

석면 해체 · 제거시 공기 중 노출수준과 영향요인

김지영¹ · 이송권 · 이정희 · 임무혁¹ · 강성욱 · 피영규[‡]

대구한의대학교 보건치료대학 보건학부, ¹대구한의대학교 산업보건연구소

A Study on the Factors Affecting Asbestos Exposure Level from Asbestos Abatement in Building Demolition Sites

Ji-Yeong Kim¹ · Song-Kwon Lee · Jeong Hee Lee · Mu Heok Lim¹ · Sungwook Kang · Young Gyu Phee[‡]

Faculty of Health Science, College of Health & Therapy, Daegu Haany University

¹Institute of Industrial Health, Daegu Haany University

This study was examined to find out asbestos exposure level the factors which affected the level at asbestos abatement sites. We visited a total of thirteen building demolition sites(3 apartments, 3 schools, 4 stores, and 3 houses) were visited to collect samples and related data from August to November, 2006.

The results of this study were as follows

1. The results of an analysis of bulk samples to identify types of asbestos at the asbestos abatement sites showed that the kinds of the asbestos detected were chrysotile by 50.0%, were tremolite by 2.6%, and were the contents of chrysotile by 3 to 20%.

2. The geometric mean concentration of asbestos was 0.007 f/cc(range 0.001-0.34 f/cc) and its geometric standard deviation was 5.83. Of the samples, however, 12 exceeded the Korean Occupational Exposure Limit(0.1f/cc).

3. Of the materials, textile material had the highest concentration with geometric mean of 0.016 f/cc. When asbestos-containing materials were removed using T type tools, the geometric mean concentration of asbestos was 0.061 f/cc. The level by this method was much higher than by other removal methods. In analysis by the type of building, the

geometric mean concentration of asbestos in stores was 0.042 f/cc and was higher than in other buildings.

4. The Poisson regression analysis was applied to find out the factors that affect the airborne asbestos concentration. As a result of the analysis, removal using a T type tool was the most important factor affecting the asbestos concentration($p<0.01$).

In conclusion, the airborne asbestos concentration(geometric mean) in asbestos abatement sites was 0.007 f/cc(0.001~0.34 f/cc), and 12(14.6%) of all samples were over the 0.1 f/cc. These results showed that asbestos abatement workers have been exposed to the high level of airborne asbestos because they have not been keeping asbestos removal rule. In accordance with increases of the number of building demolition sites, the better government regulation on asbestos abatement methods should be made and be performed well at building demolition sites.

Key Words: Asbestos, Asbestos containing materials, Abatement methods

접수일: 2008년 12월 16일, 채택일: 2009년 2월 20일

‡ 교신저자: 피영규(경북 경산시 유곡동 29, 대구한의대학교 보건치료대학 보건학부,
Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1412, E-mail: yphee@dhu.ac.kr)

I. 서론

석면(Asbestos)은 천연광물로서 섬유형태를 띤 규산마그네슘($Mg_3Si_2O_{10}(OH)_2$)이 주성분으로 사문석(Serpentine)계열과 각섬석(Amphiboles)계열로 크게 나뉘어지며 사문석류는 백석면(Chrysotile), 각섬석류는 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite), 투각섬석(Tremolite), 양기석(Actinolite), 직섬석(Anthophyllite)등으로 분류된다(Langer 등, 1994).

우리나라는 석면 원재료를 1976년에서 1990년까지 연평균 약 63,000톤을 캐나다, 중국, 짐바브웨 등에서 수입하였으며, 1992년에는 95,476톤으로 최고치를 기록하였으나 1995년 이후 지속적으로 감소하는 추세로 보고되고 있다(노동부a, 2007). 석면 원재료의 수입이 활발했던 1970년대에는 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되었고, 1990년대에는 슬레이트와 보온단열재인 건축내장재, 천장판, 석면판 등에 약 82%가 사용된 것으로 알려져 있다(최정근 등, 1998).

이들 석면을 공기 중으로 흡입하게 되면 약 15~30년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성중피종을 유발하며, 장관계의 암과 인후두암, 유방암, 난소암, 신장암, 췌장암, 부고환암, 임파선암, 원형무기폐, 흉수나 흉막염 등의 발생도 가능하다고 밝혀진 바 있다(Camus, 1998; Becklake, 1976; Browne, 1991). 우리나라는 2000년부터 2007년까지 총 54명의 석면으로 인한 직업병 환자가 발생하였고 2005년 이후에 발생한 환자가 27명(50%)으로 보고되었다(노동부a, 2007). 따라서 1970~1980년대 집중적으로 수입된 것을 감안하고 잠복기를 고려할 때 향후 직업병 발생이 급격히 증가할 가능성이 있다.

이렇듯 석면으로 인한 근로자의 건강보호를 위하여 산업안전보건법에서 청석면 및 갈석면에 대한 제조·수입·양도 또는 사용을 금지하는 규제를 2000년 1월에 시행하였고 투각섬석, 양기석, 직섬석을 2003년 7월에 금지물질에 추가하였다. 2003년에 들어서야 건축물 해체·제거 시 노출되는 석면 보호 조치로서 1%를 초과하는 석면을 함유한 설비 또는 건축물 해체·제거 작업 시 허가를 받도록 하고 석면 해체·제거 시 밀폐, 습식작업, 음압 유지 및 지붕재 해체 시에는 직접 땅에 던져서는 안 된다는 포괄적인 작업방법의 기준을 마련하였다(노동부, 2008). 또한 2009년부터는 모든 석면제품의 제조·수입 또는 사용을 전면 금지하였다(노동부a, 2007). 이는 2003년 이전에는 석면 해체·제거 작업 시 석면의 위험성을 제대로 인식하지 못하였으며 석면 노출 방지를 위한 적절한 대책이 이루어지지 않았음을 의미하고 근로자들이 보호구도 착용하지 않았음을 고려한다면 석면으로 인한 노출로 건강상의 악영향을 미쳤을 가능성은 충분하다.

일반적으로 석면으로 인한 직업병의 발생은 공기 중 노출수준이 높을수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Rappaport,

1991). 따라서 공기 중 석면의 노출수준을 파악하기 위하여 석면 노출 근로자가 있는 작업장에 대하여 정기적으로 작업환경측정을 수행하도록 하고 있다(노동부, 2008). 또한 건강보호 수단으로서 노출기준은 산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 TLVs(Threshold Limit Values)와 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 PELs(Permissible Exposure Limits)과 동일하게 0.1 f/cc로 설정하여 관리하고 있다(ATSDR, 2001, 노동부b, 2007). 그러나 국내 규정에도 불구하고 석면 해체·제거 작업 시 노출수준 파악을 위한 작업환경측정이 잘 이행되고 있지 않고 있는 실정이다. 그리고 그간 석면 해체·제거와 관련하여 석면노출수준에 관한 연구가 일부 이루어져왔지만 그 장소가 지하철(유찬영, 2002), 주차장(문지영과 김현옥, 1994), 또는 병원 건축물(최충근, 2002)로 한정되어 있거나 관리 실태에 관한 연구(장승희, 2006)로 제한적인 논문뿐이었다.

따라서 본 연구의 목적은 다양한 건물의 석면 해체·제거 현장에서 채취한 고형 시료에서 석면의 종류와 함유량을 규명하고, 건물형태, 해체·제거방법, 석면함유자재별 공기 중 석면 노출수준을 조사하며, 공기 중 석면농도에 영향을 미치는 요인을 파악하여 향후 석면노출을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

대구 지역에 소재한 건물의 석면해체·제거 현장 13개소를 대상으로 2006년 8월부터 11월까지 조사를 실시하였다. 채취한 시료는 고형시료 38건, 공기 중 시료는 총 81개로 상가가 27개, 주택 24개, 학교 14개 및 아파트 17개이었다.

2. 연구 방법

1) 시료채취 및 분석

고형시료는 석면 해체·제거 작업 전 천장, 벽, 바닥, 배관 등을 대상으로 석면으로 의심되는 소재를 폴리에틸렌 마개가 달린 20ml 바이알(vial)에 핀셋으로 채취하여 파손되지 않도록 밀봉한 후 운반하였다. 고형시료에 대한 석면의 정성분석은 미국환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 추천법인 EPA/600/R-93-116(EPA, 1993)의 편광현미경법(Polarized Light Microscopy, PLM)을 이용하여 석면의 형태, 색

상/다색성, 굴절률, 신장부호, 분산염색, 소광특성, 복굴절을 관찰하게 되며 석면형태(asbestiform)는 평균길이 대 지름의 비(aspect ratio)가 20:1에서 100:1 또는 그 이상이며, 길이가 5 μm 이상 섬유에 대해서 석면을 판명한다. 공기 중 석면의 포집은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)의 공정시험법 7400에 따라 MCE(Membrane Cellulose Ester) 여과지(공극 0.8 μm , 직경 25 mm)와 50 mm 카울(cowl)이 장착된 카세트(cassette)를 이용하였으며, 개인시료채취기는 시료의 채취 전과 후에 공기유량을 유량보정계(The Gilibrator, Gilian, USA)를 이용하여 1.7 ℓ/min 으로 보정하였다. 시료채취 시간은 석면 해체·제거 작업 시작부터 작업이 완료되는 청소작업까지를 원칙으로 하였고, 청소를 하지 않은 일부 작업장에서는 해체작업 시간만 채취하였다. 포집된 석면의 분석은 Walton-Beckett Graticule이 삽입된 위상차현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM)을 사용하여 400배 배율에서 'A' 섬유 계수법으로 석면섬유를 분석하며 100개의 섬유가 계수될 때 까지 최소 20개 이상 충분한 수의 시야를 계수하되, 계수한 시야의 수가 100개를 넘지 않도록 하고 있다(NIOSH, 1994).

고형시료에 대한 석면의 정성분석과 공기 중 석면농도는 국제 정도관리 프로그램(American Industrial Hygienist Association(AIHA)-Bulk Asbestos Proficiency Analytical Testing Program(BAPAT), American Industrial Hygienist Association(AIHA)-Industrial Hygiene Proficiency Analytical Testing Program(IHPAT))에 참여하여 석면 분석의 정확도와 정밀도를 엄격하게 관리하고 있는 전문분석기관에 의뢰하여 결과를 확인하였다.

2) 통계 분석

자료 분석은 SAS 통계패키지(Ver 9.1)를 이용하였다. 공기

중 석면농도는 Shapiro-Wilk 검정결과 대수정규분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 나타내었다. 건물형태, 해체방법 및 석면함유자재별 석면농도의 차이는 ANOVA를 이용하였다. 공기 중 석면농도에 영향을 미치는 요인 분석은 단변량 분석에서 유의한 차이를 보인 변수를 독립변수로하고 공기 중 석면농도를 종속변수로 하여 포아송 회귀분석(Poisson regression analysis)을 실시하였으며, 이때 명목형 변수들은 더미변수로 변환하여 분석하였다.

III. 결 과

1. 고형시료 중 석면의 종류 및 함유량

석면함유자재를 해체·제거하기 전에 천장, 벽, 바닥, 배관 등에서 석면 의심 소재를 채취하여 38건의 고형시료를 분석한 결과 44.8%(17건)가 석면이 아닌 것으로 판명되었으며 1건(2.6%)은 유리섬유로 확인되었다. 천장재는 15건 중에서 백석면이 11건(73.3%)으로 가장 많았으며 석면함유량은 백석면이 3~15%, 투각섬석이 3~5%로 분석되었다. 벽면재는 5건 중 백석면이 1건(20%) 검출되었으며, 석면 함유량은 7~10%이었다. 배관재는 유리섬유가 검출되었고, 바닥재는 석면이 검출되지 않았다. 아파트의 베란다보드는 3건 모두 백석면을 3~10% 함유하고 있었으며, 주택의 지붕재로 널리 알려진 슬레이트도 시료의 80%가 백석면이었고 석면의 함유량은 3~20%이었다(Table 1).

Table 1. Asbestos types and contents in bulk samples

(Unit : No. of detected sample for asbestos)

Asbestos types	Ceiling textile(%)	Wall (%)	Duct (%)	Floor (%)	Veranda board(%)	Roofing (%)	Total (%)
Chrysotile	11(73.3)	1(20.0)	-	-	3(100.0)	4(80.0)	19(50.0)
Content(%)	3~15	7~10	-	-	3~10	3~20	
Tremolite	1(6.7)	-	-	-	-	-	1(2.6)
Content(%)	3~5	-	-	-	-	-	
Glass fiber	-	-	1(16.7)	-	-	-	1(2.6)
Content(%)	-	-	>95	-	-	-	
N.D*	3(20.0)	4(80.0)	5(83.3)	4(100.0)	-	1(20.0)	17(44.8)
Total	15(39.4)	5(13.2)	6(15.8)	4(10.5)	3(7.9)	5(13.2)	38(100.0)

*N.D : Non detection

2. 공기 중 석면 노출 농도

1) 석면함유자재별 석면 노출 농도

우리나라 석면에 대한 기준은 산업안전보건법(노출기준)에서 0.1 f/cc 다중이용시설 등의 실내공기질관리법(권고기준)에서 0.01 f/cc로 규정하고 있으나 석면 해체·제거 시에 대한 기준 적용이 불명확하여 본 연구는 근로자 건강보호 차원에서 노동부의 노출기준을 적용하여 초과여부를 판단하였다. 석면 해체·제거 시 공기 중 석면의 평균 노출농도는 0.007 f/cc이었으며 범위는 0.001~0.34 f/cc로 노출기준을 초과하는 시료가 14.6%(12건)이었고, 2배 이상 초과하는 시료도 8건(9.8%)이 있었다. 한편, 천장재를 해체·제거할 때 모든 시료가 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다.

석면함유자재별로는 천장재인 텍스 해체·제거 시 평균 농도가 0.016 f/cc(0.001~0.34 f/cc)로 통계적으로 유의하게 높

았다($p<0.01$). 그 다음 순으로 베란다보드의 평균농도는 0.01 f/cc, 화장실 천장재인 석면시멘트판(밤라이트)는 0.006 f/cc, 주택의 지붕재로 사용되었던 슬레이트를 해체·제거하는 경우는 0.002 f/cc이었으며 모두 노출기준 미만으로 나타났다(Table 2).

2) 해체방법별 석면 노출 농도

석면 해체 방법은 원형 그대로 제거하는 방법, T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법, 고정틀을 잡아당겨서 제거하는 방법으로 구분할 수 있었다. 해체방법별 석면농도는 T자형 도구로 깨뜨려 제거하는 경우의 기하평균이 0.061 f/cc로 통계적으로 다른 방법에 비해 유의하게 높은 결과를 보였고($p<0.01$), 노출기준 초과도 모두 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 경우가 해당되었다. 한편, 원형상태로 제거하는 방법의 평균농도는 0.003 f/cc, 고정틀을 잡아 당겨서 전체가 바닥에 떨어지게 하여 제거하는 경우 0.002 f/cc이었으며

Table 2. Airborne asbestos concentrations by asbestos containing materials

Asbestos containing materials	N*	Asbestos concentrations [†]			No. of samples over KOEL [‡]
		GM(f/cc)	GSD	Range(f/cc)	
Textile	41	0.016**	7.537	0.001~0.340	12
Cement Flat Board	10	0.006	1.579	0.004~0.012	0
Slate	24	0.002	1.956	0.001~0.010	0
Veranda board	7	0.101	1.626	0.005~0.017	0
Total	82	0.007	5.831	0.00~10.340	12

*N : Number of samples

**p < 0.01

GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

[†]KOEL : Korean Occupational Exposure Limit

[‡]Airborne asbestos concentrations were analyzed by PCM

Table 3. Airborne asbestos concentrations by abatement methods

Abatement methods	N*	Asbestos concentrations [†]			No. of samples over KOEL [‡]
		GM(f/cc)	GSD	Range(f/cc)	
Break using a T type tool and removal	24	0.061**	4.429	0.004~0.340	12
Pull a fixed mold and removal	14	0.002	1.744	0.001~0.006	0
Removal with the original state	44	0.003	2.630	0.001~0.017	0
Total	82	0.007	5.831	0.001~0.0340	12

*N : Number of samples

**p < 0.01, GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

[†]KOEL : Korean Occupational Exposure Limit

[‡]Airborne asbestos concentrations were analyzed by PCM

노출기준 초과는 없었다(Table 3).

3) 건물형태별 석면 노출 농도

건물형태별로는 상가에서 석면을 해체·제거하는 경우 평균농도가 0.042 f/cc로 다른 건물에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며($p < 0.05$), 시료 27건 중 44.4%(12건)가 노출기준을 초과하고 있었다. 주택은 학교와 같은 수준인 0.002 f/cc로 가장 낮게 노출되고 있었다(Table 4).

3. 공기 중 석면농도에 영향을 미치는 요인

해체방법과 석면농도와의 관련성을 확인하기 위하여 해체방법을 독립변수로 하고 고정틀을 잡아 당겨서 제거하는 방법을 기준으로 하였을 때 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법이 농도에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 분석되었다(Table 5).

건물형태와 공기 중 석면농도의 관련성에서는 주택에 비

Table 4. Airborne asbestos concentrations by building types

Building types	N*	Asbestos concentrations [†]			No. of samples over KOEL [‡] (%)
		GM(f/cc)	GSD	Range(f/cc)	
Store	27	0.042**	6.088	0.001~0.340	12
Apartment	17	0.008	1.675	0.004~0.017	0
School	14	0.002	1.744	0.001~0.006	0
House	24	0.002	1.956	0.001~0.010	0
Total	82	0.007	5.831	0.001~0.0340	12

*N : Number of samples

**p < 0.01, GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

†KOEL : Korean Occupational Exposure Limit

‡Airborne asbestos concentrations were analyzed by PCM

Table 5. Relationship between abatement methods and airborne asbestos concentrations

Variables	DF*	β	SE**	Chi-Square	p-value
Break using a T type tool and removal	1	3.7795	0.01612	549.78	<0.001
Removal with the original state	1	0.5479	0.1742	9.89	0.0017
Pull a fixed mold and removal					
Scale	0	1.0000	0.0000		

*DF : Degree of Freedom, **SE : Standard Error

Table 6. Relationship between building types and airborne asbestos concentrations

Variables	DF*	β	SE**	Chi-Square	p-value
Store	1	3.8791	0.1373	797.88	<0.0001
Apartment	1	1.3463	0.1591	71.58	<0.0001
School	1	0.2136	0.2101	1.03	0.3095
House					
Scale	0	1.0000	0.0000		

*DF : Degree of Freedom, **SE : Standard Error

IV. 고 찰

하여 상가와 아파트에서 해체 · 제거 작업을 하는 경우가 공기 중 석면농도에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다($p<0.01$), (Table 6).

석면함유자재와 공기 중 석면농도와의 관련성에서는 베란다보드에 비해 텍스와 슬레이트를 해체 · 제거하는 경우가 통계적으로 석면 농도에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다($p<0.01$), (Table 7).

비교군이 형성되지 않은 건물형태별 분석을 제외하고 석면함유자재와 해체방법을 독립변수로 하여 포아송 회귀분석으로 다변량 분석을 실시한 결과 석면함유자재가 통제된 상태에서 해체방법별 공기 중 석면농도와의 관련성 분석에서는 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법이 통계학적으로 유의하게 높은 결과를 보여 공기 중 석면농도에 가장 영향을 미치는 요인으로 분석되었다($p<0.01$), (Table 8). 한편, 해체방법이 통제된 상태에서 텍스를 해체 · 제거하는 경우 공기중 석면농도와 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다.

본 연구는 석면해체 · 제거 건물 13개소(아파트 3개소, 학교 3개소, 상가 4개소, 단독주택 3개소)에서 고형시료 38건을 채취한 결과 19건(50.0%)이 백석면, 1건(3.3%)이 투각섬석으로 확인되었으며, 천장텍스의 경우 73.3%가 백석면으로 분석되어 우리나라 건축재에 사용한 석면의 대부분이 백석면임을 확인할 수 있었다. 최충곤 등(2002)의 연구에서도 대학병원을 대상으로 해체 건물의 슬레이트, 단열재, 방수시트, 석고보드, 벽면타일, 콘크리트, 배관보온재 및 폴리우레탄수지 등 8가지 고형시료에서 모두 백석면이 확인되었으나 배관보온재에서는 청석면과 유리섬유도 함께 확인되었다고 한다. 또한 대상의 차이는 다소 있지만 지하철 역사 내부 공사 시 가스켓, 퇴적분진, 불티방지포, 도포물질, 천장재, 보호구 필터, 부직포, 보온재 등의 고형시료 분석결과 44건 중 27건(93.1%)이 백석면이었고, 2건(6.9%)은 투각섬석, 천장재는 분석 결과 50%가 백석면으로 나타나 본 연구와 유사한 결과

Table 7. Relationship between asbestos containing materials and airborne asbestos concentrations

Variables	DF*	β	SE**	Chi-Square	p-value
Textile	1	1.8746	0.1147	267.12	<0.0001
Cement Flat Board	1	-0.4793	0.1653	8.41	0.0037
Slate	1	-1.5999	0.1770	81.67	<0.0001
Veranda board			Reference group		
Scale	0	1.0000	0.0000		

*DF : Degree of Freedom, **SE : Standard Error

Table 8. Factors affecting airborne asbestos concentrations

Variables	DF*	β	SE**	Chi-Square	p-value
Break using a T type tool and removal	1	3.9404	0.1612	597.42	<0.0001
Removal with the original state	1	1.3227	0.1956	45.74	<0.0001
Pull a fixed mold and removal			Reference group		
Textile	1	-0.0636	0.1595	0.16	0.6899
Cement Flat Board	1	-2.2845	0.1944	138.09	0.0037
Slate	1	-1.5999	0.1770	81.67	<0.0001
Veranda board			Reference group		
Scale	0	1.0000	0.0000		

*DF : Degree of Freedom, **SE : Standard Error

를 보였다(유찬영 등, 2002). 또한, 석면 함유량의 경우 본 연구결과는 천장텍스에서 백석면 3~15%, 투각섬석 3~5%로 분석되었으며, 슬레이트에서 3~20%, 베란다 보드에서 3~10%, 벽면재에서 7~10%의 백석면이 검출되었다. Robert 등(2007)의 연구에서도 건물의 해체 작업 시 석고보드에서 2~8%, 바닥재에서 2~3%, 천장재에서 5%의 백석면이 조사되어 석면의 함유율은 어느 정도 유사함이 확인되었으나 정부가 2003년 금지물질로 규정한 투각섬석이 발견된 점과 문지영과 김현욱(1994)이 연구한 서울 시내 일부 주차장의 천장재에서 청석면 30%, 직섬석 1%가 확인된 점을 감안할 때 석면의 종류와 함유량은 명확히 파악할 필요가 있다고 판단된다.

일반적으로 석면분석에 사용되는 위상차현미경은 저렴하고 신속히 분석할 수 있다는 장점으로 석면 해체·제거 시료에 많이 활용되지만 석면과 비석면을 구분할 수 없고 직경이 $0.25\ \mu\text{m}$ 의 섬유는 계수되지 않는다는 단점이 있다. 따라서 위상차 현미경으로 도출된 결과를 국내 근로자 건강보호를 위한 노출기준인 $0.1\ \text{f/cc}$ 에 그대로 적용하여 해석하는 데에는 다소 무리가 있을 수 있다. 건물 해체·제거 시 공기 중 평균 석면농도는 $0.007\ \text{f/cc}$ ($0.001\sim0.34\ \text{f/cc}$)이었고 전체 82건 중 14.6%(12건)가 노출기준을 초과하고 있었다. 병원 건물 해체·제거 작업 시 공기 중 석면의 평균 농도는 $0.053\ \text{f/cc}$ ($0.002\sim0.419\ \text{f/cc}$)로 본 연구결과에 비해 다소 높은 수준이었다(최충곤 등, 2002). 그 원인은 병원의 경우 중앙집중식 냉난방설비가 있어 석면단열재가 사용되고 백석면으로 확인된 방수시트 석고보드, 벽면타일, 콘크리트 등 다양한 공간에 석면 소재가 광범위하게 사용되었기 때문으로 해석된다. 또한, 유찬영(2002)의 연구에서는 서울시 지하철 역사 내부 설비공사 시 석면농도 기하평균은 $0.0038\ \text{f/cc}$ ($0\sim0.052\ \text{f/cc}$)로 본 연구보다 낮게 나타났는데, 이는 장소의 차이는 물론 해체·제거작업이 아닌 설치 조립작업으로 공기 중 발생이 적었기 때문으로 추측된다. 한편 호텔건물 해체 작업자들의 공기 중 농도는 $0.0066\sim0.14\ \text{f/cc}$ (Robert 등, 2007), 학교 바닥타일 제거 시 $0.027\ \text{f/cc}$ ($0.009\sim0.076\ \text{f/cc}$), $0.014\ \text{f/cc}$ ($0.006\sim0.055\ \text{f/cc}$)로 본 연구결과에 비해 다소 낮은 수준으로 검출되었는데 이는 국외의 경우 석면 해체·제거 작업방법 등의 규제가 국내에 비해 다소 엄격하기 때문인 것으로 추측된다(John, 2002). 이렇듯 향후 석면 해체·제거 매뉴얼을 제·개정할 때 보다 장소적 특성을 구체화하여 가급적 공기 중 비산을 저감하기 위한 노력이 필요하며 최소한의 근로자 건강보호를 위하여 석면 해체·제거와 관련된 보호구 착용은 선진외국과 같이 석면농도 등의 개입된 보호계수 등을 감안해서 차별화되어야 할 것으로 보인다.

유성환(1993)의 연구에 의하면 glove box 내에서 건축자재

별로 5분간 슛돌차로 연삭하여 분쇄되어 발생하는 농도를 천장재($1.71\ \text{f/cc}$), 벽·칸막이($0.21\ \text{f/cc}$), 지붕($0.184\ \text{f/cc}$), 천장텍스($0.11\ \text{f/cc}$), 바닥용($0.09\ \text{f/cc}$)순으로 보고하였다. 이는 본 연구에서도 천장텍스를 해체·제거하는 경우 발생하는 석면의 노출농도가 가장 높게 나타난 것을 간접적으로 증명해주는 자료라 하겠다. 다만, 농도의 차이는 실험실은 좁은 공간에서의 발생량 중 상당량이 포집되었기 때문에 상대적으로 더 높았던 것으로 해석된다.

국내 건물 철거는 일반적으로 기계적 방법의 압쇄 공법인 회전식 분쇄기, 고정식 분쇄기, 굴삭기에 의해 이루어지고, 단순노무자의 손에 의해 해체방식으로 시행하고 있어 근로자의 석면노출이 문제가 될 수 있다(최충곤, 2002). 본 연구의 해체방법별 분석결과 T자형 도구로 깨뜨려 제거하는 방법의 평균농도가 $0.061\ \text{f/cc}$ 로 원형 그대로 제거하는 방법(평균농도 $0.003\ \text{f/cc}$), 고정틀을 잡아당겨서 제거하는 방법(평균농도 $0.002\ \text{f/cc}$)에 비해 통계적으로 유의하게 높은 결과를 보였다($p<0.01$). 또한 노출기준 초과도 모두 T자형 도구로 깨뜨려 제거하는 경우에서 발생하였다. 이는 고정틀을 잡아당기면 전체가 일시에 내려앉아 압력 때문에 분진발생은 많고 텍스 자체의 파손은 적지만 T자형 도구를 이용하였을 경우에는 텍스를 깨뜨려 제거하게 되므로 석면 발생량이 많아지기 때문으로 판단된다. 따라서 산업안전보건법의 석면 해체·제거 작업 시의 조치에 물리적으로 깨는 작업방법에 대한 규제는 신설될 필요가 있을 것으로 보인다. 건물형태별로는 상가에서 채취한 시료의 평균농도가 $0.042\ \text{f/cc}$ 로 아파트, 학교, 주택에 비해 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.01$). 상가는 주로 천장텍스가 사용되었고 비닐보양작업으로 밀폐가 완벽한 상태에서 T자형 도구를 이용하여 충격을 가하여 제거하였기 때문에 석면 비산량이 많았던 것으로 추정된다.

공기 중 석면농도에 영향을 미치는 요인을 파악한 결과 해체방법별로는 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법이($\beta: 3.7795$) 고정틀을 잡아 당겨서 제거하는 방법보다 높게 나타나 공기 중 석면 노출 농도에 많은 영향을 주는 것으로 확인되었다. 또한, 건물형태별로는 상가와 아파트에서 해체·제거하는 경우가 석면농도에 영향을 주는 요인으로 파악되었고, 석면함유자재와 공기 중 석면농도와의 관련성 분석에서는 텍스 소재의 β 값이 1.8746으로 텍스를 해체·제거하는 경우가 석면농도에 큰 영향을 미치는 요인으로 분석되었다($p<0.01$). 비교군이 형성되지 않은 건물형태별 분석을 제외하고 해체방법과 석면 함유자재가 공기 중 석면농도에 미치는 영향에 대한 다변량 분석결과 석면함유자재가 통제된 상태에서 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법이 공기 중 석면농도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

V. 결 론

본 연구는 석면 해체 · 제거 작업자들의 석면 노출 수준을 파악하고 그 영향요인을 조사하기 위하여 대구 지역에 소재한 석면해체 · 제거 작업장 13개소를 대상으로 4개월간 현장 조사를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

1. 석면함유자재에 대한 고형시료 분석결과, 38건 중 19건 (50.0%)이 백석면으로 나타났으며, 함유량은 3~20% 수준이었고 투각섬석이 천장소재에서 3~5% 수준으로 1건이 검출되었다.

2. 석면 해체 · 제거 작업 시 석면의 평균 노출농도는 0.007 f/cc(범위 0.001~0.34 f/cc)로 우리나라 노출기준을 초과하는 경우가 14.6%(12건)이었으며 노출기준을 2배 초과하는 시료도 8건으로 확인되었다.

3. 석면함유자재별로는 텍스 해체 · 제거 시 평균 농도가 0.016 f/cc로 다른 자재에 비해 통계적으로 유의하게 높았고, 해체방법별로는 T자형 도구로 깨뜨려 제거하는 경우의 공기 중 석면 평균농도가 0.061 f/cc로 다른 해체 · 제거 방법에 비해 통계학적으로 유의하게 높았다($p<0.01$). 한편, 건물형태별로는 상가에서 해체 · 제거하는 경우 석면의 평균농도가 0.042 f/cc로 아파트, 학교, 주택에 비해 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.01$).

4. 공기 중 석면농도에 영향을 미치는 요인을 파악한 결과 해체 방법의 하나인 T자형 도구를 이용하여 깨뜨려 제거하는 방법이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다 ($p<0.01$).

이상의 결과로 석면 해체 · 제거 근로자 건강보호를 위해서 공기 중 석면의 노출수준은 파악되어야 하며 노출기준을 초과할 경우 해체 · 제거 작업환경을 개선한 후 작업이 수행되도록 할 필요가 있다. 또한 노출기준 초과 및 공기 중 석면 농도에 가장 큰 영향을 주는 요인이 T자형 도구로 깨뜨려 작업하는 방법인 것으로 나타나 해체 · 제거작업의 조치 규정에 도구를 활용하여 물리적으로 깨는 작업방법은 규제할 필요가 있다고 판단된다.

REFERENCES

노동부a. 석면관리 종합대책, 2007.
 노동부b. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(노동부 고시 제2007-25호) 2007.
 노동부. 산업안전보건법, 2008.
 문지영, 김현욱. 서울 시내 일부 주차장의 공기 중 섬유농도에 영향을 미치는 인자 분석, 한국산업위생학회지.

1994;4(2):157-167
 유성환. 건축재료에서 발생하는 석면입자의 특성 연구. 한국 대기보전학회지. 1993;9(3):191-199
 유찬영, 노재훈, 정호근, 김치년. 서울시 지하철 역사 내부 설비 공사에 따른 석면의 실내공기질 관리 실태. 한국산업 위생학회지. 2002;12(3):178-186
 장승희: 건축물 해체 작업에 따른 석면의 관리실태 연구, 보건학 석사학위논문 서울대학교. 2006(1-26쪽)
 최정근. 백도명, 백남원. 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지. 1998;8(2):242-253
 최충근, 김치년, 임남구, 노영만, 노재훈. 건축물 해체 작업 시 발생하는 석면의 노출 수준. 한국산업위생학회지. 2002;12(3):195-201
 Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services. 2001
 Browne K. The controlled use approach for asbestos-A scientific update on health effect. International conference on asbestos products. Kuala Lumpur, Malaysia. 1991
 Becklake M.R. Asbestos-related diseases of the lung and other organs. Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis, 114: 187-227, 1976
 Camus, M, Siemiatycki J, Meek B.: Nonoccupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer, The new England Journal of Medicine. 1998;338(22):1565-1571
 Environmental Protection Agency(EPA). Method for the determination of asbestos in bulk building materials. 1993
 John H.Lange. Impact of asbestos concentrations in floor tiles on exposure during removal, international journal of environmental health research. 2002.
 Langer A.M, Nolan R.P, Chrysotile : Its occurrence and properties as variables controlling biological effects, Annals Occupational Hygiene. 1994;38(4):427-451
 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): Method 7400 Asbestos and other fibers by PCM. 1993.
 Rappaport S. Assessment of long-term exposures to toxic substances. Ann Occup Hyg. 1991;35:61-121
 Robert A. Perkins, John Hargesheimer, and Walter Fourie : Asbestos Release from whole-building Demolition of Buildings with Asbestos-Containing Material, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2007;4:889-894