

〈종설〉

# 우리나라 석면 취급 산업장 석면 농도에 대한 고찰

박동욱<sup>1†</sup> · 최상준<sup>2</sup> · 윤충식<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국방송통신대학교 환경보건학과, <sup>2</sup>대구가톨릭대학교 산업보건학과, <sup>3</sup>서울대학교 보건대학원

## Review on Occupational Exposure To Asbestos in Korea

Donguk Park<sup>1†</sup> · Sangjun Choi<sup>2</sup> · Chungsik Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Korea National Open University,

<sup>2</sup> Department of Occupational Health Catholic University of Daegu

<sup>3</sup> School of Public Health, Seoul National University

This study was conducted not only to review airborne asbestos levels reported in workplaces in Korea, but also to analyze their levels according to various characteristics. All asbestos concentration reported as either geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD) or ranges were transformed to arithmetic mean to estimate exposure level. In addition, weighted arithmetic means (WAMs) were calculated to weigh asbestos levels based on the different number of samples. Differences of asbestos levels among several characteristics such as industry type, decade, operation and sampling and analytical methods were analyzed using analysis of variance (ANOVA). The number of articles studying asbestos levels from workplaces was found to be 9 including two report types. Five of those were reported prior to 1990s and rest of them after 1990s. Only several industries such as asbestos textile, asbestos cement, brake-lining repair shops were studied, while various industries using asbestos or asbestos containing materials (ACMs) were not studied. ANOVA found that asbestos exposure levels (WAM = 5.26f/cc) reported from

textile industry were significantly higher than those from other industries (cement = 0.63f/cc, brake-lining = 0.2f/cc - 0.47f/cc) ( $p < 0.0001$ ). Average exposure levels studied prior to the 1990s (3.13f/cc) were found to be significantly higher than that (0.86 f/cc) after the 1990s ( $p < 0.0001$ ).

All WAMs reported until the 1994 were found to be higher than the current occupational exposure limits (0.1f/cc). This study recommends that retrospective exposure to asbestos based on various industry types and operations should be assessed.

**Key Words:** asbestos, asbestos textile, asbestos cement, asbestos containing materials (ACMs)

접수일: 2009년 5월 19일, 채택일: 2009년 7월 10일

† 교신저자: 박동욱(서울특별시 종로구 동숭동 169번지 한국방송통신대학교 환경보건학과,  
Tel:02-3668-4707, Fax:02-741-4701, E-mail:pdw545@knou.ac.kr)

## I. 서론

석면은 산업혁명 때부터 광범위하게 사용되었고, 1940년대부터 그 소비량이 증가하기 시작하여 1980년대에 최고에 이른 다음, 이후 급격히 감소하였다. 이것은 석면이 석면폐, 폐암, 악성 중피종을 일으키는 위험인자로 알려지면서 유럽과 북아메리카의 선진외국에서 석면사용을 규제하거나 금지하였기 때문이다. 그러나 우리나라, 일본, 인도, 중국 등은 오히려 1980년대부터 석면 사용량이 더 늘어나기 시작했다.

우리나라는 1984년까지 광산에서 석면을 채굴한 것으로 기록되어 있다(최정근 등, 1998). 석면 사용 양은 1990년대에 급격히 증가하고 1997년 경제위기를 기점으로 급격히 감소하였다. 그러나 이때부터 석면이 함유된 제품(asbestos containing material, 이하 ACM이라 함)의 수입은 최근까지 그 사용량이 계속 증가하였다. 2009년 석면과 ACM의 사용·제조·유통·수입이 전면 금지되기까지(노동부, 2007) 석면노출은 근로자는 물론이고 일반환경의 주민들에게도 광범위하게 일어났을 것으로 판단된다.

우리나라에서 1993년부터 2007년 6월까지 석면 노출로 인해 암으로 인정받은 근로자의 수는 총 60명(중피종; 19명, 폐암; 41명)이고, 이 중 50명(중피종; 14명, 폐암; 36명)이 2000년 이후에 발생되었다(Ahn and Kang, 2009). 우리나라의 년도별 석면사용량, 최대 사용시기(90-96년) 그리고 석면노출 후 질병이 발생하는 잠복기간(10-40년) 등을 고려할 때 앞으로 석면노출로 인한 질병발생은 더욱 늘어날 것으로 판단된다. 향후 우리나라에서 과거 석면노출을 추정하기 위해서는 석면이나 ACM을 취급한 업종, 공정, 사업장에서 노출수준을 평가하고 고찰하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 우리나라에서 연구된 근로자 석면노출농도를 분석하여 업종, 시기, 측정방법 등에 따라 고찰하였다. 또한 우리나라에서 연구되지 않았거나 연구가 부족했던 업종이나 공정의 노출수준은 국외의 연구결과를 고찰하였다. 향후 석면노출을 관리하기 위한 구체적인 방안을 수립하는데 필요한 사항도 함께 고찰하였다. 본 연구결과는 업종별, 시기별, 직업별 과거노출농도를 추정하는데 도움이 될 것으로 판단한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 문헌고찰

2008년까지 우리나라 산업장에서 측정하여 보고서나 논문에 보고한 공기 중 석면농도를 고찰하였다. 논문은 주요

산업보건관련학회지인 산업위생, 환경보건, 산업의학회지를 모두 검색하여 수집하였다. 한편 우리나라에서 연구되지 않은 석면 사용업종이나 공정에서 평가한 연구결과는 국외에 보고된 주요 논문결과를 고찰하였다.

### 2. 자료 분석 대상 및 방법

#### 1) 대상

산업장에서 보고된 공기 중 석면농도는 연구목적에 맞게 모두 자료화하였다. 동일한 석면농도가 동일한 연구목적으로 중복 사용된 것은 1회만 자료로 사용하였다(오세민 등, 1993; 박정임 등, 1995). 본 연구는 산업장 근로자의 석면 노출농도를 정리하고 고찰하는 것이므로 일반 환경이나 고형시료(물질이나 재료)에서 측정된 농도는 자료분석에서 제외하였다. 그러나 서비스업종으로 분류된 자동차 정비, 자동차 브레이크 라이닝 판매업소(백남원, 1989; 신용철과 백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991)에서 측정된 농도는 본 연구분석 자료에 포함하였다. 한편 장소(지역)에서 측정된 석면농도는 본래 노출 추정치로 사용할 수 없지만 제외하기보다는 노출농도로 간주하여 자료로 활용하였다. 노출농도 분석자료에 포함시킨 이유는 근로자의 작업영역과 자료의 부족 등에 따른 것이다. 다만, 거리 별 농도의 변화(신용철과 백남원, 1989), 공학시설의 성능을 평가하기 위해서 측정된 지역시료는 제외하였다.

#### 2) 산술평균 추정

생체의 노출 부하량(body burden)을 잘 나타내는 지수는 기하평균 보다는 산술평균으로 알려져 있다(Seixas, Robins et al. 1988). 석면의 대표농도를 산술평균으로 보고한 경우는 단지 2개의 보고서였고(노동부, 1984; 노동부, 1987), 7개의 논문에서는 기하평균이나 범위(최소값과 최대값)로 보고하였다. 기하평균이나 범위로 보고된 석면농도는 노출을 보다 정확하게 추정하기 위해서 산술평균으로 변환하였다. 먼저, 기하평균과 기하표준편차가 모두 보고된 석면농도(박두용과 백남원, 1988; 신용철과 백남원, 1989; 오세민 등, 1993)는 기하정규분포하기 때문에 아래의 식을 이용(Aitchison and Brown, 1963)하여 산술평균으로 변환하였다.

$$AM = GM \exp[1/2 (\ln(GSD))]^2$$

만일 석면농도가 최소-최대값의 범위만 보고된 경우(신용철과 백남원, 1989; 박정임 등, 1995)나 기하평균과 기하표준편차를 함께 보고한 경우(백남원, 1989; 신용철과 백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 오세민 등, 1993; 박정임 등, 1995), 범위에 근거하여 아래 식(Hein et al., 2008)에 대입한 후 산술평균을 계산하였다. 즉, 최소값과 최대값을 대수로 변환하여 그 중간값(mid-point)을 구하고( $\hat{\mu}_x$ ), 대수로 변환한 최

소값과 최대값의 차이를 4로 나눈 값( $\hat{\sigma}_x$ )을 구하여 아래 식에 대입하여 산술평균으로 하였다.

$$AM = \exp[\hat{\mu}_x + 1/2 \hat{\sigma}_x^2]$$

### 3) 가중산술평균(Weighted Arithmetic Mean, WAM)계산

논문과 보고서마다 측정된 시료 수가 서로 차이가 있다. 시료수가 차이가 있다면 그 농도의 가중치는 다르다. 시료수의 차이에 따른 산술평균을 보정하기 위해 “시료수가 가중된 산술평균(Weighted Arithmetic Mean, 이하 WAM라 함)”을 구했다. 시료수가 없는 농도는 결측값(missing value)으로 처리하고 제외하였다.

$$WAM = (N_1 \times AM_1 + N_2 \times AM_2 + \dots + N_n \times AM_n) / N$$

여기서 N=시료 수, AM=산술평균, N<sub>i</sub>=총 시료 수이다. 만일 채취한 시료 수에 대한 정보가 없는 경우 WAM은 계산될 수 없다. 이것은 결과에서 “시료 수를 보정하지 않음(Not weighted Arithmetic Mean, 이하 NWAM라 함)”이라고 표시한 것은 WAM을 사용한 것이 아닌 단순한 산술평균을 의미한다.

### 4) 자료분석

범주형 변수 별(측정방법, 업종, 측정시기 등)로 석면농도의 차이는 t-검정이나 일변량 분산분석(one-way ANOVA)을 이용해서 검정했다. 정량적인 혹은 정성적인 자료의 범주는 연구목적에 따라 임의로 구분하였다. 즉, 측정방법(개인시료, 지역시료, 두 방법 사용), 산업(석면방직업, 석면슬레이트, 자동차브레이크 라이닝 등), 시기(1990년대 이전과 이후) 등으로 구분했다. 산업분류 중은 자동차 브레이크 라이닝에는 브레이크 라이닝 제조, 수리, 판매 등을 모두 포함하여 한 그룹으로 처리했다. 공기 중 석면 농도는 기하정규분포이므로 통계모델에 사용할 때는 대수로 변환하였다. 모든 자료분석은 STATA 10.0(StataCorp, College Station, Texas)을 이용하였다.

## III. 결 과

### 1. 총괄

우리나라 산업장의 공기 중 석면농도는 총 7편의 논문과 2편의 보고서에서 보고되었다(표 1 및 표 2참조). 시기별 논문 수는 1990년대 이전에 5편 그리고 1994년까지 4편이었다. 1995년 이후에 국내 공기 중 산업장 석면농도는 보고되지 않았다. 우리나라의 석면사용량이 1992년 10만 여톤 그리고 1995년에 9만 6천 여톤으로 피크를 이룬 시기에 단지 2편의

연구가 보고되었다(오세민 등, 1993; 박정임 등, 1995). 최근까지(2006년 기준) 노동부가 석면 취급을 허락한 사업장 수는 총 25개소였고, ACM의 수입이 1997년 이후로 계속 증가하였지만 1995년 이후 석면노출 평가에 대한 연구결과는 보고되지 않았다.

석면방직업의 석면노출 평가는 7편 논문(박두용과 백남원, 1988; 백남원, 1989; 신용철과 백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 오세민 등, 1993; 윤임중 등, 1993; 박정임 등, 1995)과 2개의 보고서(노동부, 1984; 노동부, 1987)에서 1984년부터 1994년까지 이루어졌다. 박정임 등(1995)이 1994년을 기준으로 노동부에서 허가 받은 9개 석면방직 사업장 중 6개소 62명의 노출수준을 보고한 것이 마지막이었다. 당시 중국에서 석면방직 제품이 싼값으로 대량 수입되었기 때문에 석면 방직업을 직접 운영하는 것이 부가가치가 낮아 정상 가동이 드물었고 가동한 공정도 작업환경 관리가 매우 소홀하여 노출농도는 매우 높은 것으로 보고되었다(박정임 등, 1995).

슬레이트산업에서 석면농도는 4개 논문(백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 오세민 등, 1993; 윤임중 등, 1993)과 1개 보고서(노동부, 1987)에서 1984년부터 1992년까지 보고되었다. 각각의 연구에서 조사한 사업장 수는 2개 이하로 슬레이트 산업규모에 비하면 매우 작은 규모였다.

브레이크 제조(노동부, 1984; 오세민 등, 1993; 윤임중 등, 1993)와 수리(백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 신용철과 백남원, 1989)는 각각 3편의 논문에서 그리고 판매는 1편 논문(신용철과 백남원, 1989)에서 보고되었다. 조사된 사업장 수는 1편 논문에서 15개소를 대상으로 연구하였지만(오세민 등, 1993), 나머지는 모두 4개소 이하였다. 기타 연구된 업종은 배를 수리한 선박업 1개소(백남원, 1989), 석면 포를 사용한 기계제조 사업장 1개소였다.

## 2. 채취 및 분석방법

공기 중 석면농도는 모두 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Health, NIOSH)에서 권고한 7400방법을 이용하여 정량한 것이었다. 즉, 위상차현미경을 이용해서 길이가 5 um를 초과하고 길이와 너비의 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 섬유만 계수하였다. 1편의 논문은 석면 채취 및 분석방법에 대한 설명이 없었지만(윤임중 등, 1993), 이 방법을 이용한 것으로 추정된다. 전자현미경을 이용하여 석면 종류를 동정하고 확정된 경우는 없었다. 석면취급사업장의 경우 위상차현미경으로 분석한 것이 모두 석면 섬유로 간주되어 굳이 전자현미경을 사용하지 않는다.

채취위치 별(개인시료, 지역시료 그리고 두 방법 혼합)로 석면농도를 비교하였다(표 3). 총 997개의 관찰 시료 수 중 63

Table 1. General information classified according to asbestos study characteristics for studies

Classification		No of publication	%
Journal Type	KIAJ*	3	33.3
	KSEH†	2	22.2
	KJOM‡	1	11.1
	KJPH§	1	11.1
	MOL's report	2	22.2
Year published	1984	1	11.1
	1987	1	11.1
	1988	1	11.1
	1989	2	22.2
	1991	1	11.1
	1993	2	22.2
	1995	1	11.1
Industry type	Textile	7	NA**
	Slate	6	NA
	Brake-lining production	3	NA
	Brake-lining retailer	1	NA
	Brake-lining repair	3	NA
	Ship repair	1	NA
	Using asbestos cloth	1	NA
	NI¶	1	NA

\* KIAJ; Korea Industrial Hygiene Association Journal

† KSEH; Korea Society for Environmental Health

‡ KJOM; Korea Journal of Occupational Medicine

§ KJPH; Korea Journal of Public Health

|| MOL; Ministry of Labor

¶NI ; No information

\*\* NA; Not applicable

%(628개)가 개인시료로 측정된 값으로 WAMs는 1.12개/cc로 계산되었다. 이 값은 지역시료에 의한 측정농도(6.06개/cc)보다 통계적으로 유의하게 낮았다( $p<0.0001$ ). 이것은 박두용과 백남원(1988)이 석면방직업에서 측정된 4개의 높은 지역시료 측정값(13.09개/cc, 15.21개/cc, 10.04개/cc, 19.71개/cc)이 영향을 미쳤기 때문이다. 이러한 농도는 측정된 기하평균값을 산술평균으로 변환한 값이다. 업종별로 구분해서 채취위치별로 구분하면 석면방직업(지역= 10.8개/cc, 개인=3.4개/cc)과 브레이크 라이닝 업종(지역= 0.99개/cc, 개인=0.60개/cc)에서는 지역시료가 개인시료에 비해 유의하게 높았고( $p<0.0001$ ), 슬레이트 업종(지역= 0.02개/cc, 개인=0.30개/cc, 두 방법= 0.2개/cc)에서는 방법 간에 유의한 차이가 발견되지 않았다

( $p=0.4145$ ). 업종별로 채취방법에 따른 차이가 발견되지만 특정한 경향은 없었다.

측정시간 별로 구분하면 장시간 연속시료채취가 총 997개 중 10 %(102개), 1-4시간이 35 %(344개)였다. 시료채취시간에 대한 정보가 없는 경우도 31.3 %(312개)였다. WAM은 “연속시료채취”와 “정보가 없는 경우”가 각각 2.22개/cc와 4.31개/cc로 가장 높은 것으로 나타났다. 시료 수에 대한 정보가 없는 관찰 수는 총 119건이었고 (노동부, 1984; 노동부, 1987; 백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 윤임중 등, 1993), 시료 수 정보가 제공된 것은 80개였다. 시료 수가 없는 경우 WAMs를 구할 수 없었다.

Table 2. Summary for asbestos level reported in Korea

Authors, year	Study year	Study industry	No of plant	No of sample	Exposure level, fiber/cc	Sampling type	Remarks
KOSHA*, 1984	1984	Asbestos textile	6	NI	AM(SD) = NI(NI) Range = 0.6-30.7	P †	P †
		Auto repair	1	NI	AM(SD) = 1.7(NI) Range = 1.14-1.85	P	P
		Asbestos slate	1	NI	AM(SD) = 0.4(NI) Range = 0.12-0.57	P	P
KOSHA, 1987	1987	Asbestos textile	7	NI	AM(SD) = 7.1(NI) Range = 0.4-45.8	P	P
		Asbestos slate	1	NI	AM(SD) = 0.3(NI) Range = 0.1-1.1	P	P
			1	NI	AM(SD) = 0.5(NI) Range = 0.2-2.1	P	P
Park et al., 1988	1987	Asbestos slate	2	8	GM(GSD) : 0.21(1.29)	P	P
				7	GM(GSD) : 0.93(1.33)	A ‡	A ‡
		Asbestos textile	7	54	GM(GSD) : 4.4(2.61) Range : 1.3-14.3	P	P
				76	GM(GSD) : 5.7(3.51)	A	A
Paik et al., 1989	1988	Asbestos slate	1	NI <sup>§</sup>	Range 0.10-1.23	P	P
		Asbestos textile	2	NI	Range : 0.07-14.90	P	P
		Ship repair	1	11	Range : 0.01-0.12	B	B
		Ship repair	1	NI	2.45	P	P
		Ship repair	1	NI	0.03-0.09	A	A
		Auto repair	2	NI			
		Auto brake-lining retailer	4	NI	Range : 0.01-7.58	P	P
		Plant using asbestos cloth	1	NI			
Shin et al., 1989	1988			41	GM(GSD) = 0.10(2.10) Range = 0.02-7.28	P	P
		Auto repair		48	GM(GSD) = 0.10(0.35) Range = <0.01-7.04	P	P
				17	GM(GSD) = 0.02(2.00) Range = NI	A	A
				39	GM(GSD) = 0.02(1.50) Range = NI	A	A
Paik et al., 1991	1990		4	782	GM(GSD) = 3.11(NI) Range = 0.10-17.30	P	P
		Asbestos textile	2	86	GM(GSD) = 0.68(NI)		

					Range = 0.08-3.08	P	P
		Brake-lining manufacturing	2	58	GM(GSD) = 0.52(NI)	P	P
					Range = 0.04-4.75	P	P
			2	51	GM(GSD) = 0.27(NI)	P	P
		Asbestos slate			Range = 0.01-7.28	P	P
						P	P
Oh et al., 1993	1992	Auto repair	7	40	GM(GSD) = 1.42(1.89)		
					Range = 0.07-6.10	P	P
			15		GM(GSD) = 0.19(3.07)		
		Asbestos textile			Range = <0.01-2.67	P	P
			2	11	GM(GSD) = 0.08(2.75)		
		Brake-lining manufacturing			Range = 0.02-0.67	P	P
Yun et al., 1993	NI		1	NI	AM=0.16		
		Asbestos slate			Range = 0.06-0.50	NI	NI
			1	NI	AM=1.48		
					Range = 0.21-5.04		
		Asbestos textile	1	NI	AM=0.20		
					Range = 0.06-0.86		
			1	NI	AM=0.68		
					Range = 0.19-2.08		
			1	NI	AM=0.21		
					Range = 0.09-0.37		
		Asbestos slate	1	NI	AM=0.42		
					Range = 0.18-1.26		
			1	NI	AM=0.37		
					Range = 0.27-0.75		
		Brake-lining factory	1	NI	AM=0.77		
					Range = 0.65-1.15		
Park et al., 1995	1994	Asbestos textile	6	32	GM(GSD) = 1.54(3.13)		
					Range = 0.18-11.28	P	P
				30	GM(GSD) = 1.72(2.93)		
					Range = 0.03-10.93	A	A
Park et al., 2008	2008	Primary * †	NA ‡	1,555	AM(SD)=0.31(1.43)		
		Secondary **§			Range = 0.001-26.7	NA	NA
			NA	534	AM(SD)=0.05(0.22)		
					Range = 0.001-3.29	NA	NA

\* KOSHA ; Korea Occupational Safety and Health Agency

† P ; personal sample

‡ A ; area sample

§ NI ; unable to calculate due to the lack of sample No

|| NA ; not applicable

¶ \* ; The primary asbestos industry group consists of industries handling raw asbestos directly

# \*\* ; The secondary asbestos industry group consists of industries handling asbestos-containing materials(ACM), end users of ACM and those involved in maintenance of ACM

Table 3. Weighted arithmetic means (WAMs) for asbestos concentration by sampling and analytical method

Classification	No of weight	WAM, f/cc	SD, f/cc	Range, f/cc	ANOVA p-value
Sampling and analytical method					
# 7400*	997	1.87	3.77	0.01-19.71	NA
Sampling type					
Personal	628	1.12	1.97	0.03-8.73	0.2423
Area	166	6.06	7.16	0.02-19.71	
Both	203	0.75	0.75	0.01-4.40	
Sampling duration					
< 2hrs	130	0.31	0.67	0.02-4.40	0.0074
1-4hrs	344	0.52	0.48	0.03-6.10	
4-6hrs	NA				
Full shift	102	2.22	1	0.56-5.89	
As long as possible	109	0.65	0.47	0.04-1.84	
NI <sup>†</sup>	312	4.31	5.99	0.01-19.71	
Industry					
Textile	312	5.26	5.36	0.56-19.71	<0.0001
Slate	93	0.63	0.48	0.03-1.84	
Brake-lining production	244	0.34	0.14	0.06-0.43	
Brake-lining retailer	31	0.47	0.68	0.01-1.41	
Brake-lining repair	306	0.2	0.45	0.02-4.40	
Ship repair	11	0.04	-		
Using asbestos cloth	NA				
Decade					
< 1990	442	3.13	5.33	0.01-19.71	0.1800
>1990	555	0.86	0.88	0.03-6.1	
Total	997	1.87	3.77	0.01-19.71	

NI ; No information

\* #7400; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Asbestos Fibers in Air, Method No 7400. NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd Edition, DHHS (NIOSH) Publication No 84-100, Cincinnati, 1984

† NI ; unable to calculate due to the lack of sample No

### 3. 산업, 시기, 공정별

#### 1) 산업 및 시기별

석면방직업의 평균 노출수준 (WAM)이 5.26개/cc (시료 수 보정하지 않을 때; NWAM=3.73개/cc)로 다른 업종의 노출농도에 비해 유의하게 높았다 ( $p<0.0001$ ). 슬레이트(시료 수 보정; 0.63개/cc, 보정하지 않을 때; 0.46개/cc)는 다른 업종보다 높았지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 전반

적으로 시료 수를 보정할 때의 농도가 보정하지 않았을 때 보다 높았다(시료수 보정하지 않을 때 농도는 표에 나타내지 않음). 1990년 이전에 보고된 석면농도(시료 수 보정; 3.13개/cc, 시료 수 보정하지 않음; 2.09개/cc)는 1990년 이후에 낮아졌으나(시료 수 보정; 0.86 개/cc, 시료 수 보정하지 않음; 1.21 개/cc) 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다 ( $p=0.1800$ , 표 2). 업종과 시기를 조합하여 1990년 전과 후로 보고된 석면농도를 구분한 다음 주요 석면 산업(방직, 슬레

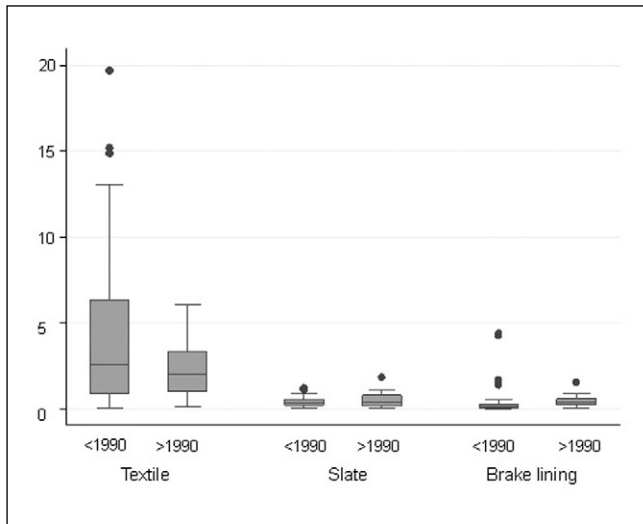


Figure 1. Asbestos levels indicated as WAMs classified in accordance with both decade and industry type.

이트, 브레이크라이닝)별로 그 변화를 비교하였다(그림 1). 이 농도들은 시료 수를 보정하지 않은 값이다. 그림에서 보는 바와 같이 석면방직업에서 농도변화는 뚜렷하게 낮아진 것을 볼 수 있다. 1990년 이전의 평균농도는 4.3개/cc(표준편차 4.3개/cc), 1990년 2.3개/cc(표준편차 1.7개/cc)로 급격하게 낮아져 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.0001$ ). 낮아진 농도라도 그때의 노출기준 2개/cc를 훨씬 초과하였다. 석면방직업에서 이러한 농도변화는 독일에서 보고된 경향과 비슷하다. Hagemeyer 등(2006)은 1970-74년에 10개/cc-12개/cc, 1980년대 3.9개/cc-6.2개/cc, 1990년대에 0.9개/cc-2.2개/cc로 보고했다.

반면에 슬레이트와 브레이크 라이닝 관련업종(정비, 판매, 제조)의 농도변화는 0.4개/cc - 0.6개/cc로 거의 크지 않았고, 통계적으로도 유의한 차이가 없었다( $p > 0.10$ ). 그러나 이러한 농도들은 현재의 노출기준 0.1개/cc를 대부분 초과하였다. 시료 수를 보정하여 계산된 석면농도를 분석해도 산업별 시기별 농도차이는 비슷한 경향을 보였다. Hagemeyer 등(2006)이 독일의 시멘트 산업에서의 농도는 1970-74년에 11개/cc-13개/cc, 1980년대 1.1개/cc-1.9개/cc, 1990년대에 0.3개/cc-0.7개/cc로 보고했다.

## 2) 공정별

### 석면방직

석면방직업은 시료 수 정보를 제공하지 않은(백남원, 1989; 백남원과 이영환, 1991; 노동부, 1984; 노동부, 1987; 윤임중 등, 1993) 석면농도를 제외하고 공정별 WAMs를 계산했다(표 4 참조). 직포 공정(weaving process)에서 노출농도가 11.48개/cc(시료 수 보정하지 않음; 4.26개/cc)로 가장 높았다. 이것은

소면공정에서 나온 소면을 신장시키고 약간 꼬아서 실 상태로 만드는 공정으로 소면이 실패에 감길 때 여러 지지대를 통과하면서 마찰을 일으키게 하고 회전하는 동안 석면먼지가 발생되기 때문이다(박두용과 백남원, 1989). 다음으로 높은 공정은 개면/혼면공정(fiberizing/mixing)으로 9.47개/cc(시료 수 보정하지 않음; 4.74개/cc)였다. 이 공정은 포장되어 있는 덩어리 형태의 원면을 풀어 합성섬유를 혼합하기 때문에 다른 연구에서도 노출농도가 높았다. 노동부에서 1984년과 1987년에 보고한 농도는 산술평균이 각각 9.0개/cc(범위; 0.62개/cc - 24.80개/cc)와 6.0개/cc(범위; 1.2개/cc - 31.1개/cc)로 다른 공정보다 높았다. 표에서 보는 바와 같이 석면방직업의 석면 노출농도는 공정 별로 차이는 있지만 크지 않았고 모두 4개/cc를 초과한 높은 농도이다. 박정임 등(1995)은 석면방직업에서 조사한 농도를 수학적 모형(Deterministic Mathematical Model)에 대입하여 추정된 1975년의 농도는 11.0개/cc에서 92.4개/cc라고 보고하였다.

### 석면슬레이트

석면슬레이트 공정에서 보고된 석면농도는 대부분 1개/cc 이하였다. 시료 수를 보정한 평균은 0.63개/cc였고, 보정하지 않았을 때는 0.46개/cc(범위; 0.03개/cc - 1.84개/cc)로 큰 차이가 없다. 슬레이트 제조방법은 습식이므로 배합공정과 성형공정에서는 비교적 낮은 농도를 보였고, 절단, 가공(sanding), 포장 및 가공 공정에서는 1개/cc 이상으로 높은 경우도 보고되었다(백남원, 1991). 전체적으로 슬레이트 산업에서 공정별로 노출된 평균농도는 석면방직업에서 노출보다 훨씬 낮았지만 0.1개/cc를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 공정특성상 슬레이트를 절단하고 가공하는 작업이나 습식 작업이 아닌 경우에는 높은 농도에 노출될 수 있는 것으로 보고되었다. 우리나라는 2007년부터 건축용 석면시멘트제품 수입을 금지하였다(노동부, 2006).

### 브레이크라이닝 제조, 판매, 수리 업종

브레이크라이닝 제조, 판매, 수리 업종에서 석면 노출농도는 서로 비슷하다. 판매업종이 0.47개/cc로 가장 높지만 제조(0.45개/cc)와 수리(0.2개/cc) 공정과 큰 차이가 없다. 시료 수를 보정하지 않았을 때는 수리는 0.51개/cc, 제조와 판매는 각각 0.49개/cc와 0.33개/cc로 역시 큰 농도 차이가 없었다. 브레이크 라이닝 판매, 제조, 수리 등은 한꺼번에 이루어지는 경우가 많아 공정을 분명하게 구분할 수 없기 때문이다. 그러나 브레이크 라이닝에서 먼지를 압축공기로 제거하는 공정(cleaning)의 석면 농도는 4.26개/cc(백남원, 1989), 4.40개/cc(신용철과 백남원, 1989), 1.55개/cc(백남원과 이영환, 1991) 등으로 매우 높았다. 이러한 농도는 1990년도 이전에 외국에서 보고한 농도와 비슷하다. 즉, 압축공기를 이용해서 수리하는 공정에서 측정된 농도 범위는 0.01개/cc에서 15개/cc였고, 건



Table 4. Weighted arithmetic means (WAMs) for asbestos concentration by industry type and process type

Type industry	Process	No of weight	WAM, f/cc	SD, f/cc	Range, f/cc
Type industry	Fiberizing/mixing	14	9.47	5.03	0.56-13.09
Textile	Carding	38	7.62	6.47	1.03-15.21
	Spinning	51	5.13	4.08	0.69-9.40
	Twisting	49	5.24	4.04	1.19-10.04
	Winding	17	4.14	0.24	4.00-4.35
	Weaving	41	11.48	8.64	0.68-19.71
	Total 1 #	102	1.57	0.39	1.22-1.79
	Total 2 \$	312	5.26	5.36	0.56-19.71
Slate	Mixing	40	0.55	0.29	0.06-0.64
	Forming	4	0.12	NA	NA
	Pressing	2	0.17	NA	NA
	Crushing	4	0.74	NA	NA
	Cutting	9	1.44	1.06	0.03-1.84
	Packing/piling	4	0.87	NA	NA
	Sanding	5	1.08	NA	NA
	NA	10	0.17	NA	NA
	Total 1 #	15	0.58	0.45	0.22-1.13
	Total 2 \$	93	0.63	0.48	0.03-1.84
Blake lining					
production	All	244	0.34	0.14	0.06-0.43
Blake lining retailer	All	31	0.47	0.68	0.01-1.41
Blake lining repair	All	306	0.2	0.45	0.02-4.40

# Total 1 ; analyzing total reported in the manuscript

\$ Total 2 ; analyzing levels of each process in this manuscript

조 브러쉬(brush)로 수리하는 공정에서는 0.1개/cc에서 2.62개/cc였다(Paustenbach 등, 2003). 심지어 1975년 이전에 보고된 농도의 범위는 1.30개/cc - 29.80개/cc나 되었다. Kauppinen과 orhonen (1987)는 소형차 브레이크 먼지를 제거하기 위해 압축공기를 이용하여 청소하는 작업에서는 8.2개/cc까지 노출된다고 보고하였다.

Paustenbach 등(2003)은 브레이크라이닝 작업의 TWA는 약 0.05개/cc로 보고하였다. 가벼운 트럭과 자동차를 수리하는 경우 노출범위는 < 0.002-0.68개/cc(TWA 0.04개/cc)였고, 무거운 트럭과 버스를 수리한 경우는 0.002-1.75개/cc(TWA 0.2개/cc)였다. 대형차량을 수리할 때 더 높은 석면에 노출되는 것으로 판단된다. 이러한 농도는 프랑스에서 예측한 자동차 정

비자의 석면 노출농도와 비슷하다. 즉, 예측한 농도범위는 1997년 전은 주 당 0.06개/cc - 0.25개/cc, 2010년대까지 주당 0.01개/cc - 0.06개/cc였다. 이러한 농도에 근거하여 예측한 암 사망자수는 2003년 전의 노출로 인해서 602명이며, 자동차에서 석면이 제거되지 않았다면 43명으로 예측했다(Imbernon 등, 2005).

브레이크라이닝 제조사업장은 연삭기를 이용해서 절단 혹은 연마하는 공정에서 1.7개/cc(범위; 1.14개/cc - 1.85개/cc)로(노동부, 1984) 다른 공정들(혼합, 무게잦, 배열 등)에 비해 높았다. 브레이크라이닝과 클러치 패드를 판매하는 업소는 브레이크라이닝을 뚫고(천공) 브레이크 슈즈에 리벳을 부착, 제거하고 또 맞도록 기계나 사포로 연마하는 작업으로 이루어

어졌다. 특히 천공하는 작업에서 기하평균 농도는 0.3개/cc(산술평균 추정 농도; 1.41개/cc)였고 가장 높은 농도는 3.49개/cc로 높은 것으로 보고하였다(신용철과 백남원, 1989).

브레이크라이닝 제조, 판매, 수리 업종에서 보고된 석면농도는 대부분 작업이 이루어지는 짧은 시간 동안에 측정한 값들이다. 하루 노출농도로 환산한 값은 일반적으로 노출기준 미만이지만, 브레이크 라이닝 연삭작업이나 차량의 크기에 따라 노출되는 농도는 매우 높은 경우도 보고되었다. Lemen(2004)은 트럭이나 버스에서 측정한 TWA는 0.1-0.2개/cc, 소형차는 0.05개/cc이하로 보고하였다. Kauppinen과 Korhonen(1987)은 트럭이나 버스 브레이크라이닝 연삭작업에서 노출농도는 125개/cc가 되는 경우도 있다고 하였다.

Paustenbach 등(2003)은 1980년대 이전 석면 노출농도는 수리작업에서 브레이크면지 제거 조치를 취하면서, 위에서 보고한 수준보다 높았을 것으로 추정했다.

브레이크 라이닝 수리업종에서는 수리하는 브레이크 라이닝 수, 수리방법, 차의 규모에 따라 석면노출농도에 크게 영향을 미친다. 우리나라는 2007년부터 자동차용 석면마찰제품 수입을 금지하였다(노동부, 2006). 또한 2004년부터 자동차 관리법에 의해 석면이 사용된 제동장치를 장착한 차량은 등록이 거부되었다(국토해양부, 2003). 따라서 2003년까지 자동차 브레이크에 석면마찰제품이 광범위하게 사용되었을 것으로 추정된다. 미국 환경부는 1993년에 승용차와 가벼운 트럭 그리고 1996년에 무거운 트럭에 석면 마찰제 사용을 금지하는 조치를 취했다(Paustenbach 등, 2003).

### 기타 산업

선박수리 작업과 석면 포를 사용한 사업장 각각 1개소에서 석면 노출농도가 보고되었다. 선박수리작업에서 석면을 제거한 후 농도는 2.45개/cc로 높거나 0.03개/cc에서 0.09개/cc로 낮은 경우도 있었다(백남원, 1989). 이러한 농도는 Murbach 등(2008)이 보고한 농도와 비슷하다. 해양 선박 배셀(vessel)에서 0.008개/cc(시료 수=1018), 선원들이 일상적으로 머무는 장소 등에서는 0.004개/cc, 그리고 엔진룸과 기계정비소에서는 평균 0.01개/cc였다. 즉, 일반적으로 석면과 관련된 수리가 없을 경우 노출은 언제나 0.1개/cc이하였다고 하였다(Murbach 등, 2008).

기계제조업에서는 기계부품을 용접할 때 부품의 냉각을 방지하기 위하여 용접하지 않은 부분을 석면포로 덮어둔다. 석면포를 열고 용접할 때 보통 석면이 공기 중으로 발생된다. 백남원(1989)은 주조부와 제판부 석면 가스켓 사용부서에서 노출농도 범위는 4.30개/cc - 11.40개/cc, 기하평균은 2.24개/cc로 보고하였다. 석면이 포함된 기계, 설비 등을 사용하거나 석면을 직접 사용한 업종이나 공정은 공정의 특성이나 석면함유량 등에 따라 노출농도는 다르다.

### 연구되지 않은 주요 업종

위에서 고찰한 것처럼 우리나라에서 석면을 직접 취급한 석면방직, 석면슬레이트, 자동차브레이크 제조 등의 산업에서 석면 노출은 일부 보고되었다. 그 외 다양한 석면제품 제조업, 선박, 석면광산, 건설업 등은 석면을 직접 취급하기 때문에 높은 농도의 석면에 노출되는 것으로 알려져 있지만 이에 대한 보고는 거의 없다. 즉, 석면 가스켓 제조 및 설치(packing), 석면 보온(insulation), 석면파이프 제조, 석면을 이용한 각종 건축재료(텍스, 보드, 타일 등) 제조, 석면 전기부품 제조 및 설치(electrical insulation), 건설업에서의 석면 사용 등에 대한 노출농도는 알려지지 않았다. 외국에서 보고된 일부 업종에 대한 석면노출농도를 정리하였다.

최근에 Williams 등(2007)은 1940년부터 2006년까지 각종 석면제품에서 석면의 함유량과 이들을 산업에서 사용했을 때 노출되는 농도를 고찰하였다. 석면 노출은 동일 산업에서도 실제 석면을 취급한 직무나 일의 특성에 따라 다르다. 건설업에서는 석면스프레이, 건조혼합(dry mixing), 석면제품의 커팅과 설치 작업 등은 환기시설이 잘 되어 있다 하더라도 노출농도는 매우 높은 수준(대부분 2개/cc 이상)으로 요약되었다. 선박수리업에서는 스프레이 된 청석면 제거, 파이프 보온용 석면 설치 및 제거, 파이프 lagging과 관련된 모든 작업 등에서 매우 높은 것(대부분 10개/cc를 훨씬 초과)으로 보고되었다.

Hagemeyer 등(2006)은 독일에서 가스켓 제조업에서 석면 노출 농도를 1970-74년에 6.6개/cc-8.0개/cc, 1980년대 4.7개/cc-7.8개/cc, 1990년대에 0.7개/cc-1.6개/cc로 보고했다. 한편 일반 산업, 화학산업 등에서 석면노출은 주로 석면 가스켓 설치 및 제거 할 때이다. 석면 가스켓은 일반 산업, 선박, 화학장치 산업, 에너지 공장 등의 각종 파이프류, 밸브류 그리고 각종 기계류(펌프, 덕트 등) 등에 광범위하게 쓰인다. 가끔 산과 같은 화학물질을 사용하는 환경에서 청석면을 사용하는 경우를 제외하고는(Madl 등, 2007), 대부분의 가스켓에는 40 % - 100 %의 백석면이 들어 있다(Pamela 등, 2007). Madl 등(2007)은 시뮬레이션과 현장조사로부터 채취한 300개 이상의 시료에서 가스켓 설치, 제거 등의 작업에서 노출된 석면수준이 단시간노출기준(1개/cc)과 시간가중 평균 노출농도(0.1개/cc) 이하인 것으로 보고했다. 그러나 기계 브러쉬(powered wire brush)를 이용해서 기계 플랜지에 붙어 있는 가스켓을 제거할 때 농도가 1개/cc를 넘는 경우도 있었다. 이러한 작업은 1-2분 짧은 시간 동안 이루어지므로 노출기준을 초과하지는 않는다(Madl 등, 2007).

자동차 브레이크 패드와 슈즈를 포장하고(packing) 꺼내는(unpacking) 작업에서도 석면노출이 일어난다. 자동차 수리 공정에서 사용할 새 브레이크 패드나 슈즈 박스를 포장하고

꺼내서 사용할 때 박스 내에 남아 있는(residual asbestos) 석면에 노출된다. Madl 등(2008)은 브레이크 패드나 슈즈 박스를 포장하고 꺼내는 작업을 시뮬레이션하여 석면 노출농도를 평가하였다. 브레이크패드와 슈즈 각각 4-20개의 박스를 꺼내고 다시 포장할 때 석면 노출농도 범위는 각각 0.086개/cc - 0.368개/cc와 0.021개/cc - 0.126개/cc였다. Jiang 등(2008)은 자동차 석면 크리치를 포장하고 꺼낼 때 각각  $0.026 \pm 0.004$ 개/cc,  $0.1 \pm 0.017$ 개/cc에 노출된다고 보고했다. 이러한 노출농도를 TWA로 환산하면 그 범위가 0.002개/cc - 0.006개/cc였다. 이러한 작업 주변에서 있는 경우에도 석면에 노출되지만(각각  $0.002 \pm 0.001$ 개/cc,  $0.004 \pm 0.002$ 개/cc), 평균 노출농도는 0.1개/cc를 초과하지 않았다. 노출농도는 취급한 박스 개수가 많고, 거리가 가까울수록 높았다 (Madly 등, 2008; Williams 등, 2007). 석면이 들어가는 자동차 부품(브레이크 라이닝, 패드, 슈즈 등)을 포장하고 꺼낼 때 그리고 이들을 수리할 때 모두 석면에 노출된다. 이러한 노출은 보통 짧은 시간에 일어나고 TWA미만이지만 작업하는 짧은 시간 동안 석면 노출은 높을 수 있을 것으로 요약할 수 있다.

Fischbein 등(1979)이 건설업에서 석고보드(drywall, gypsum)를 벽에 설치할 때 보고한 석면 노출농도는 매우 높다. 석고 벽이나 화반죽에 들어있는 백석면은 6 - 12 % 범위이다. 특히 높은 농도는 벽이 건조된 후, 보드 사이의 접합 부분을 마무리 하는 작업(sanding)으로 2.3개/cc - 47.2개/cc였다. 바닥을 청소(41.4개/cc), 건조 혼합(47.2개/cc) 그리고 막대기로 마무리 하는 작업(10개/cc)에서 특히 높은 것으로 보고되었다.

Brown (1987)은 석면시멘트빌딩을 해체하는 근로자 근처의 TWA의 범위가 0.02 - 0.60개/cc로 보고했다. 노출농도는 지붕의 건조 혹은 습식 그리고 벽의 재질 등에 따라 차이가 있었다. 또한, 석면시멘트 지붕을 교체할 때 노출되는 농도는 0.1개/cc, 지붕에 페인트를 칠하는 경우나 습식청소 때는 대략 0.1개/cc - 0.2개/cc 정도 노출되는 것으로 보고했다. 이러한 작업을 할 때 시멘트 표면이 벗겨지지 않게 하거나 주의 깊게 작업한다면 노출을 줄일 수 있다고 하였다 (Brown, 1987). ACM이 들어있는 건물을 해체할 때 PCM과 TEM으로 모니터링 한 석면농도는 0.1개/cc를 초과하지 않은 것으로 보고했다 (Perkins and Hargheheimer, 2002; Perkins 등, 2007). 그러나 건물에 들어있는 다양한 ACM에 따라 노출수준은 달라질 수 있다(Perkins and Hargheheimer, 2002).

#### IV. 고 찰

본 연구는 우리나라 산업장에서 보고된 공기 중 석면농도를 산업, 공정, 측정된 시기, 측정 및 분석방법 등에 따라 고찰

하였다. 1984년부터 1994년까지 석면방직업, 석면슬레이트업, 브레이크 라이닝, 그리고 일부 산업에서 석면농도가 평가된 것을 확인하였다. 1994년까지 석면이 사용된 일부 주요 산업(방직업, 슬레이트제조 등)에서 보고된 노출농도는 시간이 지남에 따라 감소되었지만 현재의 노출기준(0.1개/cc)을 훨씬 넘는 수준이었다. 1995년 이후 근로자의 석면노출은 보고되지 않아 산업별 시기에 따른 노출수준의 변화를 정리하지 못했다. Park 등(2008)은 1995년 이후 석면노출농도를 서울대학교 보건대학원에 석면분석을 의뢰한 시료의 시기별로 구분하여 분석한 평균농도를 보면, 1995-1997년은 0.58개/cc(시료 수=739) 그리고 1998년 이후는 0.1개/cc 이하(1998-2000년; 0.09개/cc, 2001-2003; 0.05개/cc, 2004-2006; 0.03개/cc)로 나타났다. 2000년 이전에는 석면을 직접 취급한 산업그룹(primary asbestos industry; 석면방직, 슬레이트 등)에서는 노출농도가 0.1개/cc를 초과한 것으로 보고하였다. Park 등(2008)이 보고한 1995년 이후 석면농도를 표본 또는 대표적인 농도라고 단정하는 것은 곤란하다. 작업환경측정기관이 채취한 시료 수가 측정된 사업장이나 공정의 전체 근로자를 대표하기에는 충분하지 않았고, 과소평가될 가능성도 있을 수 있기 때문이다. 다만 최소한으로 노출된 수준으로 가정할 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라 국민 1인당 석면 사용량은 1997년까지 1.2 kg에서 2.3 kg이 된다. 1997년 이후로 감소하기는 했지만 여전히 국민 1인당 석면 사용량은 0.7 kg에서 1.2 kg으로 주요 선진국의 2000년대 사용량인 1 kg에 비해 많다. 우리나라에서 석면이 최근까지 광범위하게 사용된 증거이다. 석면 사용에 따른 건강상의 장애는 앞으로 늘어날 것으로 충분히 예측된다. 따라서 향후 석면을 사용한 혹은 석면이 발생된 산업이나 공정의 현황, 여기서 일했던 근로자 수, 이들의 과거 노출 정도 등에 대한 자료나 추정자료는 절대적으로 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 본 연구에서 고찰한 일부 한정된 기간(1984년 - 1994년)의 일부 석면취급 업종의 석면노출 농도만으로는 부족하다.

첫째, 우리나라의 석면사용 혹은 노출 특성을 사용시기, 산업, 사업장 수, 근로자 수, 노출농도 등으로 구분한 정보가 필요하다. 부족할 경우 믿을만한 정보를 근거로 추정해야 한다. 최정근 등(1998)이 1944년 충남 홍성지방의 광천에서 4815톤의 백석면을 생산하여 우리나라 생산량의 90 %를 담당하였다. 참여한 근로자수는 약 1,100명이었고, 지역주민이 약 2,000명 정도인 것으로 보고한 것이 유일하다. 1984년 광천석면이 폐광될 때까지 우리나라에서 생산된 석면의 총 생산량은 145,000톤이었으며 대부분 백석면인 것으로 알려져 있다(최정근 등, 1998).

산업안전보건법은 석면이 사용된 한 참 후인 1990년부터

석면을 허가대상물질로 사용허가를 받도록 했기 때문에 그 이전에 사용한 사업장이나 노출된 근로자에 대한 정보가 없을 것으로 판단된다. 1991년부터 2006년까지 석면 제조 허가 사업장수는 총 81개이다(안연순, 2007). 또 1993년부터 2006년까지 석면관련 건강관리수첩을 교부 받은 근로자수는 총 573명이다(안연순, 2007). 물론 이들만이 석면에 노출된 것은 아니다. 1990년 이전에 적어도 석면을 직접 취급한 업종, 사업장 수 그리고 노출된 근로자수는 알아내거나 추정해야 한다. 한 사례로 프랑스는 자동차 브레이크 정비자의 수를 조사한 다음 이들에 대한 석면 노출농도를 시기별로 추정하는 한편 암으로 인한 사망자수를 추정했다(Imbemon 등, 2005). 특히 정비자의 수는 인구 센서스의 산업별 코드, 직업전문가 코드 등에 따라 추정하여 석면으로 인한 위험을 16-60세의 남자 총 242,360명에 대해 추정했다. 가능하다면 우리나라에서도 업종별 석면노출에 따른 위험을 추정해야 한다. 우리나라에서도 1993년부터 2007년까지 석면을 직접 취급한 6명(석면방직업; 3명, 석제품제조; 1명, 시멘트제조; 1명, 자동차 부품제조; 1명)이 악성 중피종으로 직업병인정을 받았다(Ahn and Kang, 2007).

둘째, ACM을 취급한 업종이나 공정의 근로자에 대해서 노출특성(근로자수, 사업장수, 노출농도 등)에 대한 정보가 필요하다. ACM이 매우 다양한 산업과 공정에 사용되었음에도 불구하고 노출특성이 보고되지 않았다. 우리나라에 수입된 석면은 1970년대에 약 96%가 석면슬레이트에 사용되었으나 1990년대에는 슬레이트와 보온단열재인 건축내장재, 천정판, 석면판 등에 약 82%를 사용했다. 다음으로 많이 사용한 사업장은 석면마찰제 생산사업장으로 자동차와 기차, 중장비용 브레이크 라이닝과 패드, 클러치 페이싱 등에 약 11%가 사용된 것으로 보고되었다(안연순 등, 2007). 특히, 석면슬레이트를 제외하고 건축업 등에 대한 노출 특성이나 노출수준이 보고된 적이 없다. 건설업에서 석면노출농도가 가장 높은 것은 (Fischbein 등, 1979) 물론 건설업 관련직업(미장작업자, 도장, 배관공, 전기설비 등)에서 암 발생 위험이 높은 것은 잘 알려져 있다(HSE, 2009). 우리나라에서도 1993년부터 2007년까지 ACM을 취급하는 작업을 했던 12명이 악성 중피종으로 직업병인정을 받았다(Ahn and Kang, 2007).

셋째, 매년 주기적으로 산업장에서 측정된 석면 노출에 대한 결과를 분석하고 평가하는 것이 필요하다. 노동부 산업안전보건법이 제정된 1981년 이래로 산업장에서 측정된 석면농도가 공식적으로 보고된 적이 없다. 일부 사업장에서 석면 분석을 의뢰한 기관을 통해 부분적으로 보고된 석면자료(안연순 등, 2007; Park 등, 2008)는 있지만 우리나라 전체의 자료는 아직 보고되지 않았다. 사업장에서 측정한 과거 석면 노출농도를 업종별, 사업장별, 시기별로 구분하여 과거 노출농도

를 추정하고 이를 활용할 수 있는 방안을 검토해야 한다. 과거 석면노출을 추정하는데 매우 중요한 자료이기 때문이다.

위에서 언급한 정보들을 바탕으로 특정 산업이나 공정별 근로자의 석면 누적 노출농도를 추정하는 연구가 필요하다. Williams 등(2007)은 Texas에 있는 석유 정제업의 기술 근로자들이 노출되었던 과거 석면수준을 평가했다. 이 연구는 1940년부터 2006년까지 12개 직무군(보온, 파이프설치, 보일러시공, 석공, 용접, 금속작업, 전기, 도장, 배관, 정비, 목수 등)의 과거노출을 평가했다. 보온작업자의 추정된 노출농도는 1940년-50년; 9개/cc, 1951-65년; 8개/cc, 1966-71년; 2개/cc, 1972-75년; 0.3개/cc, 1976-85년; 0.005개/cc, 1985년 이후 <0.001개/cc였다. 다른 직종에서 농도는 보온작업자가 노출된 이러한 농도보다 약 50-100배 낮은 것으로 추정했다(Williams 등, 2007). 이처럼 보온작업자의 추정된 농도는 독일에서 Hagemeyer 등(2006)이 보고한 1970-74년에 15개/cc-18개/cc, 1980년대 8.6개/cc-14.0개/cc, 1990년대에 0.2개/cc-0.5개/cc 보다는 전반적으로 낮았다.

넷째, 석면이 들어간 건물, ACM 등을 다루거나 해체하는 근로자의 석면노출 및 관리방안이 필요하다. 이 문제는 국외에서도 겪고 있다. 석면을 이룬 시기에 규제했거나 사용량이 급격하게 감소된 유럽과 미국 등에서 관심을 갖고 있다. 즉 석면건물을 해체할 때 석면 노출 농도와 이러한 작업을 수행한 근로자들의 석면관련 질병 발생률 등이 미래의 주요 관심사이다. 우리나라에서도 2003부터 석면이 들어있는 건축물 및 설비를 해체, 제거하고자 하는 때에는 허가를 받도록 했다(노동부, 2003). 2006년을 기준으로 석면함유 건축물 해체, 제거 허가된 수는 총 872개소로 매년 급격히 증가(2004년 8개소, 2005년 115개소, 2006년 749개소)하고 있다.

앞으로 석면 해체 작업을 수행하는 업체는 물론 근로자수는 늘어날 것이 당연하다. 이들에 대한 석면노출농도는 물론 근로자 관리를 추정해야 할 것이다. 석면이 들어간 건물 정비, 건물 해체, 건물 내부 개선(renovation)과 관련된 일에서 근로자나 일반인들의 노출을 예방하기 위한 충분한 조치를 취해야 한다(CDC, 2009).

본 연구결과를 활용할 때 고려해야 할 몇 가지 한계점이 있다. 연구마다 서로 다른 시료 수에 따른 석면농도를 보정하였지만, 시료 수에 대한 정보가 제공되지 않은 농도로 인해 시료 수가 보정된 석면 노출농도의 대표성에 의문이 있을 수 있다. 시료 수를 보정하지 않았을 때의 농도도 함께 설명하였기 때문에 목적에 따라 활용하면 될 것으로 판단된다. 또한 기존의 연구된 경우가 우리나라 과거 석면사용 사업장 또는 근로자의 노출농도의 진정한 대표치인지도 고려하여야 한다. 수십 년간 수십개의 사업장에서 사용되었지만, 전체 사업장수에 비해 측정보고된 결과 수가 매우 제한되어 있다.

또한 연구의 특성상 접근이 가능한 사업장만을 들어가게 되는 선택적 편견(Bias)도 있을 것으로 추정된다.

## V. 감사의 글

이 논문은 2007학년도 한국방송통신대학교 국외연수비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

국토해양부. 자동차 관리법, 법률 제6730호, 2003  
 노동부. 산업안전보건법시행령 제30조 허가대상 유해물질, 대통령령 제18043호, 2003  
 노동부. 석면함유제품의 제조, 수입, 양도, 제공 또는 사용 금지에 관한 고시. 노동부 고시 제2006-25호. 2006  
 노동부. 석면함유제품의 제조, 수입, 양도, 제공 또는 사용 금지에 관한 고시. 노동부 고시 제2007-26호. 2007  
 노동부 국립노동과학연구소. 사업장 유해환경실태조사, 1984, 연보 23호(84-3호)  
 노동부 국립노동과학연구소. 석면취급작업장의 보건실태 조사연구, 1987, 연보 49호(87-5호)  
 박두용, 백남원. 석면슬레이트 제조 및 석면 방직 사업장 근로자의 석면 분진 폭로, 한국환경위생학회지, 1988;14(2):13-27  
 박정임, 윤충식, 백남원. 석면방직업 근로자의 석면 노출실태와 과거농도 추정에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 1995;5(1):16-39  
 백남원, 이영환. 석면 취급 사업장 근로자의 석면 폭로 특성에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 1991;1(2):144-153  
 백남원. 우리나라 석면 산업장 근로자의 석면 폭로 실태에 관한 연구. 보건학 논집, 1989;42:115-121  
 신용철, 백남원. 자동차 정비업 종사자의 석면분진 폭로에 관한 조사 연구, 한국환경위생학회지, 1989;15(1):19-32  
 안연순, 김현욱, 김창윤, 박재성, 김정숙 등. 석면취급근로자의 흉막비후 조사를 통한 직업병 조기진단 및 향후 석면 직업병 발생을 예측, 한국산업안전보건공단, 보건분야 연구자료, 연구원 2007-123-1054  
 오세민, 신용철, 박두용, 박동욱, 정규철. 일부 석면 취급사업장의 석면 폭로 농도 및 작업환경관리 기준에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 1993;3(1):100-109  
 윤임중, 박정일, 이원철, 임영, 김경아. 석면취급 작업장의 환

경 및 근로자에 대한 역학조사, 한국산업위생학회지, 1993;5(1):137-151  
 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라 석면생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화, 한국산업위생학회, 1998;8(2):242-253  
 Ahn YS, Kang SK. Asbestos-related occupational cancers compensated under the Industrial Accident Compensation Insurance in Korea. *Ind Health*. 2009 Apr;47(2):113-22  
 Aitchison, J. and J. A. C. Brown (1963). "The lognormal distribution." Cambridge University Press: 8  
 Brown SK. Asbestos exposure during renovation and demolition of asbestos-cement clad buildings. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1987;48(5):478-86  
 Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Malignant mesothelioma mortality--United States, 1999-2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2009 Apr 24;58(15):393-6  
 Fischbein A, Rohl AN, Langer AM, Selikoff IJ. Drywall construction and asbestos exposure. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1979;40(5):402-7  
 Health Safety Executive (HSE) ; RR696: Occupational, domestic and environmental mesothelioma risks in Britain, 2009, <http://www.hse.gov.uk/research/rhhtm/rf696.htm>  
 Hagemeyer O, Otten H, Kraus T. Asbestos consumption, asbestos exposure and asbestos-related occupational diseases in Germany. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006;79(8):613-20  
 Imbersen E., Marchand, JL., Garras, L., Golderg, M.: Quantitative assessment of the risk of lung cancer and pleural mesothelioma among automobile mechanics. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2005 Nov;53(5):491-500  
 Jiang GC, Madl AK, Ingmundson KJ, Murbach DM, Fehling KA, Paustenbach DJ, Finley BL. A study of airborne chrysotile concentrations associated with handling, unpacking, and repacking boxes of automobile clutch discs. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2008 Jun;51(1):87-97  
 Kauppinen T, Korhonen K. Exposure to asbestos during brake maintenance of automotive vehicles by different methods. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1987;48(5):499-504  
 Lemen RA. Asbestos in brakes: exposure and risk of disease. *Am J Ind Med*. 2004;45(3):229-37  
 Madl AK, Scott LL, Murbach DM, Fehling KA, Finley BL, Paustenbach DJ. Exposure to chrysotile asbestos associated with unpacking and repacking boxes of automobile brake pads and shoes. *Ann Occup Hyg*. 2008 Aug;52(6):463-79  
 Murbach DM, Madl AK, Unice KM, Knutsen JS, Chapman PS,

- Brown JL, Paustenbach DJ. Airborne concentrations of asbestos onboard maritime shipping vessels (1978-1992). *Ann Occup Hyg.* 2008 Jun;52(4):267-79
- Park D, Choi S, Ryu K, Park J, Paik N. Trends in occupational asbestos exposure and asbestos consumption over recent decades in Korea. *Int J Occup Environ Health.* 2008;14(1):18-24
- Paustenbach DJ, Richter RO, Finley BL, Sheehan PJ. An evaluation of the historical exposures of mechanics to asbestos in brake dust, : *Appl Occup Environ Hyg.* 2003 Oct;18(10):786-804
- Paustenbach, DJ., Lu, ET., Finley BL., Brorby GP., Sheehan PJ.: Environmental and occupational health hazards associated with the presence of asbestos in brake lining and pads (1900 to present): a state-of-the-art review., 2003, Plaintiff's exhibit
- Perkins RA, Hargesheimer J. Demolition of gypsum wallboard with asbestos-containing material. *Practice Periodical of Harz and Radioactive Waste Management*, 2002 Oct;6(4);235-243
- Perkins RA, Hargesheimer J, Fourie W. Asbestos release from whole-building demolition of buildings with asbestos-containing material. *J Occup Environ Hyg.* 2007;4(12):889-94
- Seixas, N. S., T. G. Robins, et al. The use of geometric and arithmetic mean exposures in occupational epidemiology. *Am J Ind Med* 1998;14(4):465-77
- Williams, P., Williams P, Paustenbach D, Balzer JL, Mangold C. ; Retrospective exposure assessment of airborne asbestos related to skilled craftsmen at a petroleum refinery in Beaumont, Texas (1940-2006). *J Toxicol Environ Health A.* 2007 Jul;70(13):1076-107
- Williams PR, Phelka AD, Paustenbach DJ. A review of historical exposures to asbestos among skilled craftsmen (1940-2006). *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2007;10(5):319-77