.

서울 시내 터널 4개소, 총 48개 시료에 대한 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 결과는 13개 시료에서(27%) 검출한계 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.0040±0.0022 f/cc로(최대 0.0092 f/cc) 모든 시료에서 실내공기질 관리기준 미만으로 나타났다. 터널 내 입구, 중앙, 출구 등 3구역에 대한

공기 중 석면농도 결과를 그림 3(b)에 나타냈다.

또한 석면함유 석재를 사용한 하천의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 모니터링조사를 연 4회 실시하였다. 강북구 우이천 등 6개 하천 14개 지점에서 채취한, 총 56개 시료에 대한 공기 중 석면농도 결과는 23개 시료에서(41%) 검출한계 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.0027±0.0013 f/cc로(최대 0.0071 f/cc) 모든 시료에서 실내공기질 관리기준 미만으로 나타났다.

3) 다중이용시설

공공건축물과 지하철역사의 경우, 지하 및 상대적으로 밀폐되어 있는 공간 등 협소한 공간적인 제약으로 인해 공기 중 석면노출에 대한 우려가 있었지만 이와 달리 모두 관리기준보다 매우 낮게 나타났다. 서울시 소유 공공건축물 중 건축자재의 손상으로 인해 석면으로부터 노출위험성이 높은 것으로 조사된 10개 건축물에서 연 2회 모니터링 조사를 실시하였다. 「다중이용시설등의 실내공기질관리법」에 따라 PCM으로 분석하였다. 건축물내

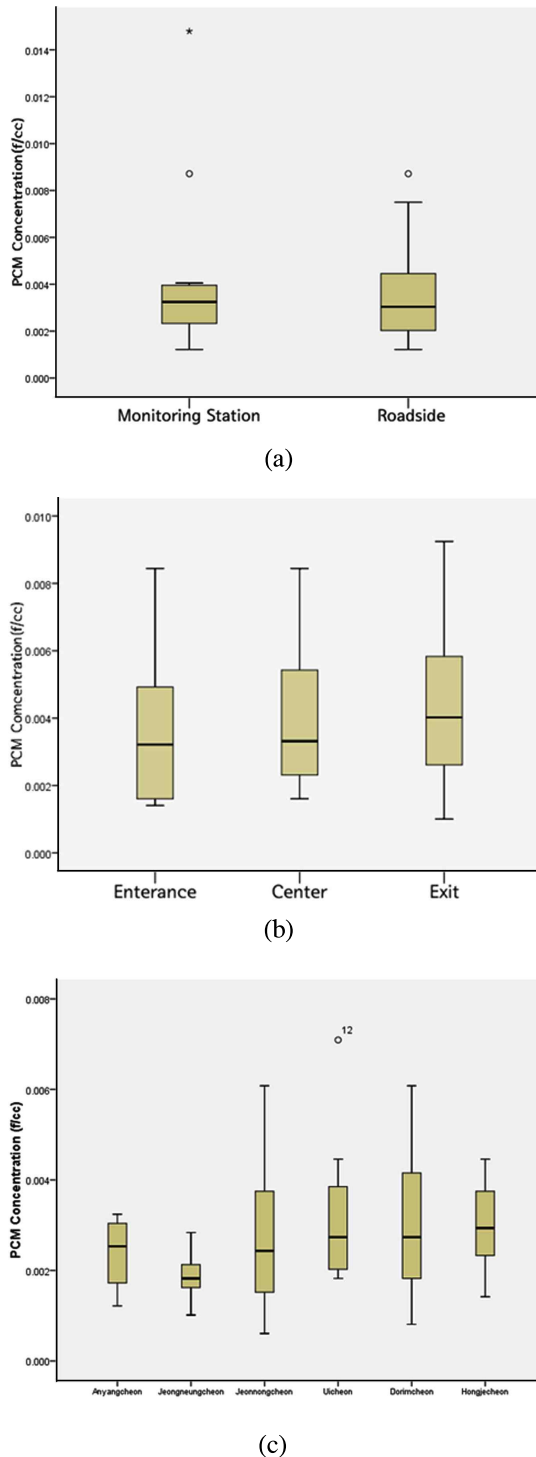


Fig. 3. The airborne asbestos fiber and other fiber concentrations by PCM. (a); Air monitoring station, b); Tunnel, c); Stream)

석면자재가 위치한 실내공간 및 인접 통행구간에서 채취한 총 34개 시료에 대한 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도결과, 6개 시료에서(18%) 검출한계 이하로 나타났으며, 평균농도는 0.0041 ± 0.0020 f/cc로(최대 0.0083 f/cc) 나타났다. 조사 대상건물 모두 실내공기질 권고기준(0.01 f/cc 이하) 이내로 나타났으나, 석면 비산 가능성이 큰 건축물이므로 손상된 부분에 대한 보수, 고형화 또는 밀봉 등의 방법으로 유지관리한다면 시민건강 피해 예방에 효율적일 것으로 판단된다.

지하철역사 내 대합실과 승강장의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도결과, 대합실의 평균농도는 0.0049 ± 0.0018 f/cc로(최대 0.0087 f/cc), 승강장 평균농도는 0.0042 ± 0.0028 f/cc로(최대 0.0077 f/cc) 모두 환경부 실내공기질 권고기준(0.01 f/cc 이하) 미만으로 나타났다.

그림 4(b)에서 보듯이, 대합실에서의 공기 중 석면 농도결과가 승강장보다 상대적으로 높게 나타났는데, 대합실의 경우 인구유동과 섬유상 물질의 비산에 따른 포집에 의해서, 반면에 승강장에서는 지하철 운행시 연결통로에서의 공기 유입과 희석에 따라 나타난 결과로 생각된다(17). 본 연구에서 조사된 지하철역사 8개소는 석면함유 내화재로 분무칠된 역사로 석면 비산오염의 우려가 있었으나, 모두 실내공기질 권고기준 이내로 나타나 건강을 위협할 수준이 아니지만 점차적으로 석면 뿜칠제거작업, 환기설비개선공사등 시설개선과 상시모니터링을 통한 오염도의 지속적인 관리가 필요할 것으로 생각된다.

2. 투과전자현미경(TEM)을 이용한 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 특성

투과전자현미경(TEM) 분석결과, 전체 141개 시료 중 20개 시료에서 석면이 검출되었으며, 그 결과는 표 4와 같다. PCM 분석시, 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 검출율은 1.2%였으나 TEM 분석결과 14.2%로 높아졌다.

석면 해체·제거 사업장에서 PCM으로 분석한 결과, 4개 시료가 관리기준(0.01 f/cc)을 초과하여, 실내 공기 중 석면 측정방법 투과전자현미경(PCME 방법)을 이용하여 추가 분석하였으나, 그

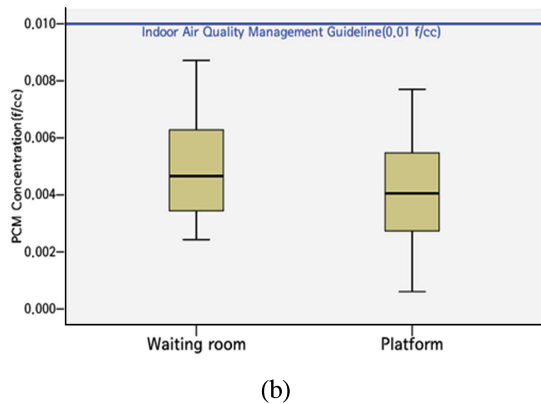
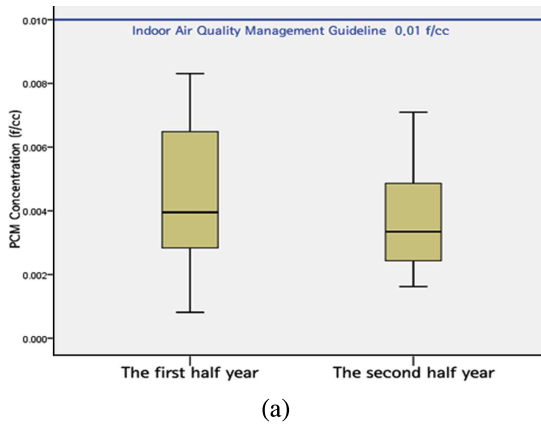


Fig. 4. The airborne asbestos fiber and other fiber concentrations by PCM.
(a); Public facility b); Subway)

결과 모두 불검출로 나타났다. 또한 대기측정소 시료 중, 0.0148 f/cc로 관리기준을 초과한 1개 시료에 대해서도, TEM(ISO 10312법)을 이용한 추가 분석결과 불검출로 나타났다. 그 결과, 대기측정소 및 인근 도로변 주변의 총 32개 시료의 석면농도 결과, 8개 시료에서 백석면(Chrysotile), 투각섬석석면(Tremolite), 직섬석석면(Anthophyllite), 갈석면(Amosite)이 0.0009~0.0027 s/cc 농도로 미량 검출되었다. 터널 4개소, 총 48개 시료에 대한 석면 농도 결과는 9개 시료에서 백석면(Chrysotile), 직섬석석면(Anthophyllite), 갈석면(Amosite), 녹섬석석면(Actinolite)등 0.0009 s/cc 농도로 미량 검출되었다.

석면함유 석재를 사용한 하천의 총 56개 시료를 TEM(ISO 10312 PCME 방법)으로 분석한 결과, 이 중 3개 시료에서 백석면과 녹섬석석면이 미량 검출되었다(0.0009~0.0036 s/cc). 이는 하천 석재 석면함유실태조사('10. 9. ~'11. 3) 중 같은 지점의 17개 석재시료를 분석한 결과 투각섬석면(16건)과 녹섬석석면(1건)이 검출된 결과와는 다른 경향을 보이고 있다. 공기 중에서 투각섬석면이 아닌 백석면이 검출된 것은 건축자재에 95%가 사용되고 있는 백석면이 주변 건축물에서 바람에 의해 비산된 것으로 보인다.

Table 4. Summary of the airborne asbestos fiber and other fiber concentrations by TEM

Classification	No. Sample	TEM(s/cc)*	Detection rate %	Analytical sensitivity
Asbestos abatement and removal working area	4	N.D	-	
Air monitoring station	33	N.D (25 samples) 0.0009~0.0027 (8 samples)	24.2	< 0.0009
Stream	56	N.D (53 samples) 0.0009~0.0036 (3 samples)	5.4	
Tunnel	48	N.D (39 samples) 0.0009 (9 samples)	18.8	
Total	141		14.2	

* The concentration(s/cc) is determined by counting asbestos structures including fibers, bundles, clusters and matrices with length>0.5 μm and length : width ≥ 3 : 1

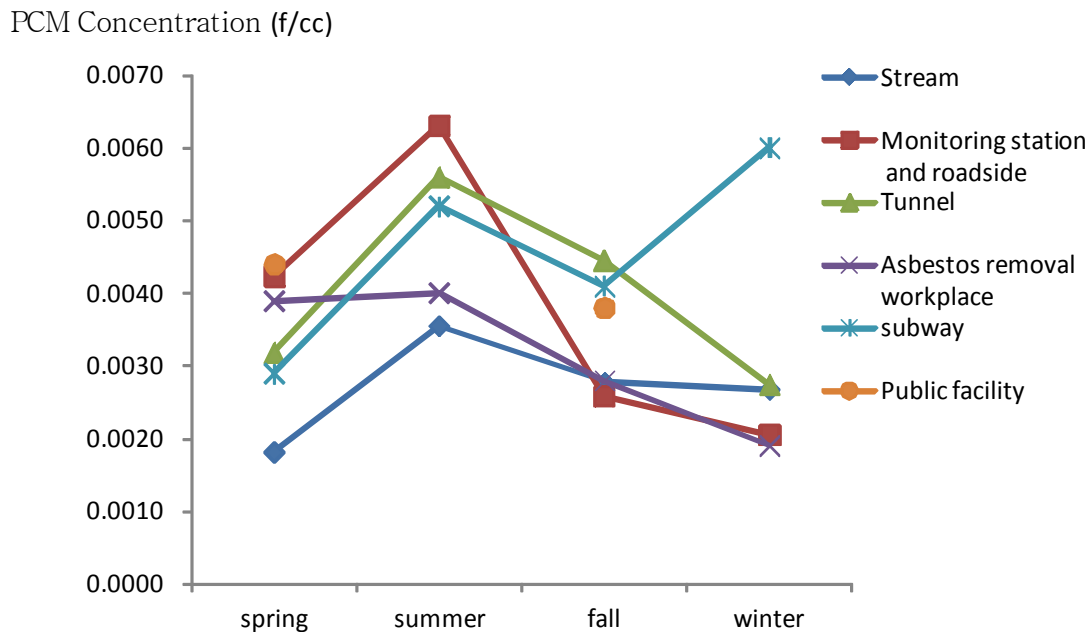


Fig. 5. Comparisons of the airborne asbestos fiber and other fiber concentrations in sampling period.

3. 계절별 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 특성

본 연구에서는 계절별 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 변화를 조사하였다. 석면 해체·제거 사업장에서의 계절별 석면 평균농도(PCM)는 여름>봄>가을>겨울, 하천의 경우, 여름>가을>겨울>봄, 대기측정소와 인근 도로변 지역의 경우는 여름>봄>가을>겨울, 터널의 경우, 여름>가을>봄>겨울, 지하철은 겨울>여름>가을>봄 순으로 나타났다. 공공건축물은 봄과 가을, 연 2회 시료를 채취하였으며 봄에 더 높은 농도를 보였다. 그림 5에 조사대상지역의 계절별 석면 농도 특성을 나타냈다. 대체적으로 조사대상 모두 여름에 석면농도가 높아지는 비슷한 경향을 보였으나, 지하철의 경우에는 여름보다 겨울에 높은 농도를 보였다. 이는 실내지역인 지하철 특성상 유동인구가 많고 겨울철에 온도를 높게 유지하고 자연환기가 어려운 점에서 석면 및 섬유상 먼지의 농도가 높게 나타난다고 판단되며, 실외지역에 속하는 나머지 조사대상 석면 농도는 온도와 습도뿐만 아니라, 풍향과 풍속이 석면비산에 영향을 미친 결과

라고 생각된다(17~19). 따라서 석면 시료 채취시 대상 지역 및 시설의 온도, 습도, 풍속, 풍향등 환경적 특성을 고려하여 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

결론

본 연구에서는 건강위해성이 큰 석면으로부터 시민이 안전하고 쾌적한 환경에서 생활하고, 취약 계층 건강보호, 석면 피해 예방등을 위해 생활주변 석면조사를 확대하여 서울지역 석면 해체·제거 사업장, 대기측정소 및 인근 도로변, 하천 조정석 주변, 터널, 공공건축물, 지하철역사등 서울지역 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 위상차현미경(PCM) 분석결과, 서울지역 생활환경주변의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도는 전체 417개 시료 중 165개 시료에서(40%)

검출한계 이하로 나타났다. PCM 으로 분석한 전체 시료 중 5개의 시료에서 관리기준을 초과하였지만 TEM을 이용한 추가분석 결과, 모두 불검출로 나타났다. 석면 해체·제거 사업장의 석면 평균농도는 0.0034 ± 0.0024 f/cc로(최대 0.0126 f/cc), 서울지역 대기측정소 및 각각의 인근 도로변 지역의 경우 0.0038 ± 0.0011 f/cc, 하천 6개소의 석재 주변은 0.0027 ± 0.0013 f/cc (최대 0.0071 f/cc), 서울 시내 터널은 0.0040 ± 0.0022 f/cc 로 나타나, 조사대상 시료 모두 실내공기질 석면 권고기준인 0.01 f/cc 이내로 조사되었다.

2. 투과전자현미경(TEM) 분석결과, 전체 141개 시료 중 20개 시료에서, 0.0009~0.0036 s/cc 농도로 백석면, 녹색석면, 투각섬석면, 직섬석면, 갈석면등이 미량검출되었다. 하지만 우리나라 실내공기 중 석면관리를 위한 법적기준치인 0.01 f/cc 미만으로 호흡을 통한 석면 노출가능성은 우려할 수준이 아닌 것으로 조사되었다.
3. 공기 중 석면 검출율은 위상차현미경(PCM) 분석시 1.2%였으나, 투과전자현미경(TEM) 분석결과 14.2%로 높아졌다. 결과에서 알수 있듯이, PCM 분석방법은 입자의 형태만을 관찰하여 섬유상 입자를 계수하는 방법으로, 분석결과에 석면섬유와 비석면섬유상 입자가 모두 포함되어 정확한 석면섬유를 분석하는데 어려움이 있다. 이에 비해 투과전자현미경(TEM) 분석방법은 입자의 형태, 원소조성, 결정구조를 확인하여 모든 섬유상 입자를 구분할 수 있고, PCM으로 관찰할 수 없는 지름 $0.25 \mu\text{m}$ 이하의 가는 석면섬유도 관찰할 수 있다. 따라서, 효율적인 석면관리를 위해서는 공기 중 PCM 분석방법뿐만 아니라 TEM 분석방법도 함께 적용하여 정확한 석면분석이 이루어져야 한다고 생각된다.
4. 계절별 석면 및 섬유상 먼지의 평균 농도 변화를 분석한 결과, 여름(0.0049 f/cc) > 봄=가을

(0.0034 f/cc) > 겨울(0.0031 f/cc) 순으로 나타났다. 따라서 석면 시료 채취시 대상 지역의 환경적 특성인 온도, 습도, 풍향, 풍속 등 기후인자 또한 고려하여 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 홍범식 : 광물학, 동명사, 서울, p.415~416, 1983.
2. 김현욱 : 대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기중 석면오염 및 관리실태, 한국산업위생학회지, 5(2):137~146, 1995.
3. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2007.
4. 환경부 : 석면관리총람, 2009.
5. WHO : Elimination of asbestos-related diseases, 2006.
6. 정숙녀, 남은정, 황순용, 오석률, 신진호, 엄석원, 채영주 : PCM과 TEM을 이용한 서울지역 일부 공공 건축물의 실내공기 중 석면농도 조사, 한국산업위생학회지, 21(3):139~145, 2011.
7. Fred, C : Monitoring the Presence of Asbestos in a Residential Apartment Building. Environmental Pollution, 71: 69~81, 1991.
8. 강동목 : 환경성 석면노출의 건강영향. 한국환경보건학회지, 35(2):71~77, 2009.
9. 윤임중, 박정일, 이원철, 임영, 김경아 : 석면취급 작업장의 환경 및 근로자에 대한 역학조사. 대한산업의학학회지, 5(1):137~151, 1993.
10. 박동욱, 최상준, 유충식 : 우리나라 석면 취급 산업장 석면농도에 대한 고찰. 한국산업위생학회지, 19(3):307~320, 2009.
11. Sebastien, P, Billon, MA, Dufour, G, Gaudichet, A, Bonnaud, G and Bignon, J : LEVELS OF ASBESTOS AIR POLLUTION IN SOME ENVIRONMENTAL SITUATIONS, Annals of the New York

- Academy of Sciences, New York, p.307~320, 1979.
12. 환경부 : 실내공기질공정시험기준, 2010.
 13. 환경부 : 대기오염공정시험방법, 2007.
 14. ISO 10312 first edition : Ambient air-Determination of asbestos fibres-Direct-transfer transmission electron microscopy method, 1995.
 15. NIOSH 7400 fourth edition : Asbestos and other fibers by PCM, 1994.
 16. 박희은, 박정호, 김형갑 : 경남지역의 실내외 공기 중 총섬유 입자의 농도특성 및 석면 입자의 확인, 한국산업위생학회지, 22(2):119~127, 2012.
 17. 이진호, 이수현, 김지희, 오석률, 신진호: 서울지역 생활환경주변의 공기 중 석면분포 특성에 관한 연구. 대한환경공학회지, 35(9):613~623, 2013.
 18. 신진호 : 폐석면광산지역의 위해도 평가와 관리방안에 관한 연구, p.80~100, 2012.
 19. 최진범, 손일, 노진환 : GIS기법을 이용한 폐석면 광산의 위해성 평가. 한국광물학회지, 24(1):43~53, 2011.