

A study on the survey and reduction of indoor asbestos concentration

실내의 석면농도 실태 조사 및 저감에 관한 연구

Byong-Won Seo · Ju-Hwa Lee · Jihoon-Park · Seon-Hong Kang*

서병원 · 이주화 · 박지훈 · 강선홍*

광운대학교 환경공학과

Abstract : The research on the actual condition of indoor asbestos concentration in Korea has not been thoroughly accomplished up to now. In this research the ratio of asbestos-containing buildings and indoor asbestos concentration was studied. This investigation was conducted in 2012 and 2013 and buildings were categorized based on region, building type by use, existing space(ground or basement), and construction year, respectively. Also the indoor asbestos concentration change was monitored to evaluation the efficiencies of two types of asbestos-concentration abatement devices.

As a result, the ratio of asbestos-containing buildings in Seoul was largely decreased. The ratio of asbestos-containing buildings was higher in hospitals and schools regionally and in ground buildings than in basement. The average indoor asbestos concentrations were 0.0011, 0.0008 piece/cc in 2012 and 2013 investigation, respectively. Those values were much lower than standards(0.01 piece/cc), therefore the threat of indoor asbestos concentration might be negligible. In asbestos-concentration abatement experiments, the circulation velocity of ventilator were changed 2-6.7 m/sec. With 6.7 m/sec of velocity of ventilator, the concentration of indoor asbestos was fluctuated and maximum value was 2.4 piece/cc. With 4.5 and 2 m/sec of velocities of ventilator, the maximum concentration of indoor asbestos was fluctuated and maximum value was 0.9 piece/cc. This indicated that the concentration of indoor asbestos was decreased partly due to the free drop of asbestos. From these results, the proper velocity of ventilator seems to be between 4.7 and 6.5m/sec under this circumstance and further research is required. These research results may be used to guideline of asbestos management policy.

Key words : asbestos, indoor asbestosis concentration, asbestos-containing materials, real condition study, suction devices

주제어 : 석면, 실내석면농도, 석면건축자재, 실태조사, 음압기

1. 서론

석면(asbestos)은 광물학적 넓은 의미로는 석면형태(asbestiform)의 결정습성(crystal habit)을 보이는 규산염 광물을 총칭하는 용어로, 가늘고 긴 섬유 및 섬유다발의 형태를 띠고, 유연성과

높은 난연성, 내화학적, 열 전기 절연성 등이 높고 유용한 물성을 보여 여러 가지 상업적인 용도인 직물, 종이, 페인트, 브레이크라이닝, 타일, 시멘트 건축자재 등으로 쓰이고 있다. 이 중에서도 상업적으로 가장 많이 이용돼 사람에게 노출될 가능성이 높은 여섯 종의 석면의 경우 국내 및 국제적으로 환경보건상 위해가 커 채취 및 사용 등이 규제되고 있다. 우리가 석면이라고 말할 때에는 일

* Received 16 April 2014, revised 01 May 2014, accepted 12 May 2014.

* Corresponding author: Tel : 82-2-940-5075 Fax : 82-2-911-2033 E-mail : seonhong@kw.ac.kr

반적으로 규제적인 의미로서 법으로 사용이 규제되는 여섯 종의 광물을 지칭하며, 광물 분류상으로는 크게 사문석계(serpentines)와 각섬석계(amphiboles) 석면으로 구분된다. 여섯 가지 석면 중 백석면은 사문석계 석면에 속하며, 나머지 다섯 가지 석면은 각섬석계 광물에 속한다.(Clinkenbeard et al., 2002) 상업적 가치가 있는 수준의 대규모 매장에서 주로 사용된 석면의 대부분은 백석면으로, 최근에는 러시아, 캐나다, 중국, 카자흐스탄 등에서 주로 생산되고 있다. 국내에서 지금까지 사용된 석면 또한 대부분 백석면으로 추정되며 갈석면, 청석면, 트레모라이트석면 등의 각섬석계 석면은 드물게 검출된다. 일반적으로 석면을 섬유상 광물이라고 말하지만 광물의 결정습성 중 석면형태(asbestiform)란 여러 가지 섬유형태 중의 하나로, 섬유에 포함되는 보다 좁은 개념의 용어이다. 따라서 섬유상 광물이라고 해서 모두 석면은 아니므로 주의해야 한다. 자연계에서 섬유상 광물은 매우 흔하지만 그 중 석면형태의 광물, 즉 석면은 드물게 발견된다. 각섬석의 경우 지각을 구성하는 광물 중 약 5%를 차지하는 매우 흔한 광물 중 하나이지만, 석면형태를 보이는 각섬석계 석면의 대규모 매장은 매우 드물게 발견된다. 특히 악티노라이트와 트레모라이트 및 안소필라이트는 석면형태 보다는 주로 주상(prismatic)형의 결정습성을 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 모든 악티노라이트, 트레모라이트 또는 안소필라이트가 석면은 아니며, 석면을 지칭할 때에는 반드시 '석면'이라는 말을 붙여 표현한다.(Korea Occupational Safety & Health Agency, 2009)

석면은 난연성, 내마모성 등 특유의 우수한 물리화학적 특성때문에 단열재, 전기절연재, 난연재, 마찰재의 원료 등 매우 다양한 용도로 사용되어 왔다. 특히 20세기 초에 연속으로 석면시멘트판을 제작하는 기계인 핫чек머신이 개발되어 사용되면서 석면은 각종 건축자재 원료로 주로 사용되기 시작하여, 제2차 세계대전을 거치면서 그 사용량과 응용범위를 넓혀왔다. 그러나 1960

년대 이후부터 공기 중 석면에 노출된 사람에게서 석면폐, 중피종, 폐암 등 건강장해 발생 문제가 알려지기 시작하면서 1980년대 초부터 세계적인 석면의 사용량은 급감하였다. 따라서 현재 석면을 사용한 건축자재 등의 제품 생산은 대부분의 선진국에서는 이미 금지되었거나 금지하는 과정 중에 있다. 그러나 최근에도 일부 아시아 개발도상국 등에서는 사용량이 증가 추세에 있어 국제적인 환경보건상의 문제가 되고 있어 왔으나 국내에서는 건축석면에 대한 규제가 2009년부터 시행되어 현재 석면조사가 실시되고 있는 실정으로 현재 석면 농도의 실태 조사가 정확하게 이루어져 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 국내의 미비한 석면농도 실태 조사 및 석면농도 저감에 관한 연구를 진행하여 국내 석면조사·연구의 기초자료로 제시하고자 하였다.

2. 연구내용 및 목적

1977년 WHO 산하 국제암연구소(IARC)에서는 석면을 1급 발암물질로 지정하였으며, 우리나라에서도 노동부고시(제2008-26호)에서 석면을 발암물질로 지정했다. 세계보건기구(WHO)는 1억2500만 명이 직업상 석면에 노출되고 이 가운데 적어도 9만 명이 해마다 석면관련 질환으로 사망하고 있으며, 더불어 비직업적 노출(환경성 노출)로 인한 사망자는 수천 명이 될 것으로 추정하고 있다.(WHO, 2006)

우리나라에서는 1993년부터 2007년 6월까지 석면노출로 인해 암으로 인정받은 근로자수는 총 60명이고, 이 중 50명이 2000년 이후에 발생하였다. 그러나 1970년대 ~ 1990년대에 석면사용이 많았던 우리나라의 경우 2010년 이후 석면관련 질환의 발병이 급증할 것으로 예상되고 있다.(Choi et al., 1998)

2009년 1월부터 일부 예외를 제외하고 0.1 중량%를 초과하는 석면을 함유하는 제품의 제조, 수입, 양도, 제공 또는 사용이 금지되었다. 지

속적으로 관련 규제가 강화됨에 따라 우리나라의 석면사용은 다른 비석면 광물이나 유리섬유, 합성섬유 등 석면 대체물질로 대체되고 있으며, 일반 제조업에서 석면에 노출되는 근로자 수는 크게 줄어들 것으로 예측된다. 그러나 이미 지난 수십년간 생산되고 사용되어온 우리 생활환경 주변의 다양한 형태의 석면함유 제품으로 인해 건축물이나 시설 등의 유지, 보수, 해체, 철거 등 작업 시 석면이 함유된 자재로부터 방출되는 공기 중 석면은 앞으로 발생할 석면노출의 주요 요인이 될 가능성이 매우 크다. 이에 따라 우리나라에서는 2009년 2월 6일 건축물 등의 석면해체·제거 시 근로자를 석면노출로부터 보호하기 위해 산업안전보건법 일부개정법률이 공포되어 2009년 8월 7일부터 시행되고 있으며 현재 2011년 4월 석면안전관리법에 의해 건축물에 대한 석면조사가 단계적으로 이루어지고 있다.(Ministry of Environment, 2011)

이에 본 연구에서는 석면이 함유된 건축물을 건축년도 경과, 건물 유형, 건물공간 위치(지상, 지하 외), 건물유형별(병원, 대형마트 외)로 구분하여 실내 석면 실태조사를 진행하였고 두 가지 형태의 기기(석면포집처리가 가능한 필터를 장착한 기기들)를 이용하여 실내의 석면 농도를 측정함으로써 시간 경과에 따른 실내 석면농도 변화를 관찰하였다.

3. 연구 방법

3.1 석면 실태 조사

본 연구에서 석면농도에 대한 실태조사는 수도권 및 기타 지역의 건물을 대상으로 하여 2012년과 2013년도의 실태를 서울, 경기, 인천 그 외 기타 지역의 지역별로, 또한 건축물을 실내 주차장, 어린이집, 의료기관, 찜질방, 학교 등 대상시설별로 조사하였으며, 그리고 지하공간과 지상공간으로 공간별 및 건축자재에 대한 규제가 시행된 1999년 이전과 이후로 나눠 건축년도별 실태조사를 실시하였다. 2012년도에는 총

148개의 건축물에 대해서, 그리고 2013년도에는 총 158개의 건축물에 대해서 조사를 실시하였다. 건축자재의 석면함유에 대한 분석방법은 실내공기질 공정시험기준을 이용하여 고형 석면 분석방법인 편광현미경을 이용한 분석방법으로 진행하였으며 석면자재의 유·무에 대한 판단기준의 분석만 진행하였다. Fig 3.1에서는 건축자재에 대한 시료채취 작업현장 모습을 나타내었다. 시료채취를 위해 개인보호구를 착용하였고, 부스리기 등의 처리를 위해 채취 지점 아래에 비닐을 설치하였다. 시료표면을 물기로 적신 다음 시료를 채취하여 지퍼백에 넣은 후 밀봉하였고, 물티슈 등을 사용하여 시료채취 도구를 닦았다. 시료 채취 지점은 스프레이 접착제나 실리콘 등을 이용하여 보수하였고 보호복 및 오염제거에 사용한 물티슈 등은 석면 쓰레기 용기에 보관 후 처리하였다.



Fig 3.1. Photo for the sampling of construction material.

3.2 석면 저감 연구

실내석면농도의 저감을 위한 실험에서는 석면 조사 후 철거가 확정된 건물의 지상 1층에서 같은 크기의 건물 공간 3곳을 사용하였다. 각 공간의 크기는 3.5 m(가로)×9.0 m(세로)×2.5 m(높이)(약10평)이었다.

본 연구에서의 실험장치는 1)실내공간에서의 석면의 농도를 균질하게 하기 위한 선풍기, 2)석

면 농도를 측정하기 위한 석면포집기, 3)실내의 석면농도를 감소시키기 위한 음압기의 세 파트로 구성되어 있다. 실내의 석면농도는 실내공기질 공정시험기준 및 산업안전관리공단에서 권고하고 있는 위상차현미경을 이용하여 분석하였다.

다음 Fig 3.2에서는 석면조사 대상 건물의 평면도를 나타내었다. 사용된 기기들의 효율을 비교하기 위하여 같은 크기의 공간 3곳을 사용하였고 음압기와 석면포집기의 위치를 동일 조건으로 하였다.

위의 Fig 3.3은 비닐로 밀폐한 공간을 찍은 사진으로서 천정 텍스를 제외하고 바닥면까지 비닐로 밀폐하여 석면 노출에 대한 2차 오염을 방지 하였으며 연구 종료 후에는 석면해체 작업규

정에 따라서 처리를 시행하였다. Fig 3.4는 석면을 비닐로 밀폐 처리 후 시료를 채취하는 사진으로서 공간 중앙 지점에 시료채취 장비를 배치하여 시료 채취 진행하였는데 석면포집위치는 지상에서 1.5 m이었다.

장비의 위치 선정은 공간 (석면의 벽면 흡착 외) 영향을 최대한 받지 않도록 중앙에 배치하여 연구 진행하였으며 시료채취 시에는 기기의 가동은 중지하여 시료채취에 영향이 없도록 하였다. 실내의 석면농도를 감소시키기 위해서는 2종류의 음압기를 이용하였다. 2종류의 음압기 모두 석면제거필터(HEPA)를 장착하였다. 기기 A는 이투스산업환경의 AirZone-2201 모델이고, 기기B는 크린에어테크의 ND-50 모델이었다. 기기A의 용량은 68 m³/min이었고, 기기B의 용량은 13 m³/min이었다.

본 연구에서 사용한 HEPA(High Efficiency Particulate Arrestor)필터는 0.35 μm DOP(DI-Octyl-Phtalate)를 통과시킬 때 석면을 99.97 % 제거할 수 있는 필터로서, HEPA 필터를 장착한 기기의 용량에 따른 석면제거 효율을 비교하고 시간 경과에 따른 석면의 농도 변화를 연구하고자 하였다. HEPA 필터를 장착한 음압기는 5 μm 이하 입자를 걸러주는 전처리필터 1 ~ 2개와 HEPA필터 공기를 흡인해 주는 송풍기로 구성되어 있다.

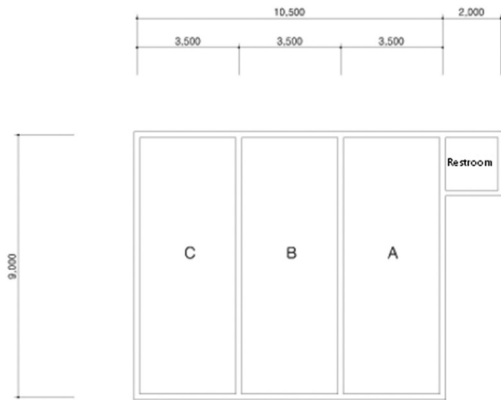


Fig 3.2. Building plan.



Fig 3.3. Photo of vinyl seal.



Fig 3.4. Photo for asbestos sampling.

실험에 사용한 석면은 공업용을 사용하였으며 구입한 제품의 석면 함유율은 중량비로 20 % 이었다. 석면 누출 방지를 위하여 철저히 비닐로 밀폐한 후 인위적으로 석면함유율이 20 %인 석면화합물 20 g을 음압기 앞에서 분산시키고 공간내에서 균질한 농도를 유지시키기 위하여 선풍기를 이용하여 공기 대류를 유도하였다. 실내의 석면농도를 측정하기 위하여 선풍기 유속을 달리 하면서 3차례 실험을 실시하였다. 선풍기는 유속을 저속(2 m/sec), 중속(4.7 m/sec), 고속(6.5 m/sec)로 나누어 사용하였다.

이때 시료는 맨 처음에는 70분간 선풍기 앞에서 비산시켜 10평 공간에서 최대한 석면 시료가 균질한 농도를 갖도록 하였고 그 이후부터는 30분간씩 선풍기를 가동하였다. 공기중의 석면 시료는 시료채취시마다 10분간 포집하였다. 선풍기의 유속을 변화시키면서 총 3회 공기중 석면 시료를 샘플링하였고 그 농도를 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 석면함유 자재 건축물 실태조사

석면에 대한 실태조사를 지역별, 시설별, 공간별, 건축년도별로 나누어 실시하였다. 건축물의 석면함유 실태를 2012년과 2013년 두 차례에 걸쳐 서울, 경기, 인천 그 외 기타 지역의 지역별로, 또한 건축물을 실내주차장, 어린이집, 의료기관, 찜질방, 학교 등 대상시설별로 조사하였으며, 그리고 건축물의 위치를 지하공간과 지

상공간의 공간별로 나누어서도 조사하였다. 또한 고용노동부에서 산업안전보건법 시행령을 개정하여 제조 등 금지 유해물질에 석면의 함유율이 1 %를 초과하면 제재하는 항목을 추가하였던 1999년을 기준으로 하여 건축설립년도별로 실태 조사한 후 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 지역별 실태조사

지역별 석면함유율을 조사하기 위하여 서울, 경기지역, 인천지역 및 기타 지역으로 구분하여 실태조사를 실시하였고 그 결과를 Table 4.1과 Fig 4.1에 나타내었다.

Table 4.1과 Fig 4.1에 의하면, 2012년의 석면실태 조사에서 148개 대상 건축물 중에서 석면 건축자재의 비율이 서울의 경우 16.7 %, 경기지역의 경우 23.1 %, 인천지역의 경우 24.2 %, 그리고 기타 지역의 경우 48.9 %이었고 전국 평균은 30.4 %로 나타났다. 조사결과 기타지역 > 인천지역 > 경기지역 > 서울지역으로 석면건축자재를 덜 사용하였음을 알 수 있었다. 2013년의 석면실태 조사에서는 158개 대상 건축물 중에서 석면 건축자재의 비율이 서울의 경우 19.4 %, 경

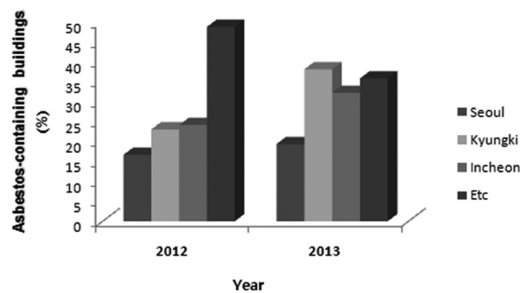


Fig 4.1. Regional comparison of asbestos-containing buildings.

Table 4.1 Survey result for regional asbestos-containing buildings

Item	2012			2013		
	Subjects (number)	Result		Subjects (number)	Result	
		Asbestos(number)	Asbestos(%)		Asbestos(number)	Asbestos(%)
Seoul	18	3	16.7	36	7	19.4
Kyungki	52	12	23.1	68	26	38.2
Incheon	33	8	24.2	15	5	32.3
Etc	45	22	48.9	39	14	35.9
Total	148	45	30.4	158	55	32.9

기지역의 경우 38.2 %, 인천지역의 경우 32.3 %, 그리고 기타 지역의 경우 35.9 %이었고 전국 평균은 32.9 %로 나타났다. 조사결과 경기지역 >기타지역> 인천지역>서울지역으로 석면건축 자재를 덜 사용하였음을 알 수 있었다. 한편, 교육과학기술부가 2007년 전국 유·초·중·고등학교 중 표본학교 100개 교를 선정하여 학교 건축물의 석면사용 실태조사를 실시한 결과에 의하면 표본 학교 100개교 중 88개교에서 석면이 검출되어 88 %의 석면 검출률을 보였고, Shin et al.(2008)이 초등학교 건축물의 석면함유량 실태파악을 위해 1970년대 ~ 1990년대에 지어진 9개의 초등학교 건축물을 대상으로 석면실태 조사를 한 결과에서는 8개 학교에서 석면이 검출되어 89 %의 석면 함유율을 보였다. 위의 두 결과들과 비교하면 2012년과 2013년에 조사한 결과에서는 전국에서의 석면 함유율이 각각 30.4 %와 32.9 %로 나타나서 최근 들어 석면 사용률이 현저히 줄었음을 알 수 있었다.

2) 시설별 실태조사

건축물의 사용용도 유형별 석면함유율을 조사하기 위하여 건축물을 실내주차장, 어린이집, 의료기관, 찜질방 및 학교로 구분하여 실태조사를 실시하였고 그 결과를 Table 4.2와 Fig 4.2에 나타내었다. Table 4.2와 Fig 4.2에 의하면, 2012년과 2013년의 실태조사에서 모두 의료기관과 학교에서의 석면함유 건축물의 비율이 높은 것으로 나타나서 이들 건물들에 대한 각별한

관찰과 주의가 필요함을 알 수 있었다.

3) 공간별 실태조사

건축물의 공간점유 위치에 따른 석면함유율을 조사하기 위하여 건축물을 지상공간과 지하공간으로 구분하여 실태조사를 실시하였고 그 결과를 Table 4.3과 Fig 4.3에 나타내었다. Table 4.3과 Fig 4.3에 의하면, 2012년과 2013년의 실태조사에서 모두 지상공간에서의 석면함유 건축물의 비율이 높은 것으로 나타났다. 사고가 났을 경우를 예상하면 다행히 지상공간에서의 비율이 높아 사고 시 보다 신속한 조치를 취할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 건축년한에 따른 실태조사

건축년한에 따른 석면함유율을 조사하기 위하여 1999년을 기준으로 하여 1999년 이전에 신축된 건축물과 그 이후에 신축된 건축물에 대한 실태조사를 실시하였고 그 결과를 Table 4.4와 Fig 4.4에 나타내었다. 1999년을 기준으로 한 이유는 고용노동부에서 산업안전보건법 시행령을 개정하여 제조 등 금지 유해물질에 석면의 함유율이 1 %를 초과하면 제재하는 항목을 추가하였던 해가 1999이기 때문이었다. Table 4.4와 Fig 4.4에 따르면, 2012년도 조사 결과, 석면자재를 함유한 건물들이 1999년 이전에는 37.9 %를 차지하다가, 1999년 이후에는 24.4 %로 감소하였고, 2013년도 조사에서도 석면자재를 함유한 건물들이 1999년 이전에는 42.9 %를 차지하다가, 1999년 이후에는 27.9 %로 감소하였음

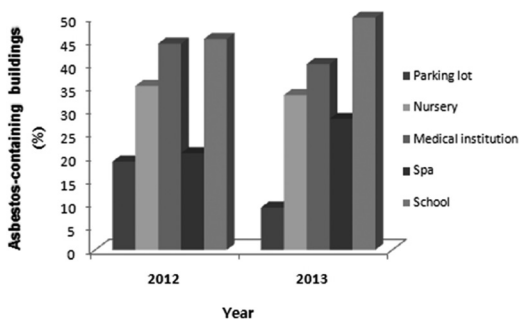


Fig 4.2. The comparison of asbestos-containing buildings by facilities.

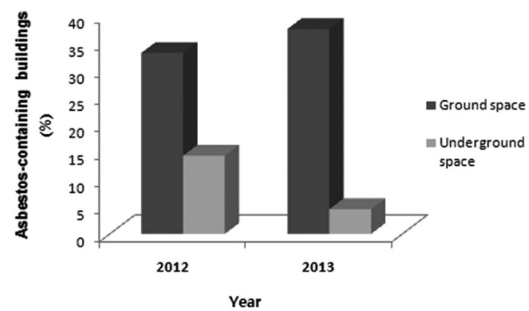


Fig 4.3. The comparison of asbestos-containing buildings by space area.

Table 4.2 Survey result for asbestos-containing buildings by facilities

Item	2012			2013		
	Subjects (number)	Result		Subjects (number)	Result	
		Asbestos(number)	Asbestos(%)		Asbestos(number)	Asbestos(%)
Parking lot	21	4	19,0	22	2	9,1
Nursery	34	12	35,3	45	15	33,3
Medical institution	18	8	44,4	20	8	40,0
Spa	53	11	20,8	39	11	28,2
School	22	10	45,4	32	16	50,0
Total	148	45	30,4	158	52	32,9

Table 4.3 Survey result for asbestos-containing buildings by space area

Item	2012			2013		
	Subjects (number)	Result		Subjects (number)	Result	
		Asbestos(number)	Asbestos(%)		Asbestos(number)	Asbestos(%)
Ground space	127	42	33,1	136	51	37,5
Underground space	21	3	14,3	22	1	4,5
Total	148	45	30,4	158	52	32,9

Table 4.4 Survey result for asbestos-containing buildings by construction year

Item	2012			2013		
	Subjects (number)	Result		Subjects (number)	Result	
		Asbestos(number)	Asbestos(%)		Asbestos(number)	Asbestos(%)
Before 1999	66	25	37,9	54	23	42,6
Since 1999	82	20	24,4	104	29	27,9
Total	148	45	30,4	158	52	32,9

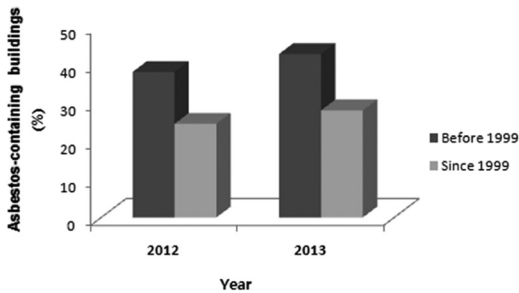


Fig 4.4. The comparison of asbestos-containing buildings by construction year.

을 알 수 있었다. 1999년을 기준으로 그 이후에 석면함유 건축물의 비율이 줄어든 것은 1999년에 산업안전보건법 시행령이 실시되었기 때문인 것으로 사료된다.

4.2 건축물내의 실내공기 중 석면농도 조사

2012년과 2013년에 조사한 건축물들의 실내 공기중에 함유되어 있는 석면의 농도를 조사하였다. 결과를 지역별, 대상시설별, 공간별로 나누어 분석하였고 그 결과는 다음과 같다.

1) 지역별 실내 석면농도조사

2012년도에 총 148개소, 2013년에 총 158개의 건축물에 대한 실내 석면농도를 측정된 평균값을 지역별로 분류하여 Table 4.5에 나타내었다. Table 4.5에 의하면 조사결과 지역별로는 2012년에 경기지역의 찜질방에서 평균 실내 석면농도가 0.0011 개/cc로 조사되었으며(총 3개소에서 검출되었고 농도는 각각 0.0008, 0.0012, 0.0012 개/cc였음) 2013년에는 서울

Table 4.5 The comparison of regional indoor asbestos concentration

Region \ Year	2012	2013
Seoul	Non-detection	0.0008 number/cc
Kyungki	0.0011 number/cc	Non-detection
Incheon	Non-detection	Non-detection
Etc	Non-detection	Non-detection

Table 4.6 The comparison of indoor asbestos concentration by facilities

Region \ Year	2012	2013
Parking lot	Non-detection	0.0008 number/cc
Nursery	Non-detection	Non-detection
Medical institution	Non-detection	Non-detection
Spa	0.0011 number/cc	Non-detection
School	Non-detection	Non-detection

지역의 실내주차장에서 0.0008 개/cc(1개소에서 검출되었음)로 미량 검출되었다. 이는 Table 4.1에 제시했던 2012년과 2013년에 조사한 건축물 석면 함유율 결과인 30.4 %와 32.9 % (전국 평균)와 비교하여 보면, 비록 석면이 함유된 건축물이더라도 그 안의 실내 석면농도는 기준치인 0.01 개/cc 보다 훨씬 낮은 농도이어서 석면에 의한 실내 공기질 위험은 그다지 크지 않다고 사료된다.

2) 대상시설별 실내 석면농도조사

2012년도에 총 148개소, 2013년에 총 158개의 건축물에 대한 실내 석면농도를 측정된 결과를 대상시설별로 분류하여 Table 4.6에 나타내었다. Table 4.6에 의하면 조사결과 대상시설별로는 2012년에 찜질방에서 평균 실내 석면농도가 0.0011 개/cc로 조사되었으며 2013년에는 서울지역의 실내주차장에서 0.0008 개/cc로 미량 검출되었다. 이는 Table 4.1에 제시했던 2012년과 2013년에 조사한 건축물 석면 함유율 결과인 30.4 %와 32.9 % (전국 평균)와 비교하여 보면, 비록 석면이 함유된 건축물이더라도 그 안의 실내 석면농도는 기준치인 0.01 개/cc 보다 훨씬

Table 4.7 The comparison of indoor asbestos concentration by space

Region \ Year	2012	2013
Underground space	Non-detection	0.0008 number/cc
Ground space	0.0011 number/cc	Non-detection

Table 4.8 The comparison of indoor asbestos concentration by construction year

Region \ Year	2012	2013
Before 1999	0.0012 number/cc	Non-detection
Since 1999	0.0008 number/cc	0.0008 number/cc

낮은 농도이어서 석면에 의한 실내 공기질 위험은 그다지 크지 않다고 사료된다.

3) 공간별 실내 석면농도조사

2012년도에 총 148개소, 2013년에 총 158개의 건축물에 대한 실내 석면농도를 측정된 결과를 공간별로 분류하여 Table 4.7에 나타내었다. Table 4.7에 의하면 조사결과 대상시설별로는 2012년에 지상공간인 찜질방에서 평균 실내 석면농도가 0.0011 개/cc로 조사되었으며 2013년에는 지하공간인 실내주차장에서 0.0008 개/cc로 미량 검출되었다.

4) 건축년한에 따른 실내 석면농도조사

건축년한에 따른 실내 석면농도 차이를 파악하기 위하여 2012년도에 총 148개소, 2013년에 총 158개의 건축물에 대한 실내 석면농도를 측정하였다. 2012년도 조사에서는 1997년에 건립된 건물 한 곳에서 0.0012개/cc, 1998년에 건립된 건물 한 곳에서 0.0012개/cc, 2005년에 건립된 건물 한 곳에서 0.0008개/cc의 석면농도가 검출되었고, 2013년도 조사에서는 2003년에 건립된 건물 한 곳에서 0.0008개/cc의 석면농도가 검출되었다. Table 4.8에는 측정된 석면의 평균농도를 나타내었다. 2013년도 조사에서는 1999년 이전에 신축된 건물에서는 불검출, 1999년 이후에 신축된 건물에서는 0.0008개/cc의 석면농도가 검출되었다. 그러나 측정된 농

도 모두 기준인 0.01개/cc에는 훨씬 못 미쳐서 인체에 미치는 영향은 미미할 것으로 사료된다.

4.3 석면농도 저감에 대한 연구 결과

석면농도의 저감을 위한 실험에서는 약10평의 동일한 공간(부피는 78.75 m³)에 대해 석면화합물 20 g을 선풍기 앞에서 비산시켰다. Table 4.9의 조건에 따라 총 9회의 시료를 채취하였다.

Case 1 실험에서는 자연낙하를 방지하기 위하여 다른 조건은 동일하게 한 상태에서 선풍기의 유속을 6.5 m/sec로 하였고 그 결과를 Table 4.10과 Fig 4.5에 나타내었다. Table 4.10과 Fig 4.5에 의하면, 음압용량이 상대적으로 적은 음압기기 B를 사용했을 때에는 석면 농도가 시간의 경과에 따라 감소함이 관찰되었지만, 음압용량이 상대적으로 높은 음압기기 A를 사용했을 때에는 석면 농도측정값들이 일정한 감소 패턴

이 아니라 시료채취차수에 따른 편차가 큼을 알 수 있었다. 이는 선풍기의 유속이 너무 높으니까 음압기기 A 자체의 흡입 및 발산 속도가 높아서 난류가 발생하여 제대로 실내의 석면이 제거되지 않았기 때문인 것으로 해석된다.

Case 1 실험에서는 선풍기의 유속이 너무 높아서 기기 A와 B의 결과를 제대로 파악하지 못하였다고 판단되어 다음의 Case 2 실험에서는 선풍기의 유속을 4.7 m/sec로 낮추어 시행하였다. 실험 결과는 Table 4.11과 Fig 4.6에 나타내었다. Table 4.11과 Fig 4.6에 의하면, 음압기기 A와 B를 사용했을 경우 모두에서 선형적으로 석면농도가 감소하였고 거의 비슷한 속도로 석면을 제거하는 것으로 보여 졌다. 이번 결과에서는 음압기기 B의 석면 제거속도가 다소 높은 것으로 나타났다. 그 이유로는 아마도 기기 A의 음압용량이 상대적으로 커서 기기 자체의 흡

Table 4.9 Summary of experimental condition

Case	Fan velocity(m/sec)	Initial dispersion time of asbestos(min)	After dispersion time of asbestos(min)	Sampling time(min)
1	6.5	70	30	10
2	4.7			
3	2			

Table 4.10 Variation of asbestos concentration in the Case 1 experiment

Measurement number	Measurement result of Case 1 concentration(number/cc)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	0,950	1,462	0,981	2,078	0,412	0,454	0,098	2,226	0,039
B	-	2,418	1,226	1,034	0,529	0,417	0,039	0,597	0,559

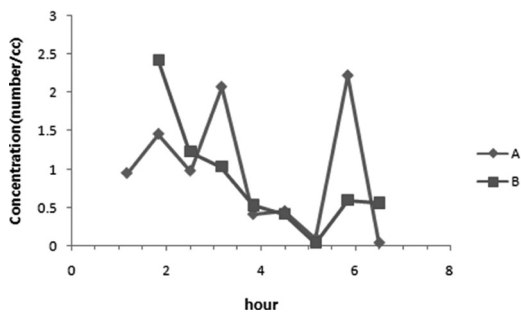


Fig. 4.5. Variation of asbestos concentration in the Case 1 experiment.

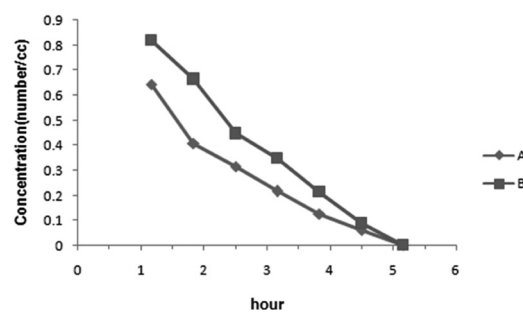


Fig. 4.6. Variation of asbestos concentration in the Case 2 experiment.

Table 4.11 Variation of asbestos concentration in the Case 2 experiment

Measurement	Measurement result of Case 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	0.642	0.407	0.317	0.216	0.125	0.063	0.000	0.000	0.000
B	0.818	0.665	0.447	0.348	0.214	0.088	0.000	0.000	0.000

Table 4.12 Cumulative asbestos removal in the Case 2 experiment

Measurement	Measurement result of Case 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	36.3	59.3	77.2	89.4	96.4	100	100	100	100
B	31.7	57.5	74.8	88.3	96.6	100	100	100	100

Table 4.13 Variation of asbestos concentration in the Case 3 experiment

Measurement	Measurement result of Case 3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	0.637	0.407	0.176	0.147	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.818	0.431	0.332	0.225	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000

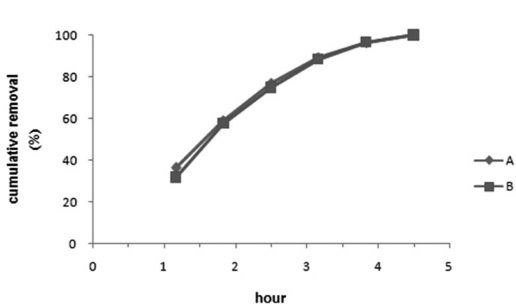


Fig. 4.7. Cumulative asbestos removal in the Case 2 experiment.

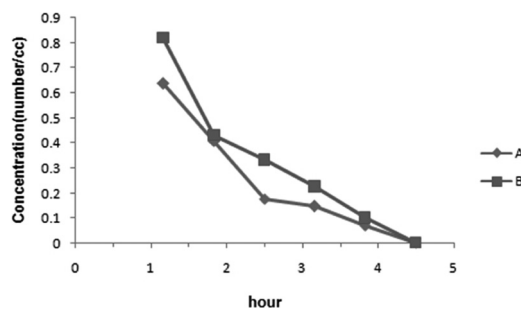


Fig. 4.8. Variation of asbestos concentration in the Case 3 experiment.

입 및 발산 속도가 더 크고 그로 인해 공기 대류 속도가 빨라서 제거 속도가 다소 느리지 않았나 판단된다.

Case 2 실험에 따른 석면의 누적 제거율을 Table 4.12와 Fig 4.7에 나타내었다. Table 4.12와 Fig 4.7에 의하면, 음압기기 A와 B를 사용하였을 때 모두 비슷한 누적제거 양상을 보였고 약 5시간 후에는 실내의 모든 석면이 제거되었음을 알 수 있었다.

Case 3 실험에서는 선풍기의 유속을 2 m/sec로 더 낮추어 진행하였다. 실내 석면의 농

도 변화를 Table 4.13과 Fig 4.8에 나타내었다. Table 4.13과 Fig 4.8에 의하면, 이번에도 음압기기 B의 석면제거속도가 음압기기 A보다 다소 높은 것으로 나타났고 음압기기 A와 B를 사용하였을 경우에는 약 4.5시간 만에 실내의 석면이 모두 제거됨을 알 수 있었다.

Case 3 실험에 따른 석면의 누적 제거율을 Table 4.14와 Fig 4.9에 나타내었다. Table 4.14와 Fig 4.9에 의하면, 음압기기 A와 B를 사용하였을 경우에 약 4.5시간 후에 실내의 석면이 모두 제거됨을 알 수 있었다.

Table 4.14 Cumulative asbestos removal in the Case 3 experiment

Measurement number	Measurement result of Case 3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	44.3	72.7	84.9	95.1	100	100	100	100	100
B	42.9	65.5	82.9	94.7	100	100	100	100	100

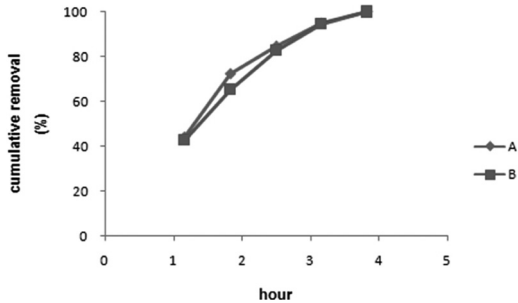


Fig. 4.9. Cumulative asbestos removal in the Case 3 experiment.

이상 Case1부터 Case 3까지의 실험 3회 결과를 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

1. 선풍기의 유속을 가장 세게 6.5 m/sec로 가동시킨 Case 1 실험의 결과에서는 샘플링 중 석면 측정 농도값이 최대 2.4개/cc 까지 검출되고 측정 자료들이 크게 변동이 있어서 석면제거작업이 불안정할 수 있음을 나타내었다.
2. 선풍기 유속을 4.7, 2 m/sec로 변화시킨 결과에서는 비슷한 석면농도 저감양상을 보였다. 그러나 선풍기 유속이 가장 센 6.5 m/sec(Case 1)에서는 초기의 실내석면농도가 2.4개/cc이었던 반면, 선풍기 유속이 4.7, 2 m/sec이었던 Case 2,3에서는 0.9 개/cc이어서 case 2,3에서는 자유 낙하에 의해 실내석면의 농도가 감소하였을 가능성이 크다고 판단된다. 따라서 본 연구와 같은 조건에서의 실내 석면농도를 저감시키기 적합한 선풍기의 유속은 4.7 m/sec와 6.5 m/sec 사이일 것으로 추정되며 추가 실험을 통한 검증이 필요하다.

3. 음압용량이 다른 (68, 13 m³/min) 2가지 음압기기를 사용하여 실험한 결과, 68 m³/min과 13 m³/min의 음압용량을 가진 기기에서 각각 약 5시간과 4.5시간 만에 석면 제거용량을 보였다. 그러나 이 또한 음압기기에 의한 제거뿐 아니라 자유낙하에 의해 실내의 석면농도가 감소하였을 가능성이 크다고 보여 진다.

5. 결론

국내에서는 건축석면에 대한 규제가 2009년부터 시행되었으나 현재 석면 농도의 실태 조사가 정확하게 이루어져 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 석면이 함유된 건축물을 지역별, 건축년도 경과, 건물 유형별, 건물공간 위치(지상, 지하 외) 및 건축년도별로 구분하여 실내 석면 실태조사를 진행하였고 세 가지 형태의 기기(기존공기청정기와 석면포집처리가 가능한 필터를 장착한 기기들)를 이용하여 실내의 석면 농도를 측정함으로써 시간 경과에 따른 실내 석면농도 변화를 관찰 하였다.

1. 석면에 대한 실태조사를 지역별, 시설별, 공간별, 건축년도별로 나누어 실시하였다. 2012년의 석면실태 조사 결과, 148개 대상 건축물 중에서 석면함유 건축자재의 비율이 서울의 경우 16.7 %, 경기지역의 경우 23.1 %, 인천지역의 경우 24.2 %, 그리고 기타 지역의 경우 48.9 %로서 기타 지역 > 인천지역 > 경기지역 > 서울지역으로 석면건축자재를 덜 사용하였음을 알 수 있었다. 2013년의 석면실태 조사에서는 158개 대상 건축물 중에서 석면 건축자재의 비

율이 서울의 경우 19.4 %, 경기지역의 경우 38.2 %, 인천지역의 경우 32.3 %, 그리고 기타 지역의 경우 35.9 %로 나타나서 경기지역 > 기타지역 > 인천지역 > 서울지역으로 석면건축자재를 덜 사용하였음을 알 수 있었다. 그 이전의 검사 결과들과 비교하면 2012년과 2013년에 조사한 결과에서는 최근 들어 석면사용 건축물이 많이 제거되고 또한 석면 사용률이 현저히 줄었음을 알 수 있었다.

2. 2012년과 2013년의 실태조사에서 모두 의료기관과 학교에서의 석면함유 건축물의 비율이 높고, 지상공간에서의 석면함유 건축물의 비율이 높은 것으로 또한 나타났다. 건축년도를 1999년 기준으로 하여 실시한 실태조사에서는 2012년도 조사 결과, 석면자재를 함유한 건물들이 1999년 이전에는 37.9 %를 차지하다가, 1999년 이후에는 24.4 %로 감소하였고, 2013년도 조사에서도 석면자재를 함유한 건물들이 1999년 이전에는 42.9 %를 차지하다가, 1999년 이후에는 27.9 %로 감소하였음을 알 수 있었다. 1999년을 기준으로 그 이후에 석면함유 건축물의 비율이 줄어든 것은 1999년에 산업안전보건법 시행령이 실시되었기 때문인 것으로 사료된다.
3. 2012년도에 총 148개소, 2013년에 총 158개의 건축물에 대한 실내 석면농도를 측정된 결과, 2012년에는 총 3개소에서 검출되었고 농도는 각각 0.0008, 0.0012, 0.0012 개/cc이었다. 2013년에는 1개소에서 검출되었고 그 농도는 0.0008 개/cc로서 극히 미량이었다. 이는 비록 석면이 함유된 건축물이더라도 그 안의 실내 석면농도는 기준치인 0.01 개/cc 보다 훨씬 낮은 농도이어서 석면에 의한 실내 공기질 위험은 그다지 크지 않음을 나타낸다.
4. 선풍기의 유속을 가장 세게 6.5 m/sec로

가동시킨 Case 1 실험의 결과에서는 샘플링 중 석면 측정 농도값이 최대 2.4개/cc까지 검출되고 측정 자료들이 크게 변동이 있어서 석면제거작업이 불안정할 수 있음을 나타내었다.

5. 선풍기 유속을 4.7, 2 m/sec로 변화시킨 결과에서는 비슷한 석면농도 저감양상을 보였다. 그러나 선풍기 유속이 가장 센 6.5 m/sec(Case 1)에서는 초기의 실내석면농도가 2.4개/cc이었던 반면, 선풍기 유속이 4.7, 2 m/sec이었던 Case 2, 3에서는 0.9 개/cc이어서 Case 2, 3에서는 자유 낙하에 의해 실내석면의 농도가 감소하였을 가능성이 크다고 판단된다. 따라서 본 연구와 같은 조건에서의 실내 석면농도를 저감 시키기에 적합한 선풍기의 유속은 4.7 m/sec와 6.5 m/sec 사이일 것으로 추정되며 추가 실험을 통한 검증이 필요하다.

사 사

이 논문은 2014년도 광운대학교 교내학술비 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- Choi, J. K. and Paek, D. M. and Paek, N. W. (1998) The Production, the Use, the Number of Workers and Exposure Level of Asbestos in Korea, *Korean Industrial Hygiene Association*, 8, pp.242-254.
- Carbone, M. and Kratzke, R. A. and Testa, J. R. (2002) The Pathogenesis of Mesothelioma, *Semin Oncol*, 29(1), pp.2-17.
- Clinkenbeard, J. P. and Churchill, R. K. and Lee, K. (2002) Guidelines for Geologic Investigations of Naturally Occurring Asbestos in California, California Department of Conservation, *California Geological Survey*.
- Korea Occupational Safety & Health Agency, Korea (2009) Asbestos Fiber Counting for

- Airborne Samples Using Phase Contrast Microscopy.
- Korea Occupational Safety & Health Agency, Korea (2009) Asbestos Bulk Counting Using Phase Polarization microscope.
- Ministry of Environment, Korea, Asbestos Safety Control Law (2011).
- Ministry of Environment, Korea, Indoor Air Quality Testing Methods and Standards (2010).
- Shin, Y. C. and Son, B. H. and Hong, W. H. (2008) The Investigation on the Actual Conditions of Asbestos Use in Primary School Building Materials, *Architectural Institute of Korea*, **24**(12), pp.287-294.
- WHO(World Health Organization) (2006) Elimination of Asbestos-Related Diseases.