

건축물 석면 해체·제거 작업 시 공기 중 섬유의 농도 및 크기 분포에 관한 연구

대한산업보건협회 산업보건연구소 / 전 봉 환·안 선 희·최 호 준

개요

석면은 난연성, 내화학적, 내마모성, 절연성과 같은 우수한 물리화학적 특성으로 인해 상업적으로 채취되어 건축자재, 석면제품 등으로 우리 일상생활에 광범위한 용도로 널리 사용되었다. 하지만 이러한 유용함에도 불구하고 석면에 노출될 경우 대략 15년에서 30년의 잠복기를 거쳐 석면관련 건강장해가 발생하는데, 이러한 문제가 알려지기 시작하면서 세계적으로 석면 사용량은 급감하고 있으며 석면의 사용도 규제 되고 있는 추세이다.

선진국에서는 이미 오래 전부터 규제 대상이거나 사용금지 물질로 정하고 있으며 American Conference of Governmental Industrial Hygienists에서는 Threshold Limit Values(TLV)에 석면을 발암성 물질로 확인된 물질(A1) 및 노출기준 $0.1 \text{ f}/\text{cc}$ 로 규정하고 있다(ACGIH, 2011).

석면에 장기간 노출되면 대략 15 - 30년의 잠복기를 거쳐 석면폐증(Asbestosis), 중피종(mesothelioma), 폐암(lung cancer)을 유발시키는 유해성이 큰 물질로 알려져 있다(Doll, 1995; Wagner, 1960).

국내의 경우도 석면의 치명적인 유해성이 알려지면서 근로자를 석면 노출로부터 보호하기 위해 2011년 현재 산업안전보건법 상에 백석면을 허가대상물질, 백석면을 제외한 5종의 석면에 대해서는 제조 등 금지물질로 구분하여 규제하고 있다.

그리고 2003년 이후 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준이 개정·시행되면서 모든 석면의 공기 중 노출기준을 $2 \text{ 개}/\text{cm}^3$ 에서 $0.1 \text{ 개}/\text{cm}^3$ 로 20배 강화하였다(노동부, 2002).

또한 건축물 등의 석면 해체·제거 시 일정규모 이상의 석면조사는 지정된 석면조사기관을 통해 사전조사를 실시하고, 작업 완료 후 석면의 공기 중 농도 측정을 의무화했으며, 해체·제거작업을 등록된 업체가

수행하도록 하였다(노동부, 2009).

우리나라의 석면사용 실태를 보면 1970년대에 수입된 석면의 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되었고 1990년대에는 슬레이트와 보온단열재인 건축내장재, 천정판, 석면판 등에 약 82%를 사용하였다(최정근, 1998).

특히 건축자재에 석면을 주로 사용한 국내의 경우는 석면 함유 건축자재로 인해 건축물의 유지, 보수, 해체, 철거 등 작업 시 석면이 함유된 건축자재로부터 방출되는 공기 중 석면은 앞으로 발생할 석면노출의 주요한 요인이다.

따라서 최근에 노후한 건축물의 경제적 가치 상실로 인하여 해체가 증가하고 있으며, 건축물 해체와 제거작업 근로자들이 석면 분진에 노출될 수 있다.

국내에 적용되고 있는 공기 중 석면농도 기준은 크게 두 가지로 작업자의 개인노출 농도와 환경 중 지역시료 농도로 구분할 수 있다.

작업자 개인노출 농도는 석면 또는 석면이 함유된 물질을 취급하거나 석면에 노출될 우려가 있는 작업자에 대한 노출기준으로, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준에 의해 0.1개/㎤로 규제되고 있다(노동부 고시 제2010-44호).

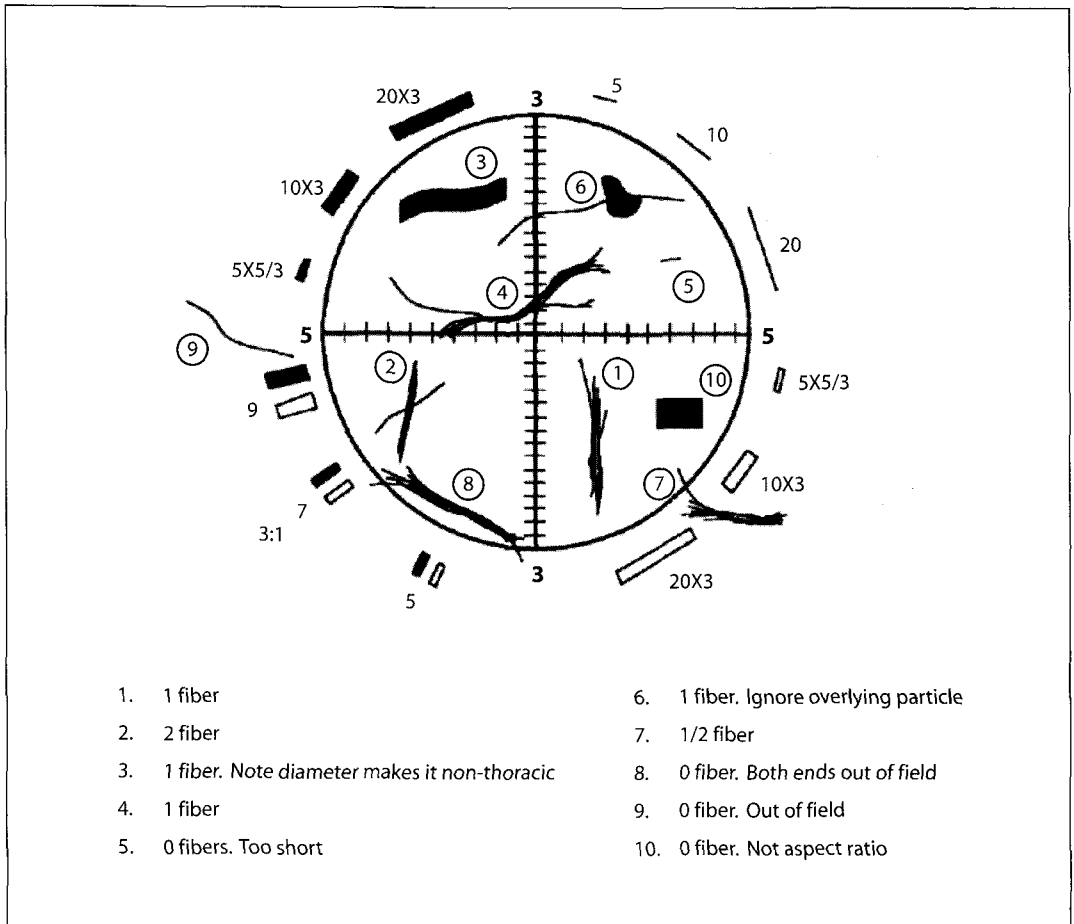
환경 중 지역시료 농도는 노동부 사무실 공기관리 지침과 산업안전보건법 시행규칙 제80조의9(석면해체·제거작업 완료 후의 석면농도기준)등에 의해 0.01개/㎤로 규제되고 있다.

현재 석면에 노출되는 근로자가 있는 작업장에 대하여 정기적으로 작업환경측정이 실시되고 있는데 슬레이트 제조업, 석면 방직업 및 자동차 브레이크 라이닝 제조업의 근로자들에 대한 폭로 정도와 건강장해에 관한 연구가 주로 이루어졌다(오세민, 1993).

하지만 건축물 석면 해체와 제거작업의 경우 작업 완료 후 지역시료 측정만 주로 이루어질 뿐 해체·제거작업 작업자들의 작업환경측정은 제한적으로 이루어지고 있는 실정이며, 건축물 석면 해체·제거 작업 시 발생하는 석면의 노출 수준에 관한 단면적인 연구만 있었다(최충근, 2002).

근로자의 석면 섬유 노출을 평가할 때 근로자에 대한 노출량뿐만 아니라 섬유 크기의 특성을 파악하는 것도 중요하다.

섬유의 크기 특성은 섬유 노출에 따른 건강위험을 결정하는 중요한 요인 중 하나이며 최근 활발히 진행되는 건축물 석면 해체·제거작업 시 근로자가 석면 섬유에 노출될 우려가 있기 때문에 노출 평가 시 섬유의 농도와 크기 특성을 함께 고려해야 한다.

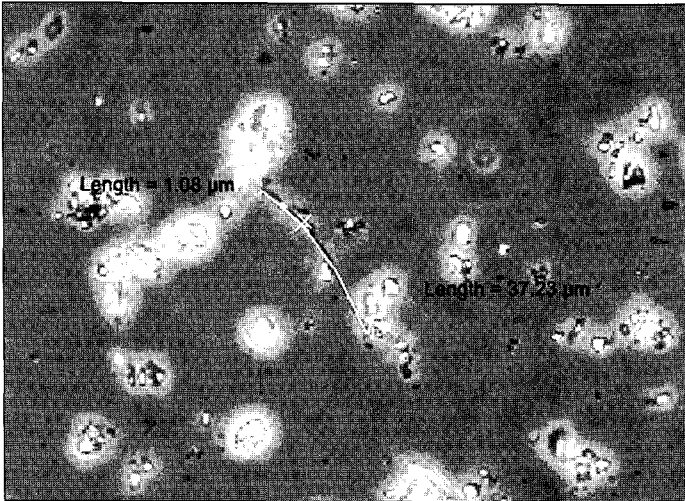


〈그림 1〉 "A" 섬유 계수 규정에 따른 섬유 계수의 예

석면에 의한 질병 발생 위험도와 밀접한 관계가 있는 석면섬유의 크기 특성에 관한 연구에서 석면폐와 관계있는 석면섬유는 길이가 2 μm 이상이고 직경이 0.15 μm 이상인 섬유이며, 악성 중피종의 경우 길이가 5 μm 이상이고 직경이 0.1 μm 미만인 길고 가는 섬유이고, 폐암은 길이가 10 μm 이상이고 직

경이 0.15 μm 이상인 길고 굵은 것이라고 주장하였다(Lippmann, 1987).

따라서 본 연구는 건축물 석면 해체·제거 작업 중 개인 시료의 공기 중 석면 노출 농도를 평가하고 석면 관련 질환 유발과 밀접한 관련이 있는 섬유 크기 분포를 조사하



〈그림 2〉 위상차현미경을 이용한 섬유유의 크기 측정

여 석면 해체·제거작업 근로자의 건강을 보호하며 작업환경 개선에 대한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 조사는 서울 및 경기도 일부에서 실시된 건축물 석면 해체·제거 작업의 공기 중 측정 시료로서 작업 중 작업자의 호흡영역에 부착시켜 개인 노출농도 평가 목적으로 측정한 개인시료 59건을 대상으로 하였다.

2. 방법

(1) 작업 중 개인시료 채취 및 분석

공기 중 섬유시료의 채취는 NIOSH Method #7400 (NIOSH, 1994)을 이용하여 25 mm mixed cellulose ester 막여과지(pore size: 0.8 μm)에 시료채취용 펌프를 사용하였다.

작업자의 석면노출을 파악하기 위해 개인용 시료채취기를 사용하여 유속 2 l/min로 60-466분간 측정하

였다.

공기 중 시료의 전처리는 acetone/tri-acetone 방법으로 투명화시켰으며 분석 장비는 Walton-Beckett graticule(계수 면적 0.00785 mm^2 , Type-G22)이 삽입된 위상차 현미경(Nikon Model ECLIPSE 80i)을 이용하여 400배 배율에서 섬유유를 계수하였다.

분석 방법으로는 NIOSH Method #7400의 “A” 섬유 계수 규정을 적용하여 섬유 길이가 5 μm 보다 길고, 길이 대 지름비(aspect ratio)가 3:1 이상인 섬유유를 100시야까지 계수하였다. 단, 100시야 이하에서 섬유 수가 100개 이상이면 섬유 수가 100개 되었을 때 분석을 중단하나, 최소한 20시

야 이상을 분석하였다.

Walton-Beckett graticule 이용한 “A” 섬유 계수 규정에 따른 섬유 계수의 예는 <그림 1>과 같다.

(2) 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 크기 측정

건축물 석면 해체·제거 작업 시 비산되는 공기 중 섬유의 지름 및 길이의 특성을 살펴보기 위해 작업하는 근로자의 호흡위치에서 채취된 개인시료 중 상대적으로 농도가 높은 10개를 선택하였다.

위상차현미경이 관찰할 수 있는 최소 길이 0.25 μm 을 고려하여 위상차현미경을 이용한 분석 시 길이가 5 μm 보다 길고, 지름이 0.25 μm 이상, 길이 대 지름 비(aspect ratio)가 3:1 이상을 섬유라고 정의(NIOSH, 1994)를 하는데 본 연구에서는 NIOSH의 섬유의 정의를 적용하였다.

섬유의 길이와 지름의 크기 분포를 알아보기 위해 충분한 섬유의 수가 확보되어야 한다. 그래서 시료의 모든 면적을 이동해 가며 섬유의 정의에 적합한 섬유가 100개가 될 때까지 크기 측정을 실시하였다.

길이와 지름의 정확한 측정을 위해 DS-Fi1 카메라가 장착된 위상차현미경을 이용하여 400배의 배율에서 NIS-Elements imaging software를 통해 섬유의 크기를

측정하였다(그림 2).

(3) 작업 중 개인 시료의 섬유 노출 농도 평가

공기 중 섬유 농도는 대수정규분포를 하므로 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)를 구하였다.

근로자의 섬유 노출 농도는 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부 고시 제 2010-44호)인 0.1개/ cm^3 에 근거하였다.

결과 및 고찰

1. 건축물 석면 해체·제거 근로자의 작업 중 석면노출 수준

직업적으로 석면 또는 석면이 함유된 물질을 취급하거나 석면에 노출될 우려가 있는 작업자에 대한 우리나라의 노출기준은 화학물질 및 물리적인자의 노출기준에 의해 8시간 시간가중평균(TWA) 0.1개/ cm^3 로 규제되고 있다(노동부 고시 제2010-44호).

하지만 건축물 석면 해체·제거 작업 시 근로자에 대한 작업환경측정에 대한 명확한 규정이 없으며, 건축물 석면 해체·제거 작업이 단기간에 완료되는 것으로 인해 근로자의 작업 중 석면노출 수준 평가가 미흡한 실정이다.

〈표 1〉 작업 중 개인 시료의 기하평균 및 기하표준편차

TLV 수준	시료 수	농도(개/cm ³)		
		기하 평균	기하표준 편차	범위
0.1 TLV 초과	8	0.0188	1.50266	0.011 - 0.033
0.05 TLV 초과 - 0.1 TLV 이하	8	0.0081	1.17858	0.006 - 0.01
검출한계 초과 - 0.05 TLV 이하	2	0.005	1	0.005
검출한계 이하*	41	-	-	-
전체(검출한계 이하 제외)	18	0.0112	1.77650	검출한계 - 0.033

* 검출한계 : 0.003개/cm³ 미만

2011년 1월부터 7월까지 서울 및 경기도 일부에서 건축물 석면 해체·제거 작업 시 측정된 작업 중 개인시료 59건을 분석하였다. 분석한 모든 시료 중에서 노출기준 0.1 개/cm³을 초과하는 시료는 없었으며, 검출한계를 초과한 시료는 18건, 검출한계 이하의 시료는 41건으로 노출기준에 비해 낮은 농도 수준이었다.

본 연구 시료는 검출한계 이하의 농도수준 시료가 전체 시료 수의 50% 이상으로 기하평균과 기하표준편차의 계산에서는 제외하였다(Hornung R.W, 1990).

노출기준 0.1배를 초과하는 시료는 8건이며, 기하평균 0.0188개/cm³, 기하표준편차 1.50266(범위: 0.011-0.033개/cm³)로 나타났다.

노출기준 0.05배에서 0.1배 이하의 시료는 8건이며, 기하평균 0.0081개/cm³, 기하표준편차 1.17858(범위: 0.006-0.01개/cm³)로

나타났다.

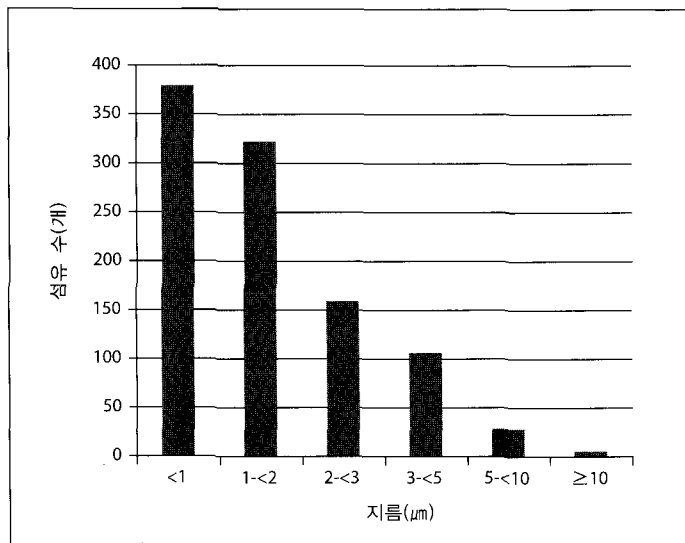
검출한계 초과에서 노출기준 0.05배 이하의 시료는 2건이며, 기하평균 0.005 개/cm³, 기하표준편차 1(범위: 0.005개/cm³)로 나타났다. 검출한계 이하의 시료는 41건이었다. 검출한계 이하의 41건을 제외한 18건의 시료의 전체 기하평균 농도는 0.0112 개/cm³, 기하표준편차는 1.77650(범위: 검출한계-0.033개/cm³)로 나타났다(표1).

건물을 해체하는 작업 시 농도가 검출한계 이상의 시료에 대한 공기 중 섬유 농도의 기하평균은 0.0112개/cm³으로 선행 연구된 건축물 해체 작업 중 작업장 내의 전체 섬유 농도의 기하평균 0.056개/cm³보다 낮은 경향을 보였다(최종근, 2002).

또한 건물 외부 대기환경 중에서 측정된 섬유의 기하평균 0.0033개/cm³(김현욱, 1995)와 비교해 본 결과, 대략 3배 정도 높

〈표 2〉 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 지름 분포

지름(μm)	<1	1~2	2~3	3~5	5~10	≥ 10
섬유 수(개)	379	323	158	106	30	4
누적비율(%)	37.9	70.2	86.0	96.6	99.6	100



〈그림 3〉 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 지름 분포

은 농도로 나타났다.

모든 석면 해체·제거 작업은 석면섬유의 비산을 막기 위해 밀폐된 보호막 내부에서 이루어지며 석면배기 환기 장치를 작동하여 섬유 농도가 높을 수 있으나 습식으로 작업이 이루어져 작업 중 개인 시료의 섬유 농도가 외부 대기 환경의 섬유 농도와 같이 낮은 수준인 것으로 추정된다.

이런 결과로 보아 건축물 석면 해체·제거 작업 중 섬유 농도가 비교적 낮은 농도 수준이었지만 악성 종피종의 경우는 저농도의 노출로 인한 발병 가능성이 있어 작업자들의 호흡 보호구의 착용과 오염정화 설비를 철저히 갖추어야 한다.

2. 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 크기 분포

섬유의 유해성은 섬유의 크기, 농도 및 체내 지속성 등 3가지 요인에 좌우되는 것으로 알려져 있다.

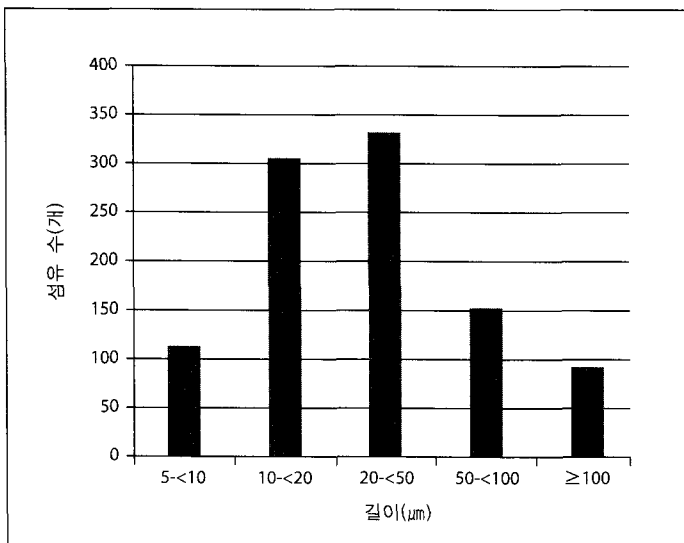
그 중에서도 섬유의 크기 특성은 석면에 의한 주요 건강장해 유발과 관련성이 크며 섬유로 인한 유해성의 건강지표로 사용된다.

섬유의 독성은 직경이 $0.25 \mu\text{m}$ - $1.5 \mu\text{m}$ 이고 길이가 $8 \mu\text{m}$ 보다 큰 섬유의 수와 밀접한 관련이 있다고 하였다(Stanton, 1977).

현재까지 석면취급 사업장 중 석면 방직

〈표 3〉 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 길이 분포

길이(μm)	5-10	10-20	20-50	50-100	≥100
섬유 수(개)	113	306	334	154	93
누적비율(%)	11.3	41.9	75.3	90.7	100



〈그림 4〉 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 길이 분포

섬유를 시료 당 100개씩 섬유 길이와 지름을 측정하였다.

하지만 위상차현미경을 이용한 분석방법은 분석 기술의 제한점으로 인해 석면이 아닌 섬유와 석면섬유를 구분하지 못하기 때문에 본 연구에서는 공기 중에 발생하는 입자 중 길이가 5 μm 이상이며, 길이 대 지름의 비가 3:1 이상인 모든 섬유상 물질을 석면으로 간주하여 분석을 하였다.

업, 브레이크 라이닝 제조업, 슬레이트 제조업의 섬유 크기 분포에 관한 연구(백남원, 1991)는 있었지만 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 크기를 조사한 연구는 없었다.

따라서 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 크기 분포를 알아보기 위해 작업장의 작업 중 개인 시료 10개를 이용하여 길이가 5 μm보다 크고 길이 대 지름비가 3:1 정도의

우선 섬유의 지름을 6구간으로 나누어 구분하였으며, 섬유의 지름 분포는 〈표 2〉 및 〈그림 3〉과 같다.

크기를 측정한 1000개의 섬유 중 지름이 1 μm 미만은 379개, 1 μm에서 2 μm 미만은 323개, 2 μm에서 3 μm 미만은 158개, 3 μm에서 5 μm 미만은 106개, 5 μm에서 10 μm 미만은 30개, 10 μm 이상은 4개로 나타났다.

또한 섬유의 길이도 5구간으로 나누어 구

〈표 4〉 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 길이와 길이 대 지름 비의 분포

길이 대 지름 비	섬유의 길이(μm)							합계		
	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	≥ 50	소계	비율(%)	누적비율(%)
3 미만	-	1	-	1	-	-	-	2	0.2	0.2
3 이상 - 5 미만	11	8	5	1	1	-	-	26	2.6	2.8
5 이상 - 10 미만	42	59	33	35	5	4	6	184	18.4	21.2
10 이상 - 15 미만	-	27	31	18	15	5	12	108	10.8	32
15 이상 - 20 미만	-	0	9	17	16	6	20	68	6.8	38.8
20 이상	60	70	63	89	58	52	220	612	61.2	100
소계	113	165	141	161	95	67	258	1000	100	
합계	비율(%)	11.3	16.5	14.1	16.1	9.5	6.7	25.8	100	
	누적비율(%)	11.3	27.8	41.9	58	67.5	74.2	100		

분하였으며, 섬유 길이 분포는 〈표 3〉 및 〈그림 4〉와 같다.

크기를 측정된 1000개의 섬유 중 길이가 5 μm 에서 10 μm 미만은 113개, 10에서 20 μm 미만은 306개, 20에서 50 μm 미만은 334개, 50에서 100 μm 미만은 154개, 100 μm 이상은 93개로 나타났다.

대부분의 연구자들은 지름이 3 μm 를 호흡성 섬유(respirable fiber)의 분류기준으로 사용하고 있다(Timbrell, 1976).

또한 Head와 Wagg(1980)는 호흡성 섬유를 지름이 3 μm 미만이고 길이가 5 μm 보다 긴 섬유라고 규정하였다. 폐 영역까지 침착 가능한 호흡성 섬유는 폐 깊숙이 들어가 지속적인 염증 유발을 일으켜 폐의 섬유화 및 석면관련 질환의 위험성을 높인다.

건축물 해체·제거 작업장의 작업 중 섬유 지름을 파악해 본 결과, 지름이 3 μm 미만이고 길이가 5 μm 보다 긴 섬유의 비율이 전체에 86%나 차지하여 분포된 섬유의 호흡성 비율이 높다고 할 수 있겠다.

건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 길이와 길이 대 직경비의 분포를 본 결과는 〈표4〉와 같다.

표에서 보는 바와 같이 건축물 해체·제거 작업장에서 발생하는 섬유의 61.2%가 길이 대 지름 비 20 이상으로 보였고 섬유의 길이는 50 μm 이상의 섬유가 25.8%로 길이가 50 μm 이상이면서 길이 대 지름 비 20이 상인 섬유가 가장 많이 분포 되어 있는 것으로 나타났다.

1991년 조사한 석면취급 사업장 업종별

공기 중 시료의 섬유 특성을 연구한 결과에서는 석면 방직업에서 발생하는 석면 섬유의 73%가 길이 대 지름 비 20 이상으로 보였고 브레이크 라이닝 제조업, 슬레이트 제조 및 자동차 정비업 등에서 발생하는 길이 대 지름 비 20이상인 석면은 각각 52%, 37%, 및 19%였다(백남원, 1991).

위 결과와 같이 건축물 해체·제거 작업장의 섬유는 주로 길이가 길고 길이 대 지름 비가 큰 섬유들이 분포한다는 것을 알 수 있다.

따라서 길이가 긴 섬유가 발생하는 해체·제거작업 시 작업자가 석면 섬유에 노출될 경우 폐암, 악성중피종 및 석면폐의 발생 위험도가 충분히 있을 수 있다고 판단된다.

특히 1% 이상의 석면을 함유한 단열재 및 표면재의 해체·제거작업과 같은 고위험 석면해체·제거작업에서는 개인 보호구인 보호의 착용과 안면부 여과식이나 일회용 호흡 보호구가 아닌 고효율 필터가 장착된 전동식 공기정화 호흡보호구 또는 그 이상의 보호계수를 갖는 호흡 보호구를 착용하여 석면 섬유의 노출로부터 작업자를 보호해야 하겠다.

결론

본 조사는 2011년 1월에서 2011년 7월 까지 서울 및 경기도 일부에서 이루어진 건축

물 석면 해체·제거작업 시 채취된 작업 중 개인시료 59건을 대상으로 공기 중 섬유의 노출 정도를 파악하였다.

공기 중 섬유의 농도와 섬유 노출에 따른 건강 위험을 판단하는 섬유의 크기 분포를 알기 위해 위상차현미경(PCM)을 이용하여 분석하였으며, 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 건축물 석면 해체·제거 작업 시 측정된 작업 중 개인시료 59건의 모든 시료에서 현행 노동부의 공기 중 석면 노출기준 0.1개/cm³을 초과하는 시료는 없었으며, 농도가 검출한계 이상인 시료 18건에 대한 공기 중 시료의 전체 기하평균 농도는 0.0112 개/cm³, 기하표준편차는 1.77650(범위: 검출한계-0.033 개/cm³)로 모두 낮은 농도 수준이었다.

2. 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 크기 분포를 알기 위해 1000개의 섬유 길이를 측정해본 결과, 5-〈10 μm는 113개, 10-〈20 μm는 306개, 20-〈50 μm는 334개, 50-〈100 μm는 154개, 100 μm 이상은 93개로 나타났다으며, 지름은 1 μm 미만은 379개, 1-〈2 μm는 323개, 2-〈3 μm는 158개, 3-5 μm는 106개, 5-〈10 μm는 30개, 10 μm 이상은 4개로 분포하였다.

3. 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유 길이와 길이 대 직경비의 분포를 본 결과, 섬유의 61.2%가 길이 대 지름 비 20 이

상으로 보였고 섬유유의 길이는 50 μm 이상의 섬유유가 25.8%로 길이가 50 μm 이상이면서 길이 대 지름 비 20이상인 섬유유가 가장 많이 분포 되어 있는 것으로 나타났다.

건축물 석면 해체·제거 작업 시 측정된 작업 중 개인 시료의 공기 중 석면 농도가 노출기준인 0.1 개/ cm^3 미만의 낮은 농도 수준이었다.

하지만 건축물 석면 해체·제거 작업장의 섬유유 크기 분포 결과에서는 지름이 3 μm 미

만인 호흡성 섬유유와 길이가 길며 길이 대 지름 비가 큰 섬유유처럼 독성이 강한 섬유유의 비율이 높게 나타났다.

공기 중 석면 농도가 노출기준 이하더라도 폐암이나 악성 중피종과 같은 저농도의 노출에도 발병 가능한 석면질환으로부터 안전한 것이 아니므로 가능한 석면 해체·제거 작업장의 석면 농도를 낮은 수준으로 유지하며 작업자의 개인 보호 장비 착용에 각별한 주의를 요한다. ☺

참고 문헌

1. 백남원, 이영환, 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1991;1(2):144-153
2. 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지 1998;8(2):242-253
3. 오세민, 신용철, 박두용, 박동욱, 정규철. 일부 석면취급 사업장의 석면폭로 농도 및 작업환경 관리기준에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993;3(1):100-19

4. 최충곤, 김치년, 임남구, 노영만, 노재훈. 건축물 해체 작업 시 발생하는 석면의 노출 수준. 한국산업위생학회지 2002;12(3):195-201
5. 김현욱. 대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기중 석면오염 및 관리 실태. 한국산업위생학회지 1995;5(2):137-146
6. 신용철. 세라믹 섬유 제조 및 가공 공정에서 발생된 공기 중 섬유의 농도 및 크기 분포. 한국환경위생학회지, 제26권 제4호, 2000
7. 노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제2010-44호.노동부, 2010 노동부. 산업안전보건법, 2009
8. Lippmann M(1988) Asbestos exposure indices. Environ Res 46, 86-106
9. Stanton MF, Layard M, Tegeris A: Carcinogenicity of fibrous glass:Pleural response in the relation to fiber dimension. J. Natl Cancer Inst., 58, 587-603, 1977
10. Head IWH, Wagg RM: A survey of occupational exposure to man-made mineral fibre dust. Ann. Occup. Hyg., 23, 235-258, 1980
11. Timbrell V: Aerodynamic considerations and other aspects of glass fiber. In Occupational Exposure to Fibrous Glass - A Symposium(NIOSH Pub. No. 76-151). Department of Health, Education, and Welfare, Washington D.C., 1976.
12. Hornung RW, Reed LD. Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. Appl Occup Environ Hyg.5(1):46-51, 1990.
13. Doll R. Mortality from lung cancer in asbestos worker. Br J Ind Med 1955;12:81-861
14. Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P: Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape province. Br J Ind Med 17:260-271, 1960
15. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH), NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM) 7400, 4th ed, 1994
16. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, 2011