

서울시 지하철 역사 내부 설비 공사에 따른 석면의 실내공기질 관리 실태

유찬영[‡] · 노재훈¹⁾ · 정호근 · 김치년¹⁾

한국산업안전공단, 연세대학교 의과대학 산업보건연구소¹⁾

Indoor air quality and control of asbestos during the renovation work of subway stations in Seoul

Chan-Young Yoo[‡] · Jae-Hoon Roh¹⁾ · Ho-Keun Chung · Chi-Nyon Kim¹⁾

Korea Occupational Safety & Health Agency, Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University¹⁾

This study performed to identify sources of the air-borne asbestos during the renovation work of ventilation system, fire extinguisher and electric facility being currently executed at ten subway stations in Seoul. Indoor air quality of asbestos was also evaluated by working type, working time and sampling methods.

First, the results of an analysis of bulk samples to identify sources of air-borne asbestos at the subway stations showed that asbestos was detected in 29 out of 44 samples (65.9%), the kinds of the asbestos detected pointed chrysotile by 93.1% and tremolite by 6.9%, and main sources of the air-borne asbestos were the gaskets at duct seams, accumulated dust, materials sprayed on the ceiling, anti-spark shielding materials, etc.

Second, as for the concentrations of asbestos in the air, the geometric mean pointed out 0.0038f/cc (range 0~0.0520f/cc), the geometric standard deviation 2.0882. The geometric mean at the station of the highest concentration indicated 0.0128f/cc, 4.6 times as high as that of the lowest concentration, 0.0028f/cc. But there was no station that exceeded the permissible exposure limit, 2f/cc, as stipulated by the Occupational Safety and Health Act announced by the Korea Ministry of Labor.

Regarding the asbestos generated in the air, the geometric mean in dismantlement work was 0.0056f/cc, 1.8 times as

high as that of installation work, 0.0031f/cc. For the concentrations of asbestos by working time, the geometric mean in daytime installation work pointed out 0.0032f/cc, that of nighttime was 0.0029f/cc, while that in daytime dismantlement work was 0.0092f/cc and that of nighttime was 0.0040f/cc, which reveals that the concentrations of air-borne asbestos in daytime was higher than that in night-time in general. The concentrations by sampling methods represented a geometric mean of 0.0065f/cc in personal air samples, while 0.0035f/cc in area samples. Here the geometric mean in the former was higher than that in the latter.

Third, a comparison between the concentrations of asbestos generated from interior renovation works and 0.01f/cc, the air quality standard of asbestos by Underground Living Space Air Quality Act announced by Korea Ministry of Environment revealed that 4.3% of the air samples exceeded the standard. the highest concentrations was 0.0178f/cc, 1.78 times as high as that of the standard. It follows from this that renovation works are the main causes that contaminate underground living space.

Key Words: Asbestos, Subway stations, Transmission Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray System(TEM-EDX)

접수일 : , 채택일 :

‡ 교신저자 : 유찬영(인천광역시 부평구 구산동 34-4 한국산업안전공단 산업보건지원국

Tel : 032-5100-642, Fax : 032-518-6486, E-mail : yoo6391@kosha.net)

I. 서 론

석면(asbestos)은 자연계에서 산출되는 섬유상 광물의 총칭으로 인장내력과 유연성이 뛰어나고, 불연성과 내마모성, 절연성 등의 여러 가지 특성 때문에 일상생활에서 매우 유용한 물질로 사용되고 있다. 그러나 사람에게 암을 유발하는 물질(A1)로 확인되어 산업안전보건법에서는 제조 등의 금지 및 허가대상 유해물질로 규정하여 관리하고 있다(법률 제 6590호, 2001). 석면에 장기간 노출되면 대략 15~30년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성 중피종을 유발하며, 장관계의 암과 인후두암, 유방암, 난소암, 신장암, 췌장암, 부고환암, 임파선암, 원형무기폐, 흉수나 흉막염을 유발한다(Becklake, 1976; Browne, 1991). 석면폐의 경우 질병의 발생과 석면사이에는 양·반응관계가 있으며(Becklake 등, 1980), 악성 중피종과 폐암의 경우는 화학적 성질과 함께 섬유의 굵기, 길이, 모양 등의 물리적 성질이 질병의 발생과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Lippmann, 1988).

석면의 종류는 백석면(chrysotile), 갈석면(amosite), 청석면(crocidolite), 투각섬석(tremolite), 양기석(actinolite), 직섬석(anthophyllite) 등이 있으며, 우리나라에서는 작업장내 노출기준을 석면의 종류에 따라 0.2~2f/cc (개/cm)로 정하여 근로자의 건강을 보호하고 있다. 그러나 유해성의 심각정도를 감안하여 2003년부터는 종류에 관계없이 모든 석면에 대한 노출기준을 0.1f/cc로 강화시킬 예정으로 있다(노동부고시 제2002-2호, 2002). 환경부에서는 지하생활공간 공기질관리법에 석면을 공기오염물질 항목으로 규정하여 관리하고 있으나 공기질기준은 설정되어 있지 않은 상태이다(법률 제 5224호, 1996). 미국은 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 및 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 석면의 종류에 관계없이 작업장내의 기준을 0.1f/cc로 규정하고 있으나, 일반 환경기준의 경우는 환경

보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서도 석면에 대한 노출의 안전수준은 없는 것으로 결론을 내려 기준을 제시하고 있지 않고 일부 주에서만 실내공기청정법(Clean Indoor Air Standard)에서 0.01f/cc로 제시하고 있다.

우리나라의 석면 사용실태를 살펴보면 1970년대는 약 96%가 건축자재인 슬레이트 원료로 사용되었으나 1990년대에는 슬레이트와 보온 단열재 등으로 약 82.3%, 석면 마찰제인 브레이크 라이닝과 패드 등에 약 10.5%, 석면 방직제품인 석면포 등에 약 5.5%, 그리고 기타 가스켓과 단열제품에 1.7%가 사용되었다(최정근 등, 1998). 또한 석면 수입량은 1992년에는 9만여톤, 1999년에는 3만여톤으로 수입량이 감소하는 추세이다(관세청, 2000). 최근에는 건축물의 노후화 및 구조물의 활용성 저하 그리고 경제적 가치상실로 인하여 해체작업이 증가하고 있으며, 석면이 함유된 건축자재 또는 석면제품을 해체하는 과정에서 주민들과 건축물 해체작업 근로자들이 석면 분진에 노출될 수 있다. 또한 석면과 관련된 직업성 질병이 꾸준히 발생되고 있고, 서울시 지하철공사의 설비 부서 근로자가 석면에 의한 폐암으로 진단됨에 따라 지하역사 내부 설비 관련 근로자의 건강보호가 요구되고 있는 실정이다(한국산업안전공단, 1997 노동부, 2001).

서울시 지하철은 8개 호선이 있고 1기와 2기 지하철로 각각 구분하여 4개 호선씩 운영하고 있다. 1기 지하철은 건립기간이 호선에 따라 다소 차이는 있으나 17~28년 이상 경과되었고 2기는 최근에 건립되어 5~7년 되었다(김윤신, 1999). 따라서 1기 지하철은 건립기간이 오래됨에 따라 열축적으로 역사내 온도가 상승되고 설비 또한 노후화 되어 환기설비, 소방설비, 전기설비 등 내부 설비의 개·보수 공사가 완료되었거나 현재 진행되고 있어 석면을 비롯한 미세분진이 발생되고 있다. 서울시와 지하철공사에서는 지하역사에 대하여 석면을 비롯한 미세분진, 유해가스, 라돈, 소음 등을 지하생활공간 공기질관리 측면에서 조사를 하였다(김갑수

와 김운수, 1998). 조사결과 석면이 일부 검출된 것으로 나타나 이에 대한 대책 및 관리가 이루어지고 있다. 그러나 환기설비 개·보수작업 등 내부공사를 직접 수행하는 근로자 건강보호 측면의 석면노출에 대한 조사가 없어 정확한 실태파악이 안된 상태로 이에 대한 조사가 필요한 실정이다(한국산업안전공단, 2001).

따라서 본 연구는 서울시 지하철역사 내부 설비인 천장재 및 환기설비 해체 등의 개·보수공사시 석면의 발생원 및 노출실태를 파악하여 향후 진행되는 해당공사 근로자의 건강보호를 위한 적절한 작업환경관리 및 석면노출 방지대책 수립 등에 기여하고, 동시에 지하생활공간의 공기질 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

첫째, 서울시 지하철의 지하역사내 석면 발생원을 파악한다.

둘째, 공사가 진행되고 있는 지하역사내의 작업 내용별, 시간대별, 채취 방법별 근로자의 석면 노출실태를 파악한다.

셋째, 공사중의 석면농도를 지하생활공간 공기질 관리측면의 권고기준과 비교한다.

II. 조사 대상 및 방법

1. 조사 대상

본 조사대상은 현재 내부 설비 공사가 이루어지고 있는 10개의 지하철역을 대상으로 2001년 5월 21일부터 6월 4일까지 1차조사를 실시하였고, 2002년 1월 10일부터 1월 29일까지 2차조사를 실시하였다. 1차조사는 설치·조립공사를 주작업으로 하는 6개 역사에 대하여 실시하였고, 2차조사는 공사초기의 천장재 및 내부 설비 철거를 주작업으로 하는 4개 역사에 대하여 실시하였다(표 1).

내부 설비 공사는 반복적으로 이루어지는 작업이 아니고 공사계획에 의하여 철거 및 설치작업이 단계별로 진행된다. 따라서 지하 역사내 석면발생은 공사 진행

Table 1. 지하철 호선별 조사 대상역사 및 근로자 현황

호 선	건설기간	조사 대상역사 (근로자 수)		
		1차조사	2차조사	계
가	1978 - 1984	2 (161)	2 (155)	4 (316)
나	1980 - 1985	2 (84)	-	2 (84)
다	1980 - 1985	2 (123)	2 (203)	4 (326)
계	-	6 (368)	4 (358)	10 (726)

정도에 따라 상당히 변동이 심할 수 있기 때문에 공사가 80%정도 진행된 설치작업과 공사초기의 철거작업을 조사대상으로 하였다. 또한 주·야간에 작업구역이 구분되는 것을 감안하여 10개 역사를 대상으로 주·야간 조사를 동시에 실시하였고, 작업종류에 따른 시료채취 현황은 표 2와 같다.

2. 조사 방법

가. 시료채취

1) 고형시료 채취

지하역사내 석면 발생원을 파악하기 위하여 공사가 진행되는 역사별로 석면이 함유되어 있을 것으로 추정되는 지역에 대하여 대표성을 나타낼 수 있도록 여러 장소의 시료를 채취하였다. 채취한 고형시료는 가스켓, 퇴적분진, 천장재, 도포물질, 불티 방지포, 부직포, 보온재 등이었

으며 타 물질에 오염되지 않도록 비닐용기에 넣어 분석장소로 운반하였다.

2) 공기중 시료 채취

작업근로자의 노출실태를 파악하기 위한 공기중 시료채취는 미국 산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety Health, NIOSH)에서 추천하는 NIOSH 7402 방법(NIOSH, 1994)에 의하여 실제 작업이 이루어지는 시간동안 주·야간으로 구분하여 채취하였다.

길이와 직경의 비(aspect ratio) 측정(measuring), 결정구조(structure), 조성(composition)을 고배율($\times 5,000 \sim 10,000$)로 확대하여 분석하였다. EDX는 시료상에 전자빔을 조사했을 때 방출하는 X-선을 피크 형태로 나타내어 주는 장비인데 원소마다 고유의 스펙트럼을 가지고 있기 때문에 정성분석과 정량분석을 동시에 할 수 있다(유일재, 1998).

나. 시료 분석

채취한 고형시료와 공기중 포집시료는 한국산업안전공단 산하 산업화학물질연구센터에서 분석하였다. 분석방법은 NIOSH 7402 방법(NIOSH, 1994)인 에너지 분산 X-선 분석장치가 장착된 투과전자현미경(Transmission Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray System, TEM-EDX)을 이용하여 섬유형태(morphology),

III. 연구결과

1. 지하역사 내부공사 특성

조사대상 역사는 건설기간이 오래되어 내부 설비에 대하여 개·보수 공사를 진행하고 있는 역사로써 공사기간은 역사당 대략 7~8개월 정도 소요된다. 공사초기는 주로 천장패널 철거, 환기설비 본체 철거 등의 작업이며 동 작업이 완료되면

Table 2. 작업종류에 따른 시료채취 현황

단위 : 개

작업종류	조사역사	고형시료	공기중 시료		계
			주간	야간	
설치작업	가-1	4	-	7	11
	가-2	2	8	8	18
	나-1	6	7	-	13
	나-2	2	8	8	18
	다-1	1	8	7	16
	다-2	1	8	4	13
	소계	16	39	34	89
철거작업	가-3	9	4	6	19
	가-4	8	5	7	20
	다-3	6	5	7	18
	다-4	5	4	4	13
	소계	28	18	24	70
총계	10	44	57	58	159

냉동기, 송풍기 등의 기계설비와 덕트, 소방, 전기설비의 설치작업이 수행된다. 작업은 주·야간으로 구분되는데 주간작업은 승객이 통행하지 않는 구역인 환기실, 전기실 등에서 08:00~16:00까지 이루어지고, 야간작업은 지하철 운행이 정지된 시간에 승강장, 대합실, 연결통로 등에서 00:00~05:00까지 이루어진다. 따라서 공사가 이루어지는 작업현장은 작업 근로자는 물론 지하철을 이용하는 일반 시민들에게도 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

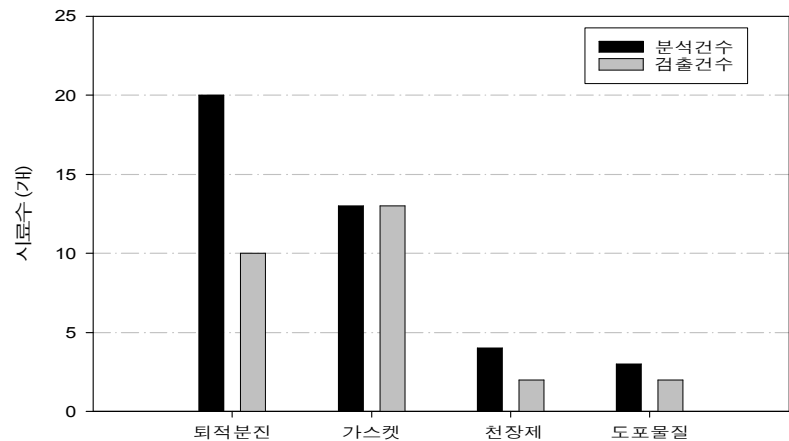


Fig. 1. 고형시료별 석면 검출결과

2. 고형시료 분석결과

지하역사 내부 공사시 석면 발생원을 파악하기 위하여 석면이 함유되어 있을 것으로 추정되는 고형시료를 채취하여 분석한 결과는 표 3 및 그림 1과 같다. 분석결과 고형시료 44개중 29개에서 석면이 검

출되었으며(65.9%) 이 중 27개는 백석면 이었고, 2개는 투각섬석 이었다. 고형시료의 종류는 가스켓과 퇴적분진, 불티 방지포, 도포물질, 천장재, 보호구 필터, 부직포, 보온재 등이었다. 가스켓은 덕트 이음

부의 플랜지에 팩킹용으로 사용되었는데 13개의 시료에서 모두 백석면이 검출되었고, 퇴적분진은 20개 시료중 10개의 시료에서 백석면이 검출되었다. 천장재는 4개의 시료중 2개의 시료에서 백석면이 검출

Table 3. 고형시료 분석결과

조사역사	시료명	고형시료 분석결과			
		시료수	검출시료수	백분율(%)	석면종류
가-1	가스켓	1	1	100	백석면
	퇴적분진	3	2	66.6	백석면
가-2	천장 도포물질	2	2	100	투각섬석
나-1	가스켓	2	2	100	백석면
	퇴적분진	3	-*	-	-
	불티 방지포	1	1	100	백석면
나-2	천장재	2	1	50	백석면
다-1	벽체 도포물질	1	-	-	-
다-2	천장재	1	1	100	백석면
가-3	가스켓	2	2	100	백석면
	퇴적분진	6	3	50	백석면
	천장재	1	-	-	-
가-4	가스켓	2	2	100	백석면
	퇴적분진	4	2	50	백석면
	보호구 필터	1	1	100	백석면
	부직포	1	-	-	-
다-3	가스켓	4	4	100	백석면
	퇴적분진	2	1	50	백석면
다-4	가스켓	2	2	100	백석면
	퇴적분진	2	2	100	백석면
	보온재	1	-	-	-
계		44	29	65.9	

*, 불검출

되었고, 천장 도포물질에서는 모두 투각섬석이 검출되었다(그림 2). 불티 방지포와 근로자의 개인보호구 필터에서도 백석면이 검출되었으나 벽체 도포물질 및 부직포, 보온재 등에서는 석면이 검출되지 않았다.

3. 공기중 시료 분석결과

가. 역사별 공기중 석면농도 및 종류

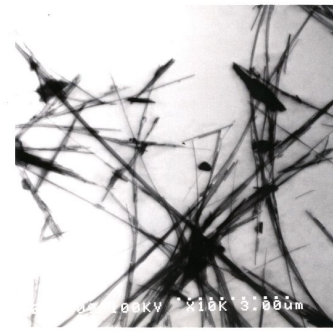
10개의 역사를 대상으로 총 115개의 공기중 시료를 채취하였으며 역사별 석면농도의 기하평균과 범위, 기하표준편차는 표 4와 같았고 석면 검출한계값(Limit of Detection, LOD)은 0.0028f/cc이었다. 전체 조사역사의 공기중 석면농도는 기하평균이 0.0038f/cc, 범위는 0 ~ 0.0520f/cc, 기하표준편차는 2.0882이었고, 나-1과 가-3역사에서는 석면이 검출되지 않았다. 공기중 석면의 농도가 가장 높은 역사는 다-4역사로써 기하평균농도는 0.0128f/cc이었고 최고 노출농도는 0.0520f/cc이었으나 산업안전보건법에서 규정하고 있는 노출기준을 초과하지는 않았다. 검출된 석면의 종류는 고형시료 분석결과와 동일하게 대부분이 백석면이었다.

나. 작업내용별 석면농도

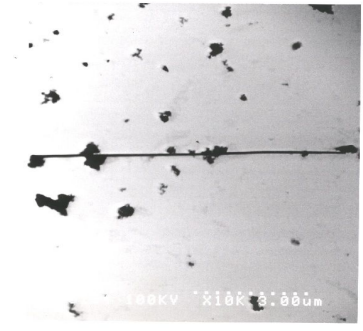
지하역사 내부 설비 공사는 공사계획에

의하여 단계별로 진행되므로 작업 내용에 따라 설치작업과 철거작업으로 구분하여 조사하였으며 작업내용별 석면의 농도는

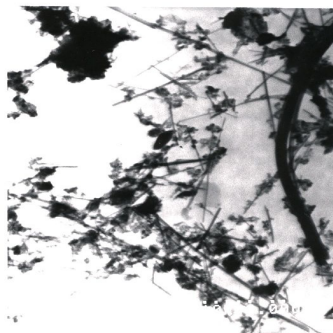
표 5와 같다. 설치작업의 기하평균농도는 0.0031f/cc, 범위는 0 ~ 0.0203f/cc이었으며, 철거작업의 기하평균농도는 0.0056f/cc,



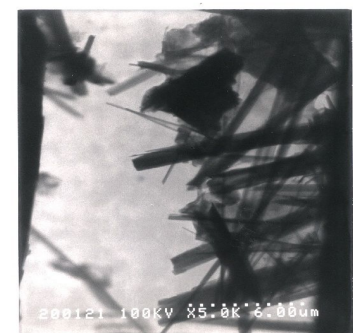
a. 가스켓에서 검출된 백석면 (TEM-EDX, ×10,000)



b. 퇴적분진에서 검출된 백석면 (TEM-EDX, ×10,000)



c. 천장재에서 검출된 백석면 (TEM-EDX, ×5,000)



d. 천장 도포물질에서 검출된투각섬석 (TEM-EDX, ×5,000)

Fig. 2. 고형시료에서 검출된 석면의 전자현미경 사진

Table 4. 역사별 공기중 석면농도 및 종류

조사역사	시료수	공기중 석면농도 (f/cc)			
		GM*	GSD**	범위	석면종류
가-1	7	0.0029	1.0392	0 ~ 0.0031	백석면 투각섬석양기석
가-2	16	0.0032	1.5466	0 ~ 0.0160	
나-1	7	-***			백석면
나-2	16	0.0031	1.4388	0 ~ 0.0120	
다-1	15	0.0028	1.0179	0 ~ 0.0030	백석면
다-2	12	0.0036	1.8131	0 ~ 0.0203	백석면
가-3	10	-			백석면
가-4	12	0.0066	2.7611	0 ~ 0.0440	
다-3	12	0.0052	2.3877	0 ~ 0.0300	백석면
다-4	8	0.0128	3.7071	0 ~ 0.0520	백석면
계	115	0.0038	2.0882	0 ~ 0.0520	

*, geometric mean; **, geometric standard deviation; ***, 불검출

Table 5. 작업내용별 석면농도

작업내용	조사역사	시료수	공기중 석면농도 (f/cc)			p-value (t-검정)
			GM*	GSD**	범위	
설치작업	6	73	0.0031	1.4313	0 ~ 0.0203	<0.01
철거작업	4	42	0.0056	2.7631	0 ~ 0.0520	
계	10	115	0.0038	2.0882	0 ~ 0.0520	

Table 6. 작업 시간대별 석면농도

작업내용	작업시간	조사역사	시료수	공기중 석면농도 (f/cc)		
				GM*	GSD**	범위
설치작업	주간	5	39	0.0032	1.5993	0 ~ 0.0203
	야간	5	34	0.0029	1.1595	0 ~ 0.0063
철거작업	주간	4	18	0.0092	3.2007	0 ~ 0.0520
	야간	4	24	0.0040	2.0711	0 ~ 0.0331

*, geometric mean; **, geometric standard deviation

범위는 0 ~ 0.0520f/cc로 철거작업이 설치작업보다 1.8배 높았고 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$).

다. 작업 시간대별 석면농도

지하역사내 작업은 주·야간으로 구분하여 작업구역이 다른 장소에서 이루어지므로 주·야간작업에 따른 조사하였다(표 6). 조사결과 설치작업 주간 기하평균 농도는 0.0032f/cc로 야간 0.0029f/cc보다 높은 수준이었으며, 철거작업도 주간 기하평균농도는 0.0092f/cc로 야간 0.0040f/cc보다 높아 전체적으로 주간작업이 야간작업보다 높았다.

라. 시료채취 방법에 따른 석면농도 비교
철거작업시 시료채취 방법에 따른 석면농도는 개인시료의 경우 기하평균농도는 0.0065f/cc, 기하표준편차는 2.9597이었고 지역시료의 기하평균농도는 0.0035f/cc, 기하표준편차는 1.6474이었다(표 7). 개인시료의 농도가 지역시료보다 약 1.9배 정도 높은 수준이었다.

마. 지하공기질 관리기준과의 농도 비교

지하 공기질 관리를 위하여 권고하고 있는 기준과 조사결과를 비교하였다(표 8). 검출된 석면의 8시간 가중평균농도(8hr-TWA)를 지하공기질 기준과 비교하

기 위하여 24시간 평균농도로 환산한 결과 총 시료 115개중 지하생활공간 공기질 관리 측면의 권고기준인 0.01f/cc보다 높게 나타난 시료는 5개로 전체시료의 4.3% 수준이었다. 최고 농도는 0.0178f/cc로 권고기준의 1.78배였다.

IV. 고 찰

최근 지하생활공간 이용의 급증으로 지하 공기질이 악화되어 이에 대한 사회적 관심이 고조되고 있다. 여기서 지칭하는 지하생활공간이란 불특정 다수가 이

Table 7. 시료채취 방법에 따른 석면농도

채취장소	조사역사	시료수	공기중 석면농도 (f/cc)		
			GM*	GSD**	범위
개인시료	4	33	0.0065	2.9597	0 ~ 0.0520
지역시료	4	9	0.0035	1.6474	0 ~ 0.0120
계	8	42	0.0056	2.7630	0 ~ 0.0520

*, geometric mean; **, geometric standard deviation

Table 8. 지하 실내공기질 권고기준과의 농도 비교

역사수	시료수	석면농도 (f/cc)	초과수 (%)	권고기준 (f/cc)
10	115	0 - 0.0178	5 (4.3)	0.01

용하는 지하시설물을 말하며 지하생활공간에서의 활동은 단시간 이용하는 일반인과 직업적으로 장시간 근무하는 직업인으로 이루어져 있다. 오래 전에 건립된 지하시설물들은 내부 설비가 노후되거나 새로운 필요에 의해서 내부 설비에 대한 개보수작업이 이루어지게 된다. 이때 지하환경이라는 특수성 때문에 작업근로자는 물론 지하공간 근무자 및 지하철을 이용하는 일반인에게 건강상 영향을 미칠 수 있다.

본 연구는 이러한 특성을 감안하여 서울시 지하철역사 내부 설비(환기, 소방, 전기설비 등) 공사에 따른 석면 발생원을 파악하고, 해당설비 공사를 직접 수행하는 근로자의 석면노출 실태를 파악하였다. 지하철역사의 석면 발생원을 파악하기 위하여 석면이 함유되어 있을 것으로 추정되는 고형시료를 채취하였다. 환기설비 중 덕트 이음부의 플랜지에 팩킹용으로 사용된 가스켓과 지하역사내 퇴적분진 및 천장 도포물질, 천장재 등에서 석면이 검출되었으며 이중 가스켓은 채취한 13개의 시료 모두에서 백석면이 검출되었고, 퇴적분진은 20개의 고형시료중 10개의 시료에서, 그리고 천장재에서도 4개의 시료중 2개에서 백석면이 검출되었다. 또한 도포물질의 경우에 천장 도포물질에서는 투각섬석이 검출되었지만 벽체 도포물질에서는 석면이 검출되지 않았으며 그 외부직포 및 보온재 등에서도 석면은 검출되지 않았다. 지하철 역사내 주요 고형시료인 가스켓은 석면 사용의 용도상 전체 사용량의 1.7%정도가 가스켓 및 단열재로 사용하고 있음을 볼 때 석면의 주요 발생원으로 파악되었다. 도포물질은 천장과 벽체에 도포되어 있는 상태로 주로 흡입 및 단열용으로 사용되었는데, 이중 일부 역사의 천장 도포물질에서 투각섬석이 검출되어 석면 발생원으로 추정되었다. 이것은 노후된 건축물 해체작업시 발생하는 석면의 노출평가에서 단열재, 석고보드, 배관보온재 등 건축자재에 포함되어 있는 석면이 공기중에서 검출된 것(최충곤, 2001)과 유사하였다. 또한 천장재(텍스)에서도 백석면이 검출되었다. 이는 고형

화된 상태이기 때문에 공기중으로 석면발생은 거의 없으나 외부의 충격에 의한 파손되거나 노후되면서 자연 탈락되어 지하 환경내에 석면을 발생시킬 가능성이 있다고 판단된다.

또한 지하철역사 내부 설비 공사가 이루어지고 있는 작업장의 공기중 시료에서 검출된 석면의 종류는 대부분이 백석면이었고 일부가 투각섬석과 양기석이였다. 작업장 석면농도는 기하평균 0.0038f/cc, 범위는 0~0.0520f/cc이었으며 기하표준편차는 2.0882로 지하생활공간 공기질 관리측면에서 조사한 대합실 0.003f/cc 및 승강장 0.002f/cc(김갑수와 김운수, 1998)보다 높은 수준이었으며, 김윤신(건설교통부, 1999; 환경부, 1999)이 조사한 0.001f/cc, 0.003f/cc보다 높았다. 이것은 내부 설비 공사를 하는 작업장 근로자가 지하철을 이용하는 승객이나 지하철 역무원보다 석면에 높게 노출될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 조사대상은 다르지만 건축물 해체작업시 내부작업 공기중의 석면 기하평균농도 0.038f/cc(최충곤, 2001)와 대형건물내 지하주차장의 석면 기하평균농도 0.0063f/cc(김현옥, 1995) 보다는 낮은 수준이었다. 석면농도가 가장 높은 역사는 기하평균 0.0128f/cc로 가장 낮은 역사의 기하평균 0.0028f/cc보다 4.6배 정도 높았고, 최고 노출농도는 0.0520f/cc이었다. 이러한 결과는 산업안전보건법에서 현재 정하고 있는 내년부터 시행 될 노출기준 0.1f/cc(노동부고시 제2002-2호, 2002)의 1/2 수준이었다. 공기중 시료에서 검출된 석면중 투각섬석이 검출된 역사(가-2)는 고형시료 분석결과 천장 도포물질에서 투각섬석이 검출된 역사와 동일한 역사였다. 따라서 천장 도포물질이 탈락되어 공기중으로 비산되고 있음을 알 수 있었으며 역사 내부 설비 공사가 완료된 후에도 충격이나 자연적인 탈락으로 역사내 공기중으로 비산될 가능성이 있다. 표면손상 정도가 공기중 석면농도에 영향을 미치고(Chesson 등, 1990), 표면관리 상태와 공기중 석면농도 간에 밀접한 관계(문지영과 김현옥, 1994)가 있다는 연구결과를 비추어 볼 때 공기중 석면농도를 감소시키기

위해서는 천장 도포물질 표면에 대한 적절한 관리가 필요하다.

작업내용별 석면의 노출실태를 살펴보면 설치작업시 기하평균농도는 0.0031f/cc, 범위는 0~0.0203f/cc, 철거작업시 기하평균농도는 0.0056f/cc, 범위는 0~0.0520 f/cc로 철거작업이 설치작업보다 1.8배 높았고 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 이는 철거작업시 덕트 해체에 따른 덕트 이음부의 가스켓 탈락과 또한 오랜 기간 동안 퇴적되었던 석면이 비산되어 나타난 것으로 판단된다.

설치작업에서는 주간 기하평균농도가 0.0032f/cc이었고 야간은 0.0029f/cc이었으며 철거작업의 경우는 주간에서 기하평균농도가 0.0092f/cc이었고 야간은 0.0040f/cc로 나타나 전체적으로 주간작업이 야간작업보다 높았다. 이는 주간에 실시하는 주요 작업장소가 환기실, 전기실 등으로 승객의 통행이 제한된 밀폐장소로 환기가 불충분하거나 청소가 불량하기 때문에 석면농도가 높았다. 야간 작업장소는 승강장이나 대합실, 연결통로로써 작업구역이 넓고, 또한 분진 차단막 설치, 물분무(습식작업) 등의 분진발생 억제조치 및 환기가 이루어지고 있어 상대적으로 낮은 농도인 것으로 판단되었다. 이는 건물 천장에 도포된 내화용 단열재의 철거작업시 건조상태로 작업 한 경우는 석면농도가 평균 16.4f/cc인 반면 습식작업시에는 2f/cc 미만으로 나타나(Paik NW 등, 1983) 석면(분진) 발생억제를 위해서는 습식작업을 수행하는 것이 필요하다.

시료채취 방법에 따른 석면농도 평가결과 철거작업시 개인시료의 기하평균농도는 0.0065f/cc이고, 지역시료는 0.0035f/cc로 개인시료가 지역시료보다 약 1.9배 높은 수준이었다. 이러한 결과는 석면이 포함된 물질을 제거하는 작업의 측정결과(Perkins 등, 1992)와 석면방직업에서 개인시료의 허용기준 초과율이 58%이고 지역시료 초과율이 28%인 결과(박정임 등, 1995)와 유사하게 개인시료가 전반적으로 높게 나타났다. 이는 개인시료의 경우 철거작업시 가스켓 탈락 근접위치 및 미세분진이 다량 발생하는 지점에 근로자가

위치함에 따라 상대적으로 지역시료보다 높게 검출되고 있다고 판단할 수 있다.

지하철 역사내의 석면 발생원을 파악하고 또한 내부 설비 공사시의 석면농도가 공사가 이루어지지 않는 장소보다 높게 검출되고 있음을 볼 때 내부 설비 공사시 발생하는 석면은 지하생활공간의 특수성에 따라 직접 작업을 수행하는 근로자는 물론 지하철을 이용하는 시민과 같은 불특정 다수에게도 건강상 영향을 미칠 수 있다. 이런 측면에서 내부 설비 공사시 발생하는 석면의 8시간 가중평균농도(8hr-TWA)를 24시간 평균농도로 환산하여 비교한 결과 전체시료중 4.3%가 지하생활공간의 공기질 관리측면에서 권고하는 기준인 0.01f/cc를 초과하는 수준이었으며, 최고 농도는 0.0178f/cc로써 권고기준의 1.78배였다. 이러한 결과는 내부 설비 공사가 지하환경을 오염시킬 수 있는 주된 원인으로 예측할 수 있으며, 석면농도가 높게 나타난 경우 역사내 시설보수 공사가 진행되고 있을 때 농도가 증가한 것으로 보고한 연구(김갑수와 김운수, 1998)와 같은 양상을 보이고 있다.

따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 향후에는 내부 설비 공사시 일반시민 등이 이용하는 지하철역내 공기질이 어떻게 영향을 받는지에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다. 또한 앞으로 진행될 지하철 역사 내부 설비 공사시에는 석면에 의한 근로자 및 일반인의 건강장해 예방을 위하여 분진발생 억제조치, 즉 분진 차단막 설치, 물분무(습식작업), 진공청소 등의 작업방법이 필요하며 작업자에게 석면의 유해성, 표준작업수칙 준수 및 방진복, 방진마스크 등 개인보호구 착용에 대한 교육과 관리가 지속적으로 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 환기, 소방, 전기설비 등 내부 설비 공사가 이루어지고 있는 서울시 지하철의 10개 역사를 대상으로 2회에 걸쳐 2001년 5월 21일 부터 2002년 1월 29일

까지 설치작업과 철거작업으로 구분하여 석면의 발생원을 파악하고, 또한 공사가 진행되고 있는 지하철역사의 작업내용별, 시간대별, 시료채취 방법별 석면의 노출 실태를 파악하기 위하여 실시하였으며, 고형시료 및 공기중 시료에 대한 TEM-EDX 분석결과를 다음과 같다.

첫째, 지하철역사의 석면 발생원 파악을 위하여 고형시료를 분석한 결과 총시료 44개중 29개에서 석면이 검출되었고(65.9%) 검출된 석면의 종류는 백석면(chrysotile)이 93.1%, 투각섬석(tremolite)이 6.9%이었으며, 주요 발생원은 덕트 이음부의 가스켓, 퇴적분진, 천장 도포물질, 천장재, 불티 방지포 등이었다.

둘째, 공기중 석면농도는 기하평균 0.0038f/cc, 범위는 0~0.0520f/cc, 기하표준편차는 2.0882이었고 농도가 가장 높은 역사는 기하평균 0.0128f/cc로 가장 낮은 역사는 0.0028f/cc보다 4.6배 정도 높았으나 산업안전보건법에서 규정하고 있는 노출기준 2f/cc를 초과하는 곳은 없었다. 또한 공기중 시료에서 검출된 석면은 대부분이 백석면이었으나, 가-2 역사에서는 투각섬석과 양기석(actinolite)이 검출되었는데 고형시료 분석결과 투각섬석이 검출된 역사와 동일한 역사이었다.

공기중에서 발생하는 석면의 노출실태를 보면 철거작업 기하평균이 0.0056f/cc로 설치작업 0.0031f/cc보다 1.8배 높았다. 작업 시간대별 석면농도는 설치작업의 주간 기하평균이 0.0032f/cc, 야간이 0.0029f/cc이었으며, 철거작업 주간이 0.0092f/cc, 야간이 0.0040f/cc로 나타나 전체적으로 주간작업이 야간보다 높았고, 시료채취 방법에 따른 농도는 개인시료 기하평균이 0.0065f/cc, 지역시료 0.0035f/cc로 개인시료가 지역시료 보다 높았다.

셋째, 내부 설비 공사시 발생한 석면농도와 지하생활공간 공기질 관리 측면에서 권고하는 기준과의 비교결과 공기중 시료의 4.3%가 권고기준인 0.01f/cc를 초과하고 있었으며 최고농도는 0.0178f/cc로써 권고기준의 1.78배 수준으로 내부 설비 공사가 지하생활공간을 오염시키는 주된 원인으로 예측할 수 있다.

REFERENCES

- 관세청. 무역통계연보, 2000
- 김갑수, 김운수. 서울시 지하철 환경개선 방안 연구. 서울특별시 지하철공사, 1998
- 김운신. 실내공기질 관리방안에 관한 연구. 환경부, 1999
- 김운신. 지하공간 개발에 따른 환경기준 연구. 건설교통부, 1999
- 김현욱. 대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기중 석면오염 및 관리실태. 한국산업위생학회지 1995; 5(2): 137-146
- 노동부. 석면 노출근로자 건강보호 강화 대책, 2001
- 노동부고시 제2002-2호. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 2002
- 문지영, 김현욱. 서울시내 일부주차장의 공기중 섬유농도에 영향을 미치는 인자 분석. 한국산업위생학회지 1994; 4(2): 157-167
- 박정임, 윤충식, 백남원. 석면방직업 근로자의 석면 노출실태와 과거농도 추정에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995; 5(1) 16-39
- 법률 제 5224호. 지하생활공간 공기질관리법, 1996
- 법률 제 6590호. 산업안전보건법, 2001
- 유일재. 에너지 분산 X-선 분석장치가 장착된 투과전자현미경을 이용한 석면 분석 방법. 한국산업안전공단(보건분야 연구자료 99-26-96), 1998
- 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라 석면 생산과 사용 및 근로자수와 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지 1998; 8(2): 242-253
- 최충근. 건축물 해체작업시 발생하는 석면의 노출평가. 연세대학교대학원 보건학과 석사학위논문, 2001
- 한국산업안전공단. 서울시 지하철역사 석면 등 유해물질 취급 실태조사 보고서, 2001
- 한국산업안전공단. 석면취급 근로자의 건강보호 대책 세미나(기술자료, 보건 97-41-74), 1997

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, 1998
- Becklake MR. Asbestos-related diseases of the lung and other organs. Their epidemiology and implications for clinical practice. *Am Rev Respir Dis* 1976; 114: 187-227
- Becklake MR, Gibbs GW, Arhiri M, Hurwitz S. Exposure to asbestos and respiratory abnormality: the influence of fibre type and nature of exposure. in biological effects of mineral fibers, Wagner JC, Ed., IARC Scientific Publication No. 30, Lyon, France, 1980
- Browne K. The controlled use approach for asbestos-A scientific update on health effect. International conference on asbestos products. Kuala Lumpur, Malaysia, 1991
- Chesson J, Hatfield J, Schultz B, Dutrow E, Blake J. Airborne asbestos in public buildings. *Environ Res* 1990; 51: 100-107
- Lippmann M. Review: Asbestos exposure indices. *Environ Res* 1988; 46: 86-106
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Manual of Analytical Methods, 4th Ed., ASBESTOS by TEM, Method 7402, 1994
- Paik NW, Walcott RJ, Brogan PA. Worker exposure to asbestos during removal of sprayed material and renovation activity in buildings containing sprayed material. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983; 44: 428-432
- Perkins JL, Rose VE, Cleveland MS. Analyses of PCM asbestos air monitoring results for a major abatement project. *Appl Occup Environ Hyg* 1992; 7(1): 27-32