

석면

대한산업보건협회 산업보건환경연구원 / **임성국, 최아름**

서론

허용기준 대상물질 13종 중 석면(Cas No. 1332-21-4, MW=277.13(백석면))은 천연광물로 비금속성이고 섬유형태를 띤 규산마그네슘($Mg_6Si_4O_{10}[OH]$)이 그 주성분이며, 사문석(Serpentine) 계열과 각섬석(Amphiboles) 계열로 크게 나눌 수 있다. 사문석류는 백석면(Chrysotile), 각섬석류는 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite), 트레몰라이트(Tremolite), 악티노라이트(Actinolite), 안소필라이트(Anthophyllite) 등으로 분류하고 있다.¹⁾²⁾

석면은 불연성, 내마모성, 내산성, 내알칼리성, 절연성이 뛰어나지만 아니라 값이 싸기 때문에 슬레이트, 천정재, 벽면재, 보온단열재 등 건축용 자재의 원료와 브레이크 라이닝, 클러치 페이싱 등 자동차 부품에도 쓰이며, 석면방직제품은 실이나 테이프 또는 직포의 형태로 기관이나 배관의 보온단열재로 주로 사용되었다.³⁾

석면 소비에 대한 세계적인 추세는 1940년대부터 소비량이 급격히 증가하여, 1980년대 세계적인 소비량이 최고에 달했다.⁴⁾ 우리나라에서도 1984년까지 석면광산에서 석면을 채굴한 바 있고, 2009년 석면과 석면함유제품의 사용·제조·유통·수입이 전면 금지되기 전까지 약 200만 톤의 석면관련물질이 수입되어 사용된 바 있다.⁵⁾⁶⁾

우리나라의 석면 사용실태의 경우, 1970년대는 약 96%가 건축자재인 슬레이트 원료로 사용 되었으나, 1990년대에는 슬레이트와 보온 단열재 등으로 약 82.3%, 다음으로 많이 사용하는 사업장은 석면 마찰제 생산 사업장으로 자동차와 기차, 중장비용 브레이크 라이닝과 패드, 클러치 페이싱 등에 약 8.5%가 사용되었다. 석면포와 석면사, 석면 패킹 등의 석면 방직에는 약 5.5%가 사용되었으며, 기타 가스켓과

단열제품에 1.5%가 사용되었다.⁵⁾ 노출기준은 우리나라 고용노동부와 ACGIH 모두 0.1 개/cm³로 규정되어 있다.

석면 노출에 의한 건강장해의 대표적인 질환은 석면폐증, 석면에 의한 폐암, 악성 중피종 등이며, 특히 흉막과 복만의 악성 중피종은 대부분 석면에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다.^{7) 8)} 그 외에 확실히 알려진 건강장해는 기관지염, 폐기종, 기관지 확장증, 폐렴, 장관계 암인 위암과 소장, 대장, 직장암 등이다. 이외에도 일부 연구자들은 석면이 유방암, 난소암, 췌장암, 인후두암 등의 암 발생을 비롯하여 기관지 확장증, 기관지염, 폐렴, 무기폐, 늑막염 등의 비악성 질환을 일으키는 물질로 보고되고 있다.⁹⁾ 발암성 구분은 우리나라 고용노동부 1A, IARC에서는 Group 1, ACGIH에서는 A1으로 구분되어 있다.

직업병 발생사례를 살펴보면, 1993년에 우리나라에서 공식적으로 처음 보고된 직업성암으로 석면 방직공장에서 근무한 여성에게 악성 중피종이 발생한 것으로 보고되었다.¹⁰⁾

본 연구에서는 허용기준 대상물질 13종 중 석면의 노출빈도와 높은 농도에 노출되는 업종·공정을 파악하고 국내외 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 근거자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

1. 조사 대상 및 항목

본 연구의 자료출처는 2004-2011년까지 대한산업보건협회 작업환경측정 자료이며, 측정 대상의 업종, 공정에 대해 조사를 실시하였다.

2. 업종 및 공정 분류

업종의 분류는 한국표준산업분류를 기준으로 분류하였다. 구분 수준은 중분류로 하였으며, 61개의 업종으로 구분하여 평가를 실시하였다. 공정의 분류는 안전보건공단에서 제공하는 표준공정분류표를 기본으로 하였으며, 공정은 35개종으로 나누어 평가하였다.

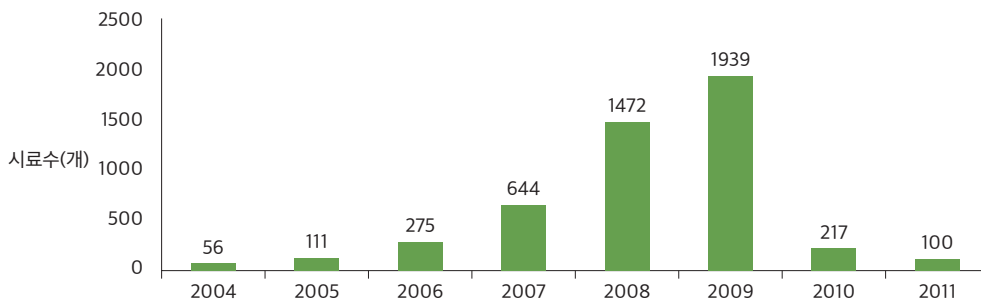
3. 통계적 분석

통계분석은 2001~2011년까지 허용기준 대상물질 13종의 작업환경측정 자료를 Microsoft Excel 2010, IBM SPSS 21.0을 이용하여 빈도분석, 교차분석을 실시하였다.

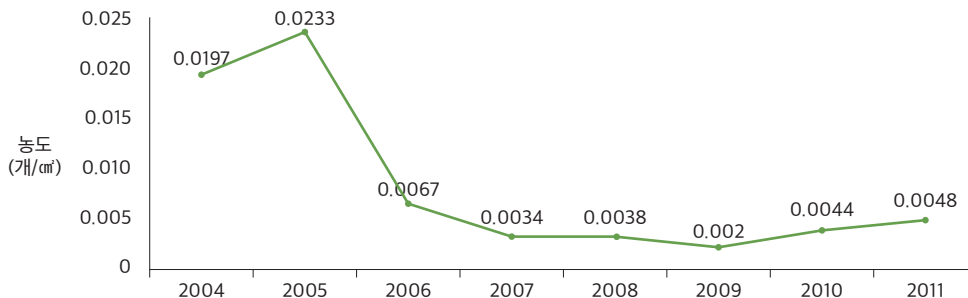
연구 결과 및 고찰

1. 연도별 발생 빈도 및 평균 노출 농도 변화 추이

석면의 연도별 평균농도 추이를 살펴보면, 2005년 평균농도 0.023 개/cm³로 가장 높았고, 2006년부터 감소하는 경향을 보이고 있다. 연도에 따른 평균농도는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.001). 측정시료의 수는 2004년에서 2009년까지 증가하다가 2010년 이후로 감소하는 경향을 보이고 있다.



<그림 1> 연도별 발생 빈도 변화 추이



<그림 2> 연도별 평균 농도 변화 추이

2. 업종별 노출 빈도 현황

석면의 업종별 분포 특성을 살펴보면 가장 많은 노출 빈도를 나타낸 것은 전문직별 공사업(59.7%)이었으며, 다음으로 종합 건설업(28.2%), 폐기물 수집운반·처리 및 원료재생업(3.7%), 비금속 광물제품 제조업(1.8%) 등의 순으로 나타났다.

석면이 가장 많이 노출되는 업종인 전문직별 공사업에서 대부분 해체공정에서 노출의 빈도가 높은 것으로 나타났고, 종합 건설업, 폐기물 수집운반업 역시 해체 공정에서의 노출빈도가 가장 높은 것으로 나타났다(표 1). 이러한 특징이 나타난 것은 2010년에 개정된 산업안전보건법 제 38조 2(석면 조사)에 따라 석면이 함유된 건축물이나 설비를 철거하거나 해체하는 경우 석면조사를 해야 하는 하기 때문이다.

<표 1> 석면의 노출빈도가 높은 업종

순위	업종명	백분율(%)
1	전문직별 공사업	59.7
2	종합 건설업	28.2
3	폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업	3.7
4	비금속 광물제품 제조업	1.8
5	창고 및 운송관련 서비스업	1.1
6	건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업	1.1
7	자동차 및 트레일러 제조업	0.9
8	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	0.5
9	전기장비 제조업	0.5
10	기타 기계 및 장비 제조업	0.4

3. 공정별 노출 빈도 현황

석면의 노출 빈도가 가장 높은 공정은 해체공정(90.0%)이었으며, 가공(1.3%), 기타(0.8%), 검수(0.6%) 등의 순으로 나타났다(표 2). 해체공정의 경우 주로 전문직별 공사업(59.6%), 종합건설업(28.3%), 폐기물 수집 운반·처리 및 원료재생업(3.7%) 등이었다.

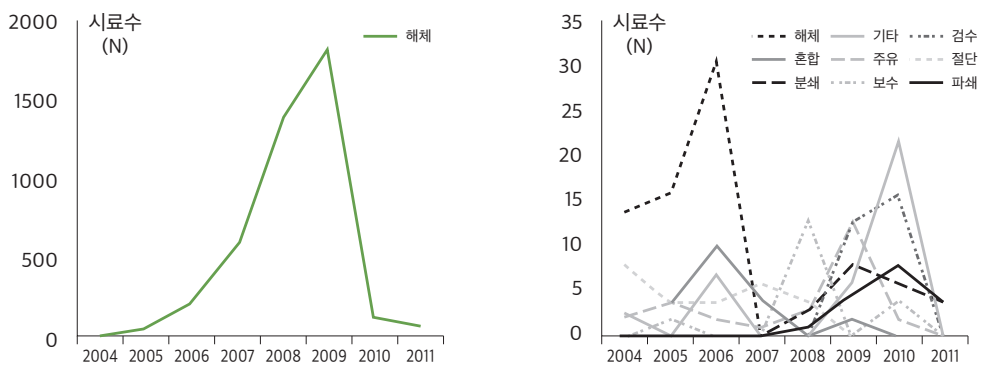
<표 2> 석면의 노출빈도가 높은 공정

순위	공정명	백분율(%)
1	해체	90.0
2	가공	1.3
3	기타	0.8
4	검수	0.6
5	혼합	0.6

6	주유	0.6
7	절단	0.5
8	분쇄	0.4
9	보수	0.4
10	파쇄	0.4

업종에 따른 노출빈도를 연도에 따라 살펴보면 가장 높은 빈도를 보인 해체 공정의 경우 2004년에는 단 한건에 없었지만 2005년부터 2009년까지 증가세를 보이다가 2010년부터 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 특징이 보이는 것은 고용노동부에서 2009년 2월 6일 산업안전보건법 시행령과 시행규칙을 개정하여 2009년 8월 7일부터 시행하였는데 주요 내용은 등록업체에 의한 석면의 해체 및 제거, 석면조사기관 허가제, 석면제거 후 공기 중 석면농도 제시 등이다. 2009년까지는 석면조사기관의 수가 한정되어 있어 작업환경측정기관에서도 석면 해체 및 제거 작업 전 석면 조사와 석면제거 후 공기 중 석면 농도의 측정이 가능하였으나, 2010년 이후 석면조사기관에서만 석면조사를 하도록 하였다.

해체 공정과 반대로 가공 공정의 경우 2004년부터 2006년까지 측정건수가 있었지만, 2007년 이후에는 단 한 건도 없었다. 이러한 특징은 2007년 1월부터 석면이 함유된 중량의 비율이 1% 이상인 지붕, 천장 벽 또는 바닥재용 석면시트 제품과 자동차용 석면마찰제품 등의 제조·수입·양도·제공 또는 사용을 금지하였기 때문이다(그림 3).



<그림 3> 연도별 공정별 노출 빈도 변화 양상

4. 노출 기준 초과 업종 및 공정

석면의 노출기준(0.1 개/cm³)을 초과한 업종과 공정은 자동차 및 트레일러 제조업 중 성형과 전문직별

공사업 중 해체 공정에서 가장 많았으며, 자동차 및 트레일러 제조업 중 연마, 비금속 광물제품 제조업 중 성형과 혼합 공정 등의 순으로 나타났다<표 3>.

<표 3> 석면의 노출 기준을 초과한 업종 및 공정

순위	업종명	공정명
1	자동차 및 트레일러 제조업	성형
2	전문직별 공사업	해체
3	자동차 및 트레일러 제조업	연마
4	비금속 광물제품 제조업	성형
5	비금속 광물제품 제조업	혼합
6	자동차 및 트레일러 제조업	혼합
7	종합 건설업	해체

5. 관련 문헌 고찰

국내에서 발표된 석면과 관련된 문헌들을 살펴보면, 자동차 브레이크 부품 제조업과 관련된 연구에서 농도는 0.08~5.64 개/cm³로 노출기준의 0.8~56.4배에 해당되는 수준이었으며, 브레이크 라이닝 제조업의 경우 기하평균농도는 0.19~0.67 개/cm³로 노출기준의 1.9~6.7배인 것으로 나타났다.^{5) 11) 12) 13)}

슬레이트 제조와 관련된 문헌에서 농도분포는 0.04~4.75 개/cm³로 노출기준의 0.4~47.5배에 해당되는 수준이었으며, 기하평균농도는 0.14~2.75 개/cm³로 노출기준의 1.4~27.5배인 것으로 나타났다.^{5) 11) 12) 13) 14)}

<표 4> 석면과 관련된 국내 문헌에서의 노출수준

업종/공정	농도(개/cm ³)		평균 노출지수*	참고 문헌
	평균농도 범위	기하평균(범위)		
자동차 브레이크 부품업	0.16~5.64		1.60~56.40	11)
브레이크 라이닝 제조업	0.08~3.08		0.80~30.8	12)
		0.19(~2.67)	1.9	13)
		0.67(0.05~2.82)	6.7	5)
		0.55(0.03~2.17)	5.5	5)
슬레이트 제조(배합)	0.49~0.56		4.90~5.60	11)
슬레이트 제조(가공)	0.35~1.23		3.50~12.3	11)
슬레이트 제조(배합)	0.05~2.9		0.50~29.0	12)

슬레이트 제조(성형)	0.04~0.29		0.40~2.9	12)
슬레이트 제조(가공)	0.12~4.75		1.20~47.5	12)
슬레이트 제조		2.75(0.02~0.67)	27.5	13)
		0.14(0.03~1.08)	1.40	5)
		0.21	2.10	14)

†평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준(0.1개/cm³)

결론

본 연구는 허용기준 대상물질 13종 중 석면의 노출빈도(업종별·공정별)와 높은 농도에 노출되는 업종 및 공정을 파악하고 국내 관련문헌 고찰을 통해 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 근거자료로 활용하고자 하며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 석면의 연도별 평균농도는 2005년 평균농도 0.023 개/cm³로 가장 높았고, 2006년부터 감소하는 경향을 보이고 있다. 노출빈도는 2004년에서 2009년까지 증가하다가 2010년 이후로 감소하는 경향을 보이고 있다.
2. 석면의 노출 빈도가 가장 높은 업종은 전문직별 공사업(59.7%), 종합 건설업(28.2%), 폐기물 수집운반·처리 및 원료재생업(3.7%), 비금속 광물제품 제조업(1.8%) 등의 순으로 나타났다.
3. 노출빈도가 높은 공정은 해체공정(90.0%), 가공(1.3%), 기타(0.8%), 검수(0.6%) 등의 순으로 나타났다. 석면이 함유된 건축물이나 설비를 철거하거나 해체하는 경우 석면조사(2010년)를 해야 하기 때문에 해체 공정이 2005년부터 급격히 증가하였고, 가공 공정의 경우 석면이 함유된 중량의 비율이 1% 이상인 지붕, 천장 벽 또는 바닥재용 석면시트 제품과 자동차용 석면마찰제품 등의 제조·수입·양도·제공 또는 사용을 금지되었기 때문에 2004년부터 2006년까지 측정건수가 있었지만, 2007년 이후에는 단 한 건도 없었다.
4. 석면의 노출기준(0.1 개/cm³)을 초과한 업종과 공정은 자동차 및 트레일러 제조업 중 성형과 전문직별 공사업 중 해체 공정, 자동차 및 트레일러 제조업 중 연마, 비금속 광물제품 제조업 중 성형과 혼합 공정 등의 순으로 나타났다.
5. 자동차 브레이크 부품 제조업과 관련된 연구에서의 농도는 0.08~5.64 개/cm³, 브레이크 라이닝 제조업의 경우 기하평균농도는 0.19~0.67 개/cm³, 슬레이트 제조와 관련된 문헌에서 농도분포는 0.04~4.75 개/cm³로 나타났다.

이상의 연구결과로 석면의 노출빈도가 높고, 높은 농도에 노출되는 업종과 공정을 파악하였다. 석면은 석면폐증, 석면에 의한 폐암, 악성 중피종 등을 일으키는 발암성 물질이다. 과거 대부분의 건축물에 석면이 포함된 천장텍스, 밤라이트 등이 있으며, 이러한 건축물을 해체·제거하는 근로자들은 반드시 보호구 착용 등 법령이 정하는 석면해체제거 작업에 대한 매뉴얼을 숙지하고 따라야 하며 그에 대한 관리는 철저히 해야 한다. 🍷

참고문헌

1. Langer, A. M. and Nolan R. P. Chrysotile : Its occurrence and properties as variables controlling biological effects. *Annals Occupational Hygiene*, 38(4), 427-451, 1994.
2. 박지완, 정해원. 생쥐 생체 내 석면소체 발생 양상에 관한 연구, *한국환경보건학회지*, 15(2), 107-116, 1989.
3. 박정임, 윤충식, 백남원. 석면방직업 근로자의 석면노출 실태와 과거농도 추정에 관한 연구, *한국산업위생학회지*. 5(1), 16-39, 1995.
4. Virta, R. L. Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 through 2003. U.S. Department of the interior, U.S. Geological survey, Circular 1298, 2006.
5. 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화, *한국산업위생학회지*, 8(2), 242-253, 1998.
6. 기윤호, 김정만, 노영만, 정누시아, 김윤신, 심상호. 우리나라 일부 석면 함유제품에 대한 실태조사, *한국환경보건학회지* 34(1), 108-115, 2008.
7. Becklake, M. R. Asbestos related disease of the lung and other organs : Their epidemiology and implications for clinical practice. *The American review of respiratory disease*, 114-187, 1976.
8. Rugo. H. S. and Fischman, M. L. Occupational cancer. In Ladou J. *Occupational and environmental medicine*. Stamford, Connecticut. Appleton and Lange, 254-257, 1997.
9. 노영만, 김치년 등. 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준 수준에 관한 연구. 안전보건공단 2008
10. 박무인, 최종수, 최현목, 장태일, 문익홍, 김지호, 장태원, 이덕희, 정만홍, 강성규. 증례 : 석면 취급의 직업력을 가진 환자에 발생한 흉막 악성 중피종 1예. *대한내과학회지*, 48(4), 526-530, 1995.
11. 백남원. 우리나라 석면산업장 근로자의 석면폭로 실태에 관한 연구, *보건학논집*, 42, 115-121, 1989
12. 백남원, 이영환. 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구, *한국산업위생학회지*, 1(2), 144-153, 1991
13. 오세민, 신용철, 박두용 등. 일부 석면취급사업장의 석면폭로 농도 및 작업환경관리 기준에 관한 연구, *한국산업위생학회지*, 3(1), 100-109, 1993
14. 박두용. 석면 슬레이트 제조 및 석면 방직 사업장 근로자의 석면분진 폭로, *서울대학교 보건대학원 석사논문*, 1998