

# 우리나라 석면함유제품 취급 사업장의 공기 중 석면 농도의 시간적 변화

피영규\*

대구한의대학교 보건학부

## Time Trend in Airborne Asbestos Concentrations among Asbestos-containing Material Handling Industries in Korea, 2000 to 2005

Young Gyu Phee\*

Faculty of Health Science, Daegu Haany University

### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to evaluate trends in asbestos exposure among asbestos-handling industries from 2000 to 2005.

**Methods:** The data included the number of industries and workers exposed, concentrations of asbestos and the amount exceeded, and the type and size of industry by year. These data were collected by 46 regional employment and labor offices in Korea using work environment monitoring reports. A total of 1,481 samples from 284 industries were extracted from the reports and were analyzed with no data modification.

**Results:** The means of asbestos concentration decreased from 0.84 f/cm<sup>3</sup> to 0.03 f/cm<sup>3</sup> during the period 2000-2005. Among the total of 1,481 samples, 11 samples(0.7%) exceeded the KOEL, and 178 samples(12.0%) were ACGIH TLV. The insulating paper product manufacturing industry was found to have the highest level of asbestos, followed by the fireproofing manufacturing industry, brake lining products manufacturing industry, commutator products manufacturing industries, and construction materials manufacturing industry. The number of asbestos handling industries decreased from 48 industries with 1,155 employees to 37 industries during the period of 2000 to 2005, but the number of asbestos workers expanded to the point that 1,182 employees could be found in 2005.

**Conclusion:** Based on these results, the strengthening of the KOEL and new regulations turned out to help reduce asbestos exposure levels. This study recommends that retrospective exposure to asbestos based on various industry types should be assessed.

**Key words:** asbestos, concentration, work environment monitoring data, time trend

## I. 서 론

석면은 과거부터 탄성력과 장력이 높고 내화학성과 내열성이 우수하여 건축자재, 마찰재, 펠트, 패키징과 가스켓, 건물의 타일, 종이, 절연체와 방직물 등 다양한 제조물에 사용되어 왔다(ILO, 1998). 또한 석면은 석면함유제품의 제조과정은 물론 석면제거, 건물해체, 건물 유지·관리, 브레이크 수리와 교환 등에서

도 노출이 가능하다(Kelly, 2002).

핀란드 직업건강연구소(Finnish Institute of Occupational Health, FIOH)에 의하면 2000년 기준으로 전 세계 석면 생산은 2백만 톤 이상이었는데, 주된 생산국은 러시아, 중국, 캐나다로 생산량은 각각 700,000톤, 450,000톤, 335,000톤 정도이며 생산된 거의 모든 석면은 세계 각국으로 수출되고 있다고 보고하였다(Tossavainen, 2001). 또한 세계적으로 백석면이 가장 많이 판매되는

\*Corresponding author: Young Gyu Phee, Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1208, E-mail: yphee@dhu.ac.kr  
Faculty of Health Science, Daegu Haany University, 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38610  
Received: December 10, 2016, Revised: December 16, 2016, Accepted: December 17, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

석면 중 하나이며, 생산되는 2백만 톤의 99%를 차지한다고 한다. 우리나라는 1976년에서 1990년까지 연평균 약 63,000톤을 캐나다, 중국, 짐바브웨 등에서 석면 원 재료를 수입하였으며, 1992년에는 95,476톤으로 최고치를 기록하였으나 1995년 이후 지속적으로 감소하여 2004년에는 약 1만 4천톤 정도를 수입하였다(MoL, 2006). 우리나라는 사실상 2009년부터 석면이 전면 금지되었고 그 이전에 석면수입이 감소경향이었다고 하지만 석면의 인체 잠복기가 약 30년임을 고려하면 직업병자 발생은 지속될 것으로 예상된다.

석면은 심각한 발암물질로서 임상연구와 역학연구에서 폐암과 늑막과 복막에 악성중피종, 석면폐, 폐암은 물론 장관계의 암(Frumkin & Berlin, 1988; Doll, 1995)과 인후두암, 유방암, 난소암, 신장암(Maclure, 1987)등도 유발한다고 보고되어 있다. 이에 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 석면을 인간 발암확인물질(Group 1)로 규정하고 있으며 미국 직업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 X등급, 미국 산업위생 전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 A1으로 구분하고 있다(IARC, 1987; OSHA, 2006; ACGIH, 2007).

석면에 대한 피해가 확산됨에 따라 2005년부터 모든 유럽연합 국가는 석면의 수입, 제조, 매매 및 사용을 금지하고 있다(Tossavainen, 2004). 그러나 아시아계 국가와 일부 개발도상국에서는 백석면 등에 대하여 일정한 조건 하에서 안전하게 사용하는 것을 허용하고 있다(Takahashi & Karjalainen, 2003). 우리나라도 1997년에 청석면과 갈석면을, 2003년에는 악티노라이트, 안소필라이트와 트레모라이트에 대하여 제조 등을 금지하였지만, 2009년 전면 금지되기 이전까지는 석면을 제조·사용하는 경우 사전에 고용노동부의 허가를 받아 사용하도록 하였다(MoEL, 2007). 또한 산업안전보건법에서 석면 노출 근로자에 대하여 작업환경측정을 실시하고, 노출기준 초과 시 작업환경을 개선하도록 하고 있다. 석면의 노출기준은 2003년에 2 f/cm<sup>3</sup>에서 0.1 f/cm<sup>3</sup>로 강화되었고, 개정된 노출기준은 미국 국립직업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety & Health, NIOSH)의 권고노출기준(Recommended Exposure Limits, RELs)과 ACGIH의 서한도(Threshold Limit

Values, TLVs), OSHA의 허용노출기준(Permissible Exposure Limits, PELs)과 동일한 수준이다(OSHA, 2006, ACGIH, 2007).

과거의 노출자료는 환자-대조군 연구나 후향성 코호트 연구 등의 역학 연구를 수행할 때 상당히 중요한 자료이다(Hornung, 1991). 또한 과거 30년간에 걸쳐 직업적 연구와 관련된 노출평가의 질은 상당히 진보되어 왔으며 측정자료의 활용 증가, 시간에 따른 평균 노출의 중요성과 그에 따른 통계학적 적용은 측정자료가 역학적 연구에 충분히 활용될 수 있는 신뢰성을 향상시켜 왔다(Rappaport, 1991; Blair & Stewart, 1992). 석면으로 인한 직업병의 위험은 누적생애노출(cumulative life time exposure)이 높을수록 늘어나고, 최초 노출된 이래로 노출시간이 길어질수록 증가된다. 따라서 수년간 우리나라 석면함유제품 취급사업장에서 공기 중으로 발생된 석면의 노출수준을 파악한다는 것은 과거 석면 노출근로자의 직업병 이환에 관한 직접적 자료로서 활용은 물론 향후 직업병 발생의 사전 예방과 발생수준도 예측할 수 있다는 차원에서도 의미가 있다.

과거 석면함유제품 취급사업장에 대한 노출평가에 대한 연구가 국내에서 일부 연구진에 의해 수행된 바 있는데 석면슬레이트 제조 및 방직사업장(Park & Paik, 1988)과 브레이크제조 사업장 및 자동차 정비업 종사자(Shin & Paik, 1989; Paik & Lee, 1991; Oh et al., 1993)가 대상이었다. 또한 석면의 과거 노출농도를 추정하기 위한 연구도 Park et al.(1995a), Park et al.(2008), Park et al.(2009)에 의해서 수행된 바 있다. 그러나 미국의 경우 OSHA의 감독 목적으로 축적된 자료(Integrated Management Information System, IMIS)를 후향적 노출평가 및 직업건강감시프로그램에 활용하기 위해 과거 노출수준을 파악하는 연구가 많이 보고되고 있다(Stewart & Rice, 1990; Gomez, 1997; Teschke et al., 1999; Coble et al., 2001).

국내 연구의 경우 석면 노출에 대한 정보는 1990년 전후 자료이고, 업종별로 국한되어 있거나 석면에 대한 과거 노출을 추정한 연구이며, 2000년대 초반 석면함유제품 취급사업장의 노출수준을 파악한 연구는 드문 실정이다.

따라서 본 연구는 2000년부터 2005년까지 우리나라 석면함유제품 취급사업장에 대하여 연도별 취급

사업장 수와 노출 근로자 수를 확인하고, 석면의 노출수준을 연도별, 사업장 규모별, 지역별, 업종별로 파악하여 향후 석면의 과거 노출수준을 추정에 근거 자료로 제시하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

2000년부터 2005년까지 전국 석면 취급사업장에 대한 정보를 지방고용노동관서 및 작업환경측정기관을 통하여 확보하였다. 확보된 자료에는 측정 실시 연도, 사업장 명, 업종, 주생산품, 사업장 총 근로자 수, 소재지, 부서 또는 공정, 단위작업장소, 해당 공정근로자 수, 시간가중평균 측정치, 측정방법 등에 대한 내용이 포함되어 있었다. 총 수집된 시료는 1,484개 이었으나 물질(bulk)시료 등을 제외하고 최종 1,481개의 결과에 대하여 분석을 수행하였다.

6년간 석면 취급사업장 수는 총 284개소로 나타났고 지역별로는 경상지역이 45.1%(128개소)로 가장 많았으며 그 다음으로는 경인지역이 40.5%(115개소), 충청지역 9.2%(26개소), 전라지역 3.9%(11개소), 서울 1.4%(4개소)로 확인되었다. 사업장 규모별로는 50인 미만 사업장이 66.2%(188개소)로 가장 많았고 50~300인 미만 사업장 21.8%(62개소), 300인 이상 사업장은 12.0%(34개소)이었다(Table 1).

### 2. 연구 방법

#### 1) 석면 시료 채취 및 분석

당시 고용노동부의 공기 중 석면에 대한 시료채취 및 분석방법은 여과포집방법에 의한 계수방법이 원칙이었다(MoL, 2007). 석면의 시료채취는 직경 25 mm 공극 0.8 μm의 cellulose membrane filter를 사용하여 50

mm 카울을 활용하고, 분석은 위상차현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM)을 활용하여 계수하는 NOISH 7400방법을 사용하였다(NIOSH, 1994). 또한 조사대상 기간 동안 지정측정기관에서 채취한 모든 석면에 대한 정량분석은 국제 정도관리 프로그램(American Industrial Hygienist Association(AIHA)-Industrial Hygiene Proficiency Analytical Testing Program, IHPAT)에 참여하여 정확도와 정밀도를 관리하고 있는 분석기관에 의뢰함에 따라 분석에 대한 신뢰성은 검증된 것으로 가정하여 노출농도를 활용하였다.

#### 2) 자료의 분석

조사한 자료들의 통계분석은 SPSS(Version 20.0K, USA) 프로그램을 사용하였다. 일반적으로 유해물질의 농도는 대수정규분포를 보이지만 대수정규분포라 할지라도 평균노출을 가장 잘 나타내는 대표 값은 산술평균이며, 기하평균이 대수정규분포에서 산술평균보다 낮기 때문에 기하평균을 사용하는 것은 평균노출을 과소 추정하게 된다는 점을 감안하여 각 변수별 석면농도는 산술평균(표준편차)과 범위로 제시하였고, 연도별 석면농도만 기하평균을 함께 제시하였다(Mullhausen & Damiano, 1998).

석면농도의 연도, 사업장 규모, 지역 및 업종간 차이는 α=0.05 수준에서 단변량 분산분석(ANOVA)을 scheffe의 다중비교로 검정하였다. 시간경향적 분석의 목적에 따라 불검출로 보고된 측정치는 추정된 검출한계 값과 동일하게 대체하며, 검출한계 값은 채취용량이 최대용량임을 가정하여 각 물질에 대한 OSHA방법의 분석검출한계에 근거하여 추정하는 것을 Coble et al.(2001)이 제안하였지만, 본 연구에서는 Hornung & Reed(1990)가 제안한 검출한계를 2로 나눈 값을 불검출 값으로 하였다.

Table 1. General characteristics of the asbestos-containing material handling industries

( ) : %

Area	Total	Size of employees		
		< 50	50~299	≥ 300
Seoul	4 (1.40)	3 (1.10)	0 (0.00)	1 (0.40)
Kyung In	115 (40.50)	78 (27.50)	28 (9.90)	9 (3.20)
Chung Cheong	26 (9.20)	24 (8.50)	1 (0.40)	1 (0.40)
Geon La	11 (3.90)	0 (0.00)	5 (1.80)	6 (2.10)
Kyung Sang	128 (45.10)	83 (29.20)	28 (9.90)	17 (6.00)
Total	284 (100.00)	188 (66.20)	62 (21.80)	34 (12.00)

### III. 연구결과

#### 1. 연도별 석면 취급사업장 및 노출 근로자 수

Figure 1은 2000년부터 2005년까지 연도별로 우리나라 석면 취급사업장 및 노출근로자 수를 나타낸 것이다. 석면 취급사업장은 2000년 48개소에서 2002년 56개소로 증가추세를 보이다가 석면의 노출기준이 강화된 2003년 43개소로 감소하였고, 2005년은 37개소로 최저치를 보였다. 또한 석면노출 근로자 수도 2000년 1,155명을 시작으로 2002년에 최대 2,569명으로 증가하였다가 이후 지속적으로 감소하여 2005년에는 1,182명의 근로자가 석면에 노출된 것으로 확인되었다.

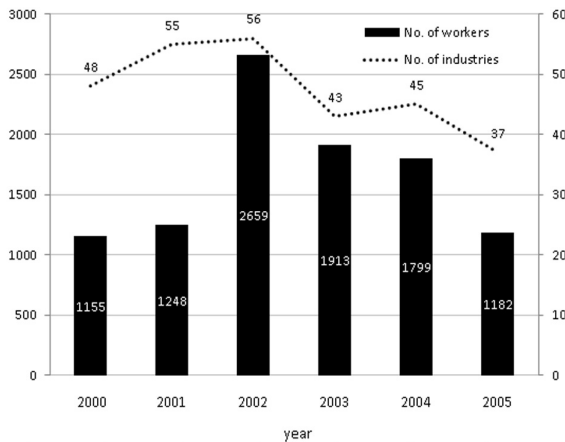


Figure 1. Number of industries and workers exposed to asbestos by year, 2000-2005

#### 2. 연도별 공기 중 석면의 노출 수준

##### 1) 연도에 따른 석면의 노출농도 및 노출기준 초과율

2000년부터 2005년까지 석면의 노출농도가 가장 높았던 연도는 2000년으로 평균 0.84 f/cm<sup>3</sup>이었고, 2001년에 평균 0.07 f/cm<sup>3</sup>로 급감하였다. 그 후 석면농도는 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 노출기준이 강화된 2003년의 경우 2002년의 절반 수준으로 감소하였다(Table 2).

2000년부터 2002년까지 우리나라 석면의 노출기준 초과공정은 발생되지 않았으나 2003년은 1.4%, 2004년 0.3%, 2005년은 2.9%의 초과율을 보였다. 그러나 석면의 ACGIH TLV인 0.1 f/cm<sup>3</sup>의 연도별 초과율은 2000년 27.8%로 가장 높았고, 2001년과 2002년은 17% 수준으로 유사하였으며 2004년 이후 부터는 동일한 수준이었다.

##### 2) 연도에 따른 사업장 규모별 석면의 노출농도

Table 3에서 보는 바와 같이 석면의 평균 노출농도를 사업장 규모로 구분해보면 50인 미만의 소규모 사업장이 평균 0.06 f/cm<sup>3</sup>로 50~300인 미만과 300인 이상 사업장에 비해 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였다. 또한 2000년, 2002년 및 2004년 50인 미만 사업장의 석면 평균 노출농도는 타 규모 사업장에 비해 통계적으로 유의하게 높은 수준으로 확인되었다. 그리고 우리나라 석면의 노출기준 초과율 역시 50인 미만 사업장이 타 규모 사업장에 비해 높았으며, ACGIH TLV 초과율도 50인 미만 사업장이 15.6%로 가장 높았고, 300인 이상 사업장 9.5%, 50

Table 2. Airborne asbestos concentrations and levels exceeding of occupational exposure limits by year

Year	N*	Mean(f/cm <sup>3</sup> )±S.D.†	GM‡ (f/cm <sup>3</sup> )	Min(f/cm <sup>3</sup> )	Max(f/cm <sup>3</sup> )	ER1(%)§	ER2(%)	KOEL¶(f/cm <sup>3</sup> )
2000	212	0.84 <sup>a</sup> ±0.13	0.03	0.011	0.94	0.0	27.8	2
2001	233	0.07 <sup>a,b</sup> ±0.13	0.03	0.004	1.07	0.0	17.6	2
2002	250	0.06 <sup>b</sup> ±0.11	0.02	0.004	0.96	0.0	17.2	2
2003	291	0.03 <sup>c</sup> ±0.057	0.02	0.001	0.55	1.4	9.6	2/0.1
2004	286	0.02 <sup>c</sup> ±0.025	0.01	0.001	0.23	0.3	0.3	0.1
2005	209	0.03 <sup>c</sup> ±0.078	0.01	0.001	0.84	2.9	2.9	0.1
Total	1,481	0.05±0.10	0.02	0.001	1.07	0.7	12.0	

\* : Number of samples, † : S.D.: Standard Deviation ‡ : GM : Geometric Mean

§ : Exceed Rate1(%) : (Number of samples over KOEL / Number of samples) × 100

|| Exceed Rate2(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

¶ : KOEL : Korean occupational exposure limit

Table 3. Distribution of asbestos concentrations for industry size by year

Year	Content	Size of employees					
		N*	< 50	N	50~299	N	≥ 300
2000	AM(f/cm³)±SD†	120	0.12 <sup>a</sup> ±0.15	52	0.03 <sup>b</sup> ±0.04	40	0.06 <sup>b</sup> ±0.07
	Range(f/cm³)		0.005~0.94		0.005~0.29		0.005~0.27
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/40.0		0.0/3.8		0.0/22.5
2001	AM(f/cm³)±SD	124	0.08±0.13	65	0.05±0.10	44	0.06±0.17
	Range(f/cm³)		0.004~0.58		0.005~0.67		0.005~1.07
	ER1(%)ER2(%)		0.0/22.6		0.0/12.3		0.0/11.4
2002	AM(f/cm³)±SD	112	0.08 <sup>a</sup> ±0.12	74	0.04 <sup>b</sup> ±0.07	64	0.06 <sup>a,b</sup> ±0.15
	Range(f/cm³)		0.005~0.78		0.005~0.43		0.004~0.96
	ER1(%)ER2(%)		0.0/23.2		0.0/12.2		0.0/12.5
2003	AM(f/cm³)±SD	160	0.04±0.07	105	0.03±0.05	26	0.17±0.02
	Range(f/cm³)		0.004~0.55		0.004~0.31		0.003~0.11
	ER1(%)ER2(%)		2.5/12.5		0.0/6.7		0.0/3.8
2004	AM(f/cm³)±SD	164	0.02 <sup>a</sup> ±0.03	81	0.02 <sup>a,b</sup> ±0.02	41	0.01 <sup>b</sup> ±0.01
	Range(f/cm³)		0.001~0.23		0.005~0.08		0.001~0.08
	ER1(%)ER2(%)		0.6/0.6		0.0/0.0		0.0/0.0
2005	AM(f/cm³)±SD	142	0.03±0.09	39	0.03±0.06	28	0.01±0.01
	Range(f/cm³)		0.001~0.84		0.001~0.38		0.001~0.08
	ER1(%)ER2(%)		3.5/3.5		2.6/2.6		0.0/0.0
Total	AM(f/cm³)±SD	822	0.06 <sup>a</sup> ±0.10	416	0.03 <sup>b</sup> ±0.06	243	0.04 <sup>b</sup> ±0.11
	Range(f/cm³)		0.001~0.94		0.004~0.67		0.007~1.07
	ER1(%)ER2(%)		1.2/15.6		0.2/6.5		0.0/9.5

\* : Number of samples,

† : S.D.: Standard Deviation

‡ : Exceed Rate1(%) : (Number of samples over KOEL / Number of samples) × 100

§ : Exceed Rate2(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

인 이상 300인 미만 사업장이 6.5%로 나타났다.

연도별로는 2003년만 300인 이상 사업장의 평균 석면 노출농도가 가장 높았고, 2000년, 2001년, 2002년, 2004년 및 2005년 모두 50인 미만 사업장이 가장 높은 수준이었다. 전체적으로 석면취급사업장의 약 56%가 50인 미만 사업장에 집중된 것으로 확인되었다.

### 3) 연도에 따른 지역별 석면의 노출농도

석면의 평균 노출농도가 높은 지역은 서울(0.14 f/cm³)로 경인, 충청, 전라 및 경인 지역에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(Table 4). 이 지역에는 브레이크 라이닝을 제조하는 업체가 있었으며 2003년 폐업한 것으로 확인되었다. 고용노동부의 평균 노출기준 초과율이 가장 높은 지역은 충청지역으로 3.8%이었고 경인지역이 0.8%로 나타났다. 또한 석면의 ACGIH TLV를 초과하는 지역도 충청이 25.2%로 가장 높았고 서울이 23.8%로 그 다음 순이었다.

2001년 및 2002년의 경우 서울지역의 석면 평균농도가 각각 0.13 f/cm³, 0.29f/cm³로 가장 높았고, 2000년, 2003년, 2004년 및 2005년 모두 충청지역이 가장 높은 수준이었다. 또한 석면취급사업장은 대부분 경인지역(44.9%)과 경상지역(39.5%)에 집중되어 있었다.

### 3. 연도에 따른 업종별 석면의 노출농도

Table 5는 2000년부터 2005년까지 6년간 석면의 노출농도를 업종별로 파악한 결과이다. 석면의 평균 노출농도가 가장 높은 업종은 절연지 제조사업장(0.13 f/cm³)이었으며 그 다음 순으로는 내화제품 제조업(0.09 f/cm³), 브레이크라이닝 제조업(0.07 f/cm³), 정류자 제조업(0.06 f/cm³), 건축자재 제조업(0.04 f/cm³) 순이었다. 우리나라 석면의 노출기준 초과율 역시 절연지 제조사업장이 가장 높은 7.1%이었고, 브레이크라이닝 제조업이 0.6%로 나타났다. 또한 석면의 ACGIH TLV 초과율은 절연지 제조사업장(57.1%), 내화제품 제조업(33.3%), 브레이크라이닝 제조업(17.6%), 정류

Table 4. Distribution of asbestos concentrations for area by year

Year	Content	Area									
		N*	Seoul	N	Kyung In	N	Chung Cheong	N	Geon La	N	Kyung Sang
2000	AM(f/cm³)±SD <sup>†</sup>		0.05±0.05		0.09±0.13		0.13±0.14		0.06±0.06		0.07±0.12
	Range(f/cm³)	8	0.005~0.18	96	0.005~0.58	18	0.005~0.43	6	0.005~0.17	84	0.005~0.94
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/12.5		0.0/32.3		0.0/50.0		0.0/16.7		0.0/20.2
2001	AM(f/cm³)±SD		0.13±0.18		0.07±0.13		0.10±0.11		0.01±0.01		0.06±0.14
	Range(f/cm³)	8	0.005~0.53	103	0.004~0.67	19	0.007~0.41	6	0.01~0.03	97	0.005~1.07
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/25.0		0.0/19.4		0.0/42.1		0.0/0.0		0.0/11.3
2002	AM(f/cm³)±SD		0.29 <sup>a</sup> ±0.34		0.06 <sup>b</sup> ±0.09		0.06 <sup>b</sup> ±0.06		0.02 <sup>b</sup> ±0.01		0.05 <sup>b</sup> ±0.12
	Range(f/cm³)	5	0.03~0.78	103	0.005~0.43	26	0.004~0.24	11	0.005~0.04	105	0.005~0.96
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/40.0		0.0/18.4		0.0/26.9		0.0/0.0		0.0/14.3
2003	AM(f/cm³)±SD		-	134	0.04 <sup>b,c</sup> ±0.07		0.07 <sup>a</sup> ±0.07		0.04 <sup>b,c</sup> ±0.04		0.02 <sup>c</sup> ±0.03
	Range(f/cm³)	0	-	134	0.001~0.55	24	0.01~0.25	20	0.003~0.12	113	0.001~0.13
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		-		0.7/11.2		12.5/29.2		0.0/15.0		0.0/2.7
2004	AM(f/cm³)±SD		-	140	0.02 <sup>b</sup> ±0.02		0.03 <sup>a</sup> ±0.05		0.01 <sup>b</sup> ±0.01		0.02 <sup>b</sup> ±0.02
	Range(f/cm³)	0	-	140	0.001~0.10	25	0.001~0.23	23	0.001~0.03	98	0.001~0.08
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		-		0.0/0.0		4.0/4.0		0.0/0.0		0.0/0.0
2005	AM(f/cm³)±SD		-	89	0.04 <sup>a</sup> ±0.07		0.06 <sup>a</sup> ±0.19		0.01 <sup>b</sup> ±0.01		0.02 <sup>b</sup> ±0.04
	Range(f/cm³)	0	-	89	0.001~0.37	19	0.003~0.84	13	0.001~0.2	88	0.001~0.38
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		-		4.5/4.5		5.3/5.3		0.0/0.0		1.1/1.1
Total	AM(f/cm³)±SD		0.14 <sup>a</sup> ±0.21		0.05 <sup>b,c</sup> ±0.09		0.07 <sup>b</sup> ±0.11		0.02 <sup>c</sup> ±0.03		0.04 <sup>c</sup> ±0.09
	Range(f/cm³)	21	0.005~0.78	665	0.001~0.67	131	0.001~0.84	79	0.001~0.17	585	0.001~1.07
	ER1(%) <sup>‡</sup> /ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/23.8		0.8/13.4		3.8/25.2		0.0/5.1		0.2/8.0

\* : Number of samples, † : S.D.: Standard Deviation  
 ‡ : Exceed Rate1(%) : (Number of samples over KOEL / Number of samples) × 100  
 § : Exceed Rate2(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

자 제조업(13.1%) 순으로 높았으며, 수리업의 경우 로 수리가 6.5%, 기차 및 자동차 수리가 4.0%, 전해조 수리가 2.4%의 초과율을 보였다.

2000년에 석면의 평균 노출농도가 가장 높은 업종은 내화제품제조업(0.23 f/cm³)이었고, 2002년 자동차 수리업(0.20 f/cm³), 2005년 철도수리업(0.08 f/cm³)이었고, 2001년, 2003년 및 2004년은 절연지제조업이 각각 0.16 f/cm³, 0.13 f/cm³, 0.08 f/cm³로 확인되었다. 연도별 노출경향은 브레이크라이닝 제조업, 클러치 제조업, 정류차 제조업, 절연지 제조업, 내화제품 제조업, 포탄 제조업, 실링제품 제조업, 자동차 수리업, 전해조 수리업 및 로 수리업은 전체적으로 평균 석면의 노출농도가 감소 추세였으나 가스켓 제조업, 건축자재 제조업, 압축패킹 제조업, 철도 수리업의 경우 증가가 반복되었고, 다이아몬드 공구제조업, 폴리에스테르수지제조업은 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 6년간 석면을 가장 많이 취급한 업종은 브레이크라이

닝 제조업으로 43.8%를 차지하고 있었다.

#### IV. 고 찰

NIOSH는 석면의 경우 폐암은 10%, 악성중피종은 100%가 직업에 기인한다고 추정한다(Fine, 1997). 본 연구대상 기간인 2000년대 전후 선진외국의 석면으로 인한 업무상질병자 수를 확인한 결과, 미국 보건복지부는 1996년 사망진단서로 확인된 석면으로 인한 악성중피종은 510명에 이르며(Kang et al., 2001), 일본 후생노동성은 2004년까지 총 848건(폐암 353건, 악성중피종 495건)을 업무상질병을 인정하였고, 2004년에는 폐암 59건, 중피종 127건으로 발표하였다(MoHLW, 2005). 영국도 석면폐로 인한 보상 사례가 2004년 750명이며, 2003년 석면폐로 인한 사망자도 113명에 이르는 것으로 보고하였다(HSE, 2006). 악성중피종으로 인한 사망자는 2001년 1,862명, 2002

Table 5. Time trend of airborne asbestos concentrations for industry types by year

Industry	Year	Content	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
Friction material	N <sup>*</sup>		103	119	117	114	109	87	649
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD <sup>†</sup>		0.11±0.13	0.09±0.15	0.08 <sup>a,b</sup> ±0.12	0.05 <sup>b</sup> ±0.07	0.03 <sup>b</sup> ±0.02	0.04±0.08	0.7 <sup>a,b</sup> ±0.11
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.005~0.58)	(0.004~1.07)	(0.005~0.78)	(0.001~0.55)	(0.001~0.09)	(0.001~0.38)	(0.001~1.07)
	ER1(%)/ER2(%) <sup>§</sup>		0.0/41.7	0.0/22.7	0.0/21.4	0.9/12.3	0.0	5.7	0.6/17.6
Gasket	N		30	28	28	46	40	29	201
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.02±0.04	0.01±0.01	0.02 <sup>b</sup> ±0.04	0.02 <sup>b</sup> ±0.04	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.01±0.02	0.02 <sup>a,b</sup> ±0.03
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.005~0.20)	(0.01~0.03)	(0.005~0.19)	(0.001~0.23)	(0.001~0.08)	(0.001~0.08)	(0.001~0.23)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/6.7	0.0/0.0	0.0/7.1	0.0/4.3	0.0	0.0	0.0/3.0
Construction material	N		19	17	19	31	34	29	149
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.04±0.05	0.04±0.07	0.05 <sup>a,b</sup> ±0.06	0.05 <sup>b</sup> ±0.04	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.05±0.15	0.04 <sup>a,b</sup> ±0.08
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.005~0.14)	(0.007~0.28)	(0.008~0.24)	(0.004~0.12)	(0.001~0.10)	(0.0001~0.84)	(0.001~0.84)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/15.8	0.0/11.8	0.0/10.5	6.5/19.4	0.0	3.4	2.0/9.4
Clutch	N		14	14	13	10	8	8	67
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.04±0.07	0.06±0.07	0.03 <sup>b</sup> ±0.04	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.01 <sup>b</sup> ±0.02	0.01±0.004	0.03 <sup>a,b</sup> ±0.05
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.01~0.29)	(0.01~0.21)	(0.01~0.11)	(0.003~0.08)	(0.001~0.05)	(0.001~0.02)	(0.001~0.29)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/7.1	0.0/21.4	0.0/15.4	0.0/0.0	0.0	0.0	0.0/9.0
Diamond tool	N		4	3	4	12	23	11	57
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.01±0.003	0.01±0.01	0.01 <sup>b</sup> ±0.002	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.01 <sup>b</sup> ±0.004	0.01±0.01	0.01 <sup>b</sup> ±0.01
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.005~0.01)	(0.005~0.01)	(0.005~0.01)	(0.01~0.01)	(0.001~0.02)	(0.002~0.03)	(0.001~0.03)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0	0.0	0.0/0.0
Commutator	N		10	10	10	14	10	7	61
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.15±0.30	0.08±0.14	0.11 <sup>a,b</sup> ±0.17	0.03 <sup>b</sup> ±0.08	0.01 <sup>b</sup> ±0.01	0.01±0.01	0.06 <sup>a,b</sup> ±0.16
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.005~0.94)	(0.005~0.36)	(0.007~0.43)	(0.005~0.31)	(0.005~0.04)	(0.005~0.03)	(0.005~0.94)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/20.0	0.0/20.0	0.0/30.0	0.0/7.1	0.0	0.0	0.0/13.1
Compression packing	N		4	4	4	8	8	8	36
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.02±0.01	0.02±0.02	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.004 <sup>b</sup> ±0.002	0.005 <sup>b</sup> ±0.003	0.01±0.01	0.01 <sup>b</sup> ±0.01
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.01~0.03)	(0.01~0.05)	(0.01~0.01)	(0.001~0.01)	(0.002~0.009)	(0.002~0.02)	(0.001~0.05)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0	0.0	0.0/0.0
Insulating paper	N		5	6	5	6	6	-	28
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.21 <sup>a</sup> ±0.09	0.16±0.15	0.08 <sup>a,b</sup> ±0.03	0.13 <sup>a</sup> ±0.09	0.08 <sup>a</sup> ±0.08	-	0.13 <sup>a</sup> ±0.10
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.11~0.30)	(0.02~0.41)	(0.04~0.12)	(0.01~0.25)	(0.02~0.23)	-	(0.01~0.41)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/100.0	0.0/66.7	0.0/40.0	16.7/66.7	16.7	-	7.1/57.1
Fireproofing material	N		4	4	4	8	4	-	24
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.23±0.20	0.09±0.04	0.14 <sup>a,b</sup> ±0.02	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.03 <sup>b</sup> ±0.01	-	0.09 <sup>a,b</sup> ±0.11
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		0.06~0.43)	(0.05~0.13)	(0.11~0.16)	(0.01~0.07)	(0.02~0.04)	-	(0.01~0.43)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/50.0	0.0/50.0	0.0/100.0	0.0/0.0	0.0	-	0.0/33.3
Cannonball	N		3	5	4	4	4	2	22
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.01±0.002	0.01±0.002	0.01 <sup>b</sup> ±0.002	0.003 <sup>b</sup> ±0.001	0.001 <sup>b</sup> ±0.0002	0.001±0.00	0.01 <sup>b</sup> ±0.01
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		(0.005~0.01)	(0.005~0.01)	(0.005~0.01)	(0.002~0.005)	(0.001~0.001)	(0.001~0.001)	(0.005~0.01)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0	0.0	0.0/0.0
Sealing material	N		2	2	2	4	4	3	17
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		0.01±0.001	0.04±0.04	0.02 <sup>b</sup> ±0.01	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.01 <sup>b</sup> ±0.01	0.01±0.01	0.02 <sup>a,b</sup> ±0.02
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		(0.01~0.01)	(0.01~0.08)	(0.01~0.03)	(0.01~0.05)	(0.006~0.04)	(0.006~0.02)	(0.006~0.08)
	ER1(%)/ER2(%)		0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0	0.0	0.0/0.0
Polyester resin	N		-	2	2	4	-	-	8
	AM(f/cm <sup>2</sup> )±SD		-	0.01±0.00	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.01 <sup>b</sup> ±0.005	-	-	0.01 <sup>b</sup> ±0.003
	Range(f/cm <sup>2</sup> )		-	(0.01~0.01)	(0.01~0.01)	(0.001~0.01)	-	-	(0.001~0.01)
	ER1(%)/ER2(%)		-	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	-	-	0.0/0.0

Industry	Year	Content	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
Auto repair	N		4	7	5	13	10	11	50
	AM(f/cm <sup>3</sup> )±SD		0.01±0.00	0.10±0.25	0.20 <sup>a</sup> ±0.43	0.01 <sup>b</sup> ±0.01	0.004 <sup>b</sup> ±0.003	0.004±0.003	0.04 <sup>a,b</sup> ±0.16
	Range(f/cm <sup>3</sup> )		(0.05~0.05)	(0.005~0.67)	(0.005~0.96)	(0.001~0.03)	(0.001~0.01)	(0.001~0.01)	(0.001~0.96)
	ER1(%) / ER2(%)		0.0 / 0.0	0.0 / 14.3	0.0 / 20.0	0.0 / 0.0	0.0	0.0	0.0 / 4.0
Electrolytic bath repair	N		2	2	4	7	14	13	42
	AM(f/cm <sup>3</sup> )±SD		0.09±0.12	0.02±0.01	0.02 <sup>b</sup> ±0.02	0.02 <sup>b</sup> ±0.01	0.01 <sup>b</sup> ±0.01	0.01±0.01	0.02 <sup>a,b</sup> ±0.03
	Range(f/cm <sup>3</sup> )		(0.005~0.17)	(0.02~0.03)	(0.005~0.04)	(0.003~0.04)	(0.001~0.03)	(0.001~0.02)	(0.001~0.17)
	ER1(%) / ER2(%)		0.0 / 50.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0	0.0	0.0 / 2.4
Furnace repair	N		3	6	10	4	8	-	31
	AM(f/cm <sup>3</sup> )±SD		0.02±0.01	0.02±0.01	0.05 <sup>a,b</sup> ±0.06	0.004 <sup>b</sup> ±0.001	0.006 <sup>b</sup> ±0.003	-	0.02 <sup>a,b</sup> ±0.04
	Range(f/cm <sup>3</sup> )		(0.005~0.03)	(0.005~0.04)	(0.005~0.18)	(0.003~0.005)	(0.004~0.01)	-	(0.003~0.18)
	ER1(%) / ER2(%)		0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 20.0	0.0 / 0.0	0.0	-	0.0 / 6.5
Railway repair	N		3	2	15	2	2	1	25
	AM(f/cm <sup>3</sup> )±SD		0.01±0.01	0.01±0.002	0.02 <sup>b</sup> ±0.01	0.05 <sup>b</sup> ±0.07	0.06 <sup>a</sup> ±0.02	0.08	0.03 <sup>a,b</sup> ±0.03
	Range(f/cm <sup>3</sup> )		(0.01~0.02)	(0.007~0.01)	(0.004~0.04)	(0.004~0.11)	(0.05~0.08)	-	(0.004~0.11)
	ER1(%) / ER2(%)		0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 50.0	0.0	0.0	0.0 / 4.0

\* : Number of samples, † : S.D.: Standard Deviation  
 \* : Exceed Rate1(%) : (Number of samples over KOEL / Number of samples) × 100  
 § : Exceed Rate2(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

년 1,866명, 2003년 1,874명이고, 석면으로 인한 폐암은 악성중피종 발생보다 적어 2004년의 경우 75건을 신규 사례로 확인하였다. 우리나라는 석면으로 인한 악성중피종이 1993년 공식적인 직업병으로 발표되었다(Park et al., 1995b). 그리고 2000년부터 2007년까지 8년간 석면으로 인한 직업병자가 총 68명 발생되었으며 이중 27.9%(19명)가 사망한 것으로 발표하였다(KOSHA, 2008). 따라서 우리나라도 잠복기가 긴 석면 관련 질병과 업무관련성 여부가 지속적으로 대두될 것이며, 이에 과거 석면의 노출농도를 파악하는 것은 중요한 의미가 있다.

공기 중 노출농도의 시간적 변화는 직업보건연구에 있어서 중요한 부분이다. 특히 잠복기가 긴 만성질환의 직업적 역학연구에 노출과 질병간의 관련성을 밝혀내기 위해 정량적 계량체로서 노출강도와 기간으로 계산되는 누적노출이 자주 활용된다(Checkoway et al., 1989). 작업환경측정결과보고서는 각종 유해인자에 대한 정량적인 측정자료와 업종, 근로자수, 주생산품, 부서, 단위작업장소명, 시간가중평균치 등 다양한 정보가 포함되어 있다. 본 연구는 석면취급 사업장을 대상으로 연도별, 업종별, 지역별, 사업장 규모별 석면의 노출농도를 파악하고자 하였다.

Yoshizumi et al.(2001)은 일본석면협회자료를 바탕으로 석면함유제품 제조사업장 수를 확인한 결과

1985년 145개 사업장을 시작으로 지속적으로 감소하는 경향을 보이며 1993년에는 100개소, 1998년에는 82개소로 파악하였다. 우리나라의 경우 석면취급 사업장 수는 2000년 48개소, 2001년 55개로 증가추세를 보이다가 2003년 43개소 이후 다소 감소하는 경향으로 나타났다. 우리나라 석면취급사업장은 일본에 비해 절반 수준이지만 당시 석면은 고용노동부의 허가대상물질로 범망을 피해 운영하는 사업장도 적지 않았을 것으로 추측된다.

한편, 우리나라 석면 노출근로자 수는 2000년 1,155명을 시작으로 2002년 2,659명으로 최고조를 유지하다가 2003년 1,913명으로 급감하였고, 이후 2005년은 1,182명으로 확인되었다. 일본의 경우 1985년부터 1998년까지 석면 노출근로자 수를 확인한 결과 1985년 2,795명에서 1989년에 2,986명으로 최고조에 이르다가 1997년부터 급감하여 1998년은 1,768명으로 보고(Yoshizumi et al., 2001)하였는데 이후 감소추세를 감안한다면 우리나라 석면 노출근로자 수가 취급사업장 대비 더욱 많았을 것으로 추정할 수 있다. 또한 Choi et al.(1998)은 석면 취급사업장과 노출근로자 수를 추정하였는데 1965년 1개소 207명을 시작으로 1990년 80개소 1,446명, 1993년 118개소 1,476명으로 보고하여 본 연구결과에 비해 취급사업장 수는 많고 노출근로자 수는 적게 보고하였다. 본 연구에서 석



면노출 근로자 수의 추정은 작업환경측정대상 사업장의 단위작업장소별 공정노출근로자 수만을 합산한 자료로 전체 근로자 수로 확대하면 더욱 많게 추산될 수 있다.

연도별 석면의 평균 노출농도는 2000년 0.84 f/cm<sup>3</sup>로 가장 높았으며, 이후 2001년 0.07 f/cm<sup>3</sup>, 2002년 0.06 f/cm<sup>3</sup>로 비슷한 수준으로 유지하다가 노출기준이 강화된 2003년부터 0.03 f/cm<sup>3</sup>으로 급감하면서 2004년 0.02 f/cm<sup>3</sup>, 2005년 0.03 f/cm<sup>3</sup>으로 나타났다. 유사한 연도에 보고한 Park et al.(2008)은 작업환경측정기관에서 서울대학교로 의뢰한 석면농도 분석 후 1998년에서 2000년은 0.09 f/cm<sup>3</sup>, 2001년에서 2003년은 0.05 f/cm<sup>3</sup>, 2004년에서 2006년은 0.03 f/cm<sup>3</sup>로 보고하여 본 연구결과에 비해 전반적으로 다소 낮은 수준으로 발표하였다. 이러한 이유는 당시 석면을 정량분석 할 수 있는 기관은 한국산업안전보건공단과 서울대학교 산업보건연구실, 당시 가톨릭대학교 산업의학센터가 있었는데 본 연구는 가톨릭대학교 산업의학센터의 시료가 포함되어 다소 차이가 발생한 것으로 생각된다. 2003년 석면의 노출농도는 0.03 f/cm<sup>3</sup>으로 2002년 0.06 f/cm<sup>3</sup>에 비해 절반수준으로 감소하였다. 이는 당시 노동부가 2003년 7월부터 석면의 노출기준을 2 f/cm<sup>3</sup>에서 0.1 f/cm<sup>3</sup>로 강화했기 때문인 것으로 판단된다(MoL, 2002). 그러나 사업주의 적극적인 작업환경개선으로 노출기준을 감소시켰다기에는 필요한 비용이나 시간을 감안했을 때 실현 가능성은 낮을 것으로 사료된다.

본 연구에서 석면의 평균 노출농도가 가장 높은 업종은 절연지 제조사업장(0.13 f/cm<sup>3</sup>)이었으며, 그 다음 순으로 내화제품 제조업(0.09 f/cm<sup>3</sup>), 브레이크라이닝 제조업(0.07 f/cm<sup>3</sup>), 정류자 제조업(0.06 f/cm<sup>3</sup>) 및 건축자재 제조업(0.04 f/cm<sup>3</sup>) 등 이었다. Park et al.(2008)은 석면방직업, 석면시멘트, 브레이크라이닝을 묶어 주요 석면산업으로 구분하면서 1998년부터 2000년까지 0.10 f/cm<sup>3</sup>, 2001년부터 2003년 0.04 f/cm<sup>3</sup>, 2003년부터 2006년 0.02 f/cm<sup>3</sup>로 보고하여, 업종이 혼재되어 직접 비교하는 것은 다소 무리일 수 있으나 전반적으로 본 연구에 비해 낮은 수준으로 발표하였다. 브레이크라이닝 제조업의 경우 1990년대에 수행한 Paik & Lee(1991)는 석면의 기하평균을 0.68 f/cm<sup>3</sup>, Oh et al.(1993)은 0.19 f/cm<sup>3</sup>로 발표하였고, Park et al.(2009)은 2008년까지 우리나라에 보고된 논문이나 보고서를

바탕으로 브레이크라이닝 생산업체의 석면 노출농도를 가중산술평균으로 0.34 f/cm<sup>3</sup>로 발표하여 시기별 노출농도의 차이가 많음을 확인할 수 있었다. 또한 Shin & Paik(1989)은 자동차 정비 시 발생하는 석면의 노출농도를 기하평균 개인시료 0.1 f/cm<sup>3</sup>, 지역시료 0.02 f/cm<sup>3</sup>로 본 연구결과에 비해 개인시료는 높게 지역시료는 낮게 보고하였으나, Paustenbach et al.(2003)의 경우 과거 평균 노출농도를 0.04 f/cm<sup>3</sup>로 본 연구결과와 동일한 수준으로 발표하였다. Yi et al.(2013)은 1994년부터 2006년까지 석면의 평균농도를 브레이크라이닝 제조 0.15 f/cm<sup>3</sup>, 정류자 제조 0.14 f/cm<sup>3</sup>, 건축자재 제조 0.26 f/cm<sup>3</sup>로 본 연구에 비해 2~6배 높게 보고하였고, 석면의 노출기준 초과율도 브레이크라이닝 제조 53.5%, 정류자 제조 34.3%, 건축자재 제조는 일부라고 보고하여 역시 본 연구결과 대비 2~3배 높은 수준으로 나타났다. 이러한 차이는 Yi et al.(2013)의 연구는 1994년부터 1990년까지의 과거자료가 다수 포함되어 있고 조사가 연구목적으로 수행되어 차이가 발생한 것으로 추정된다. 석면의 노출수준을 업종별로 살펴보면 절연지제조 사업장의 평균농도가 0.13 f/cm<sup>3</sup>으로 타 업종에 비해 유의하게 높고, 2003년 우리나라 노출기준을 초과했다는 점은 특이하다. 당시 노동부는 석면이 노출기준을 초과할 경우 근로감독관이 책임지고 사업장을 관리하는 시스템이었다. 이러한 이유로 당 사업장은 2003년 하반기에 상호를 변경하여 사업을 유지하다가 결국 2004년에 석면 허가증을 반납하게 된다.

라마즈니 법인에서는 전 세계가 크리소타일을 포함한 석면의 모든 사용과 판매를 즉시 중단할 것을 요구하고 있다(Landrigan, 1999). 또한 2002년 일본에서는 석면을 금지할 것을 공고하였다(Furuya et al., 2003). 이렇듯 우리나라도 산업안전보건법에서 석면 규제 정책을 지속적으로 강화시켜왔는데 1997년 청석면, 갈석면의 제조·수입·양도 및 사용을 금지하였고, 2003년에는 악티노라이트, 안소필라이트와 트레모라이트를 추가로 금지하였다. 또한 2005년 일본의 구보타 사건이 계기가 되어 2009년 2월부터는 모든 석면을 함유하는 제품의 제조 등이 사실상 전면 금지된다(MoEL, 2010). 또한, 석면의 노출기준을 2003년 7월부터 2 f/cm<sup>3</sup>에서 0.1 f/cm<sup>3</sup>로 강화하였다(MoL, 2002). 전체적으로 연도별 석면의 노출수준의 감소는 사업주의 노력도

있을 수 있겠지만 정부의 노출기준의 강화 이외에 지속적인 지도·감독 및 화학물질관리 전반에 대한 규제가 병행되었기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 석면 등 특정한 화학물질에 대해서는 노출기준 강화는 물론 그 대상 화학물질을 특별히 관리해야 하는 규정들이 신설되어 동시에 규제가 이루어져야 할 것이다.

한편, 선진외국의 경우 유해물질의 과거 노출농도를 추정하기 위하여 국가가 보유하고 있는 측정결과를 바탕으로 다수의 연구가 수행되어져 왔다. 미국 OSHA 감독자료를 활용하여 Coble et al.(2001)은 제지와 펄프산업의 노출수준을 시간경향으로 분석하였고, Lurie & Wolfe(2002)도 1990년부터 2000년까지 6가크롬의 노출에 대해 보고한 바 있다. 또한 OSHA IMIS 자료도 많이 이용하는데 Okun et al.(2004)은 1978년부터 직업적 납노출에 대한 경향을 확인하였고, Teschke et al.(1999)도 20년 동안 목분진의 노출산업과 직업을 분석하였다. 노르웨이의 경우 Lenvik et al.(1999)이 1972년부터 1996년까지 정부실험실 자료를 활용하여 스티렌의 직업적 노출을 세부적으로 분석하였고, 덴마크도 1947년부터 1989년까지 국립직업보건연구원(Danish National Institute for Occupational Health)의 자료를 활용하여 트리클로로에틸렌의 노출수준을 발표한 바 있다(Nielsen et al., 2002). 우리나라는 산업안전보건법에 따라 수많은 전산자료가 집적화되어 있다. 이러한 빅데이터들이 사장되지 않고 산업보건사업과 역학적 연구에 활용될 수 있도록 정부의 적극적인 노력과 지원이 필요하다고 판단된다.

본 연구는 2000년부터 2005년까지 산업안전보건법에 의한 작업환경측정결과를 바탕으로 석면취급 사업장에 대한 노출농도를 제시하였다. 다만, 연구목적으로 수행된 자료가 아니고 법적 순응 자료로서 다소 낮은 수준으로 평가되었다는 제한점이 있으며, 역학연구의 과거 노출농도 추정에 활용할 경우 과소평가될 수 있음을 밝혀둔다.

## V. 결 론

본 연구는 2000년부터 2005년까지 석면취급사업장 284개소의 1,481개 시료를 분석하여 연도별, 업종별, 지역별, 사업장 규모별 석면의 노출농도를 파악하였다. 그 결과 연도별로는 2000년의 석면농도가

가장 높은 수준으로 나타났고, 석면의 노출기준이 강화된 2003년부터 급감된 것으로 확인되었다. 석면의 노출수준이 높은 산업은 절연지 제조사업장, 내화제품 제조업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업 및 건축자재 제조업 순이었다. 사업장 규모는 석면 취급 사업장의 56%가 50인 미만 사업장이었고, 석면의 평균 노출농도도 다른 규모에 비해 높게 나타났다. 석면취급 사업장의 84.4%가 경인 및 경상지역에 분포하고 있었으며, 연도별 평균 석면취급 사업장은 47개소이었고 평균 석면취급 근로자 수는 1,659명으로 확인되었다.

## 감사의 글

이 연구는 2008년도 대구한의대학교 기린연구비 지원에 의한 것임

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2007 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH.; 2007. p.12
- Blair A, Stewart P. Do quantitative exposure assessments improve risk estimates in occupational studies of cancer? *Am J Ind med* 1992;21:53-63
- Checkoway H, Pearce NE, Crawford-Brown DJ. Research methods in occupational epidemiology. Oxford University Press, New York.; 1989. p.120-125
- Choi JK, Paek DM, Paik NW. The production, the use, the number of workers and exposure level of asbestos in Korea. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1998;8(2):242-253
- Coble JB, Lees PS, Matanoski G. Time trends in exposure measurements from OSHA compliance inspections of the pulp and paper industry. *Appl Occup Environ Hyg* 2001;16(2):263-270
- Doll R. Mortality from lung cancer in asbestos workers. *Br J Ind Med* 1995;12:81-861
- Fine L. Statement of occupational cancer. Senate cancer coalition.; 1997. p. 55-62
- Frumkin H & Berlin J. Asbestos exposure and gastrointestinal malignancy review and meta analysis. *Am J Ind Med* 1988;14:79-95
- Furuya S, Natori Y, Ikeda R. Asbestos in Japan. *Int J Occup Environ Health* 2003;9(3):260-265

- Kang SK, Ahn YS, Chung HK. Occupational cancer in Korea in the 1990s. *Korean J Occup Environ Med* 2001;13(4): 351-359
- Kelly RJ. Particulates. In: Plog BA, Ed, *Fundamentals of Industrial Hygiene*, 5th Ed, Illinois; National Safety Council.; 2002. p. 169-174
- Gomez M. Factors associated with exposure in occupational safety and health administration data. *Am Ind Hyg Assoc J* 1997;58:186-195
- Health & Safety Executive(HSE). Asbestos related disease in 2006[cited 2008 Dec 5]. Available from: URL:<http://www.hse.gov.uk/statistics/causdis/asbestosis.htm>
- Hornung RW, Reed LD. Estimation of average concentration in the presence of non-detectable values. *Appl Occup Environ Health* 1990;5:46-51
- Hornung R. Statistical evaluation of exposure assessment strategies. *App Occup Environ Hyg* 1991;6:516-520
- International Agency for the Research on Cancer(IARC). Asbestos (Actinolite, amosite, anthophyllite, chrysotile, crocidolite, tremolite). Suppl. 7. Overall evaluations of carcinogenicity: An updating of IARC monographs, volumes 1 to 42. IARC. Lyon.; 1987, p.44-52
- International Labor Organization(ILO). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. 4th ed. vol II. Geneva, International Labour Office, 1998. p.138-145
- Korean Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). The current status of occupational diseases for asbestos in 2008.; 2008. p.2-7
- Landrigan PJ, Nicholson WJ, Suzuki Y et. al. The Hazards of chrysotile asbestos: A critical review. *Ind Health* 1999;37:271-280
- Lenvik K, Osvoll PO, Woldbaek T. Occupational exposure to styrene in Norway, 1972-1996. *Appl Occup Environ Hyg* 1999;14:165-170
- Lurie P, Wolfe SM. Continuing exposure to hexavalent chromium, a known lung carcinogen: An analysis of OSHA compliance inspections, 1990-2000. *Am J Ind Med* 2002;42:378-383
- Maclure M. Asbestos and renal adenocarcinoma. A case control study. *Environ Res* 1987;42:252-361
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). *Industrial Safety & Health Law*, Ministry of Employment and Labor.; 2007. p.67-82
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). *Industrial Safety & Health Law*, Ministry of Employment and Labor.; 2010. p.88-92
- Ministry of Health, Labour & Welfare(MoHLW). The 2<sup>nd</sup> conference data of asbestos problem in 2005[cited 2014 Dec]. Available from: URL:<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/kaigou/050826.html>
- Ministry of Labor(MoL). Control measures of health effect induced asbestos. 2006. p.2-34
- Ministry of Labour(MoL). Regulation of working environmental measurement(MoL Public Notice No. 2007-13).; 2007. p.31-38
- Ministry of Labor(MoL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoL Public Notice No. 2002-8).; 2002. p.6
- Mulhausen JR, Damiano J. Quantitative exposure data: interpretation, decision making, and statistical tools. A strategy for assessing and managing occupational exposures 1998:117-150
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *Manual of analytical methods*, 4th Ed., asbestos and other fibers by PCM 7400, 1994. p.2-15
- Nielsen OR, Hansen J, Thomsen BL, Johansen I, Lipworth L et al., Exposure of Danish workers to trichloroethylene, 1947-1989 *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17(10): 693-703
- Oh SM, Shin YC, Park DY, Park DU, Chung KC. A study on worker exposure level and variation to asbestos in some asbestos industries. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1993; 3(1):100-109
- Okun A, Cooper G, Bailer AJ, Bena J, Styner L. Trends in occupational lead exposure since the 1978 OSHA lead standard. *Am J Ind Med* 2004;45:558-572
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Asbestos. In: *Toxic and hazardous substances. Occupational Safety and Health Standards*[cited 2006 July]. Available from: URL:[https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9995](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9995)
- Paik NW, Lee YH. Characterization of workers exposure to airborne asbestos in asbestos industry. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1991;1(2):144-153
- Rappaport S. Assessment of long-term exposures to toxic substances. *Ann Occup Hyg* 1991a;35:61-121
- Park D, Choi SJ, 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;14:18-24
- Park D, Choi SJ, Yoon C. Review on occupational exposure to asbestos in Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2009;19(3):307-320
- Park DY, Paik NW. Worker exposure to asbestos fibers in asbestos slate manufacturing and asbestos textile industries. *Kor J Env Hlth Soc* 1988;14(2):13-27
- Park MI, Choi JS, Choi HM, Jang TI, Moon IH, Kin JH et al.

- A case of diffuse malignant pleural mesothelioma with occupational asbestos exposure. *Korean J Med* 1995b; 48(4):526-530
- Park JI, Yoon CS, Paik NW. A study on exposure among asbestos textile workers and estimation of their historical exposures. *Korean Ind Hyg Assoc* 1995a; 5(1):16-39
- Paustenbach DJ, Richter RO, Finley BL, Seehan PJ. An evaluation of the historical exposures of mechanics to asbestos in brake dust. *Appl Occup Environ Hyg* 2003;18:786-804
- Shin YC, Paik NW. A study on worker exposure to asbestos fibers during automobile maintenance. *Kor J Env Hlth Soc* 1989;16(1):19-32
- Stewart PA, Rice C. A source of exposure data for occupational epidemiology studies. *Appl Occup Environ Hyg*. 1990;5(6):359-363
- Takahashi K & Karjalainen A. A cross-country comparative overview of the asbestos situation in ten Asian countries. *Int J Occup Environ Health* 2003;9(3):244-8
- Teschke K, Marion SA, Vaughan TL, Morgan MS, Camp J. Exposure to wood dust in U.S industries and occupations, 1979 to 1997. *Am J Ind Med* 1999;35:581-589
- Tossavainen A, 2001. Impacts of asbestos are a continuing major health threat earthvision environmental news [cited 2013 June]. Available from: URL:<http://www.gnet.org/news/newsdetail.cfm?NewsID=18032>
- Tossavainen A, Global use of asbestos and the incidence of mesothelioma. *Int J Occup Environ Health* 2004;10: 22-25
- Yi GY, Shin YC, Yoon C, Park D. Airborne Asbestos Fiber Concentration in Korean Asbestos-Related Industry from 1994 to 2006 *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013;23(2):123-136
- Yoshizumi K, Hori H, Satoh T, Higashi T. The trend in airborne asbestos concentrations at plants manufacturing asbestos-containing products in Japan. *Ind Health* 2001;(39)127-131