

1994년부터 2006년까지 한국 석면취급 사업장의 석면 노출농도

이광용^{1*} · 신용철² · 윤충식³ · 박두용⁴

¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 · ²인제대학교 보건안전공학과,
³서울대학교 보건대학원 환경보건학과 · ⁴한성대학교 기계시스템공학과

Airborne Asbestos Fiber Concentration in Korean Asbestos-Related Industry from 1994 to 2006

Gwangyong Yi^{1*} · Yong Chul Shin² · Chungsik Yoon³ · Dooyong Park⁴

¹Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

²Department of Occupational Health & Safety Engineering, Inje University

³School of Public Health, Seoul National University

⁴Department of Mechanical System Engineering, Hansung University

ABSTRACT

Objectives: This paper was prepared to report airborne asbestos fiber concentrations in asbestos textile, brake-lining, commutator, and building materials manufacturing industries, and some other asbestos related industries in Korea from 1994 to 2006.

Methods: Airborne asbestos data that have been sampled and analyzed in the above industries during 1994-2006 were collected. These data were reviewed to scrutinize the qualified data based on the records such as sampling and analyzed method and quality control procedures. All asbestos data were generated using the National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH) Method 7400.

Results: Average concentration of asbestos fiber was 2.14 fibers/cc(0.02-15.6 fibers/cc) in the asbestos textile industry, 0.26 fibers/cc(0.01-1.01 fibers/cc) in the building-materials industry, 0.15 fibers/cc(0.01-0.93 fibers/cc) in the brake-lining manufacturing industry, and 0.14 fibers/cc(0.03-1.36 fibers/cc) in the commutator producing industry. For these industries, the percentage of samples of which asbestos fiber concentrations above the limit of exposure(0.1 fibers/cc) was 97.6% in the asbestos textile industry, 62.3% in the building-materials industry, 53.5% in the brake-lining manufacturing industry, and 34.3% in the commutator producing industry. Asbestos fiber concentration was below the limit of exposure in the gasket producing, petrochemistry, musical instrument producing industries, and the brake-lining exchange operations.

Conclusions: Airborne asbestos fiber level in the asbestos textile, brake-lining producing, commutator and building-material producing industries was above the limit of exposure, but in the gasket producing, petrochemistry, musical instrument producing industries and the brake-lining exchange operations were below the limit of exposure.

Key words : asbestos, asbestos textile, brake-lining, commutator, building-materials

I. 서 론

우리나라 석면 사용량은 1960년대 산업화와 함께 1990년대 중반까지 꾸준히 증가하다가 1990년부터 1996년 사이에 최고치에 이른 후 1997년부터 급격히

감소하였다(Oh & Chung, 1992; Park et al., 2009). 2009년 석면이 함유된 제품(asbestos containing material, ACM)의 사용·제조·유통·수입이 금지되기 전까지 다양한 형태로 많은 양의 석면이 사용되었을 것으로 추정되고 있다(MoEL, 2007).

*Corresponding author: Gwangyong Yi, Tel: 032-510-0806, E-mail: wildgolf@gmail.com, Center for Occupational Safety and Health Research, Occupational Safety and Health Research Institute, 478 Munemi-ro, Bupyeong-gu, Incheon 403-711
Received: August 2, 2012, Revised: June 19, 2013, Accepted: June 20, 2013

우리나라에서 석면취급 사업장에 대한 작업환경측정을 처음으로 실시한 것은 1987년 국립노동과학연구소(현 산업안전보건연구원 전신)와 서울대학교 보건대학원이 공동으로 슬레이트 제조업과 석면방직업의 공기 중 석면농도에 관한 연구였다. 당시 조사결과를 보면 대부분의 사업장에서 당시의 노출기준인 2 f/cc를 초과하는 것으로 나타났다(NILS, 1987; Park & Paik, 1988; Oh & Chung, 1992). 이후 석면취급 사업장에 대한 공기 중 석면농도 및 근로자에 대한 노출농도에 대한 연구가 이어져 1995년까지 7편의 연구논문과 2편의 연구보고서가 발표되었다(Park et al., 2009). 1995년 이전까지 발표된 연구논문 및 연구보고서는 주로 석면을 많이 사용하는 석면방직업, 슬레이트 제조업, 브레이크라이닝 제조업이 주요 대상이었으며, 일부는 선박수리업 등을 대상으로 이루어지기도 하였다(Paik & Lee, 1991; Park et al., 2009). 그러나 1995년 석면방직업 근로자에 대한 과거노출농도 추정에 관한 논문(Park et al., 1995)이 발표된 이후, 우리나라에서 석면취급 사업장의 공기 중 석면농도와 관련된 연구보고는 더 이상 이루어진 바가 없다(Park et al., 2009). 따라서 우리나라에서 1994년 이전까지는 석면 노출에 대한 자료 및 연구결과가 비교적 잘 알려져 있지만 그 이후의 자료나 연구결과는 찾아보기 힘들다. 그러나 1994년 이후에도 석면 취급 사업장에 대한 작업환경 및 근로자의 노출수준을 평가하기 위한 다양한 측정과 연구가 이루어져 왔다.

석면은 낮은 농도에서도 중피종과 같은 암을 일으키는 것으로 알려져 있으며, 그 잠복기가 긴 것으로 알려져 있다. 따라서 1994년 이후에 석면관련 사업장에서의 노출농도에 대한 자료는 향후 석면관련 질환에 대한 산재보상이나 역학조사 등에 매우 중요한 자료가 될 것이다. 이에 본 논문은 1994년부터 2006년까지 석면 관련 사업장에서 측정된 공기 중 석면 노출농도 자료를 취합하여 사업장 및 공정별로 분류하고 그 결과를 분석하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 1994년부터 2006년까지의 석면방직업, 브레이크라이닝, 정류자, 건축자재(슬레이트, 라스텍스, 밤라이트, 아스칼) 및 개스킷 제조업 등 석면 관련

사업장에서 측정된 공기 중 석면섬유의 근로자 노출농도 자료를 활용하였다. 석면 노출농도 자료는 석면취급 근로자의 노출실태조사 또는 직업병 심의를 위한 역학조사 등을 위해 연구자들이 직접 측정된 자료가 대부분이며, 고용노동부, 한국산업안전보건공단 등에서 분석을 의뢰한 시료 중에서 시료채취 시간 및 측정대상 공정 및 사업장 자료가 명확한 것 중에서 연구 목적으로 자료활용에 동의한 일부를 포함하였다.

본 연구에 포함된 대상 사업장은 석면방직업 7개소, 브레이크라이닝 제조업 12개소, 정류자 제조업 1개소, 건축재 제조업 3개소, 지하철 기지창 2개소, 자동차 정비업 3개소, 석유화학제품 제조업 2개소, 개스킷 제조업 1개소 그리고 악기제조업이 1개소 등 총 32개소이다. 이는 1991년부터 2009년까지 전체 석면 제조허가 사업장 81개소의 약 30%에 해당된다. 조사대상 사업장 중 석면취급 허가사업장은 24개소(석면방직업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업, 건축재 제조업, 개스킷 제조업)이며 그 외 지하철 기지창, 자동차 정비, 석유화학제품생산, 악기제조는 석면사용이 의심되지만 허가를 받지 않은 사업장이다.

2. 시료채취 및 분석

공기 중 석면의 채취와 분석은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH) Method 7400을 이용하였다(NIOSH, 1994). 시료채취에는 25 mm 여과지(0.8 μm cellulose ester membrane(MCE), Millipore Co., USA) 또는 37 mm MCE 여과지 (0.8 μm , Millipore Co., USA)가 사용되었다. 석면계수에는 Walton-Beckett graticule(100- μm field of view)이 삽입된 위상차 현미경(Carl Zeiss, Axioskop, German)을 사용하였고, 400 배의 배율에서 A 규칙에 따라 섬유 길이 5 μm 을 초과하고 길이 대 직경비가 3:1 이상인 섬유를 계수하였다(HSE, 1998; NIOSH, 1994).

시료채취는 사업장의 작업 특성에 따라 개인시료, 지역시료로 구분하여 측정하였으며, 일부 사업장에서는 개인 및 지역시료 모두를 채취하였다. 시료채취 유량은 1.0~2.5 L/분 사이였으며 시료채취시간은 30분에서 8시간 사이로 사업장의 석면분진 농도나 배경분진의 상황(분진의 형태 및 농도)에 따라 적절하게 유량과 시료채취시간을 조절하였다. 석면 시료분석을 하는 동안 미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association)의 분석능력평가 프로그램(Proficiency

Analytical Testing Program)에 참여하여, 분석의 정확도를 지속적으로 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 총괄

1994년부터 2006년까지 석면관련 사업장에서 측정된 공기 중 석면농도 및 작업장의 석면농도를 측정된 자료를 확보하여 시료채취 기록과 측정방법 등을 검토하여 선별한 결과, 총 493개의 측정결과를 취합할 수 있었다. 전체적인 경향을 보기 위하여 석면을 주원료로 하여 제품을 생산하는 사업장은 석면방직업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업 및 건축자재 제조업 등 4개 업종으로 분류하였고 석면을 일부 함유하는 제품 제조업(가스킷 제조 등)은 기타 산업으로 구분하여 공기 중 석면농도를 살펴 본 결과는 Table 1과 같다.

그 결과 석면방직 사업장은 7개소에서 127개의 시료, 브레이크라이닝 제조업은 13개소에서 201개의 시료, 정류자 제조업은 1개소의 사업장에서 35개의 시료, 건축자재 제조업은 3개소의 사업장에서 85개의 시료, 그리고 기타 석면함유 제품 제조업은 8개소에서 45개의 시료가 취합되었다. 이 중에서 공기 중 석면농도가 가장 높은 사업장은 석면방직 사업장으로 산술평균이 2.14 f/cc, 기하평균은 1.05 f/cc이었다. 본 연구에서 분석한 자료의 석면방직 사업장 측정시점은 1994년부터 1996년까지 3년간의 결과이며, 고용노동부 기록에 의하면 우리나라에서 석면 방직사업장은 2000년을 마지막으로 모두 해외로 이전하거나 폐쇄되어 더 이상 가동되지 않은 것으로 보인다(MoEL, 2007).

석면방직업에서의 공기 중 석면농도는 산술평균 2.14 f/cc, 기하평균 1.05 f/cc(범위 : 0.02~15.6 f/cc)로 매우

높았으며, 연구대상 127개 시료 중 124개의 시료가 0.1 f/cc를 초과하여 노출기준 초과율은 97.6%이었다. 한편, 2003년 이전의 노출기준인 2 f/cc으로 평가할 경우, 32.3 %의 석면시료가 노출기준을 초과하였다. Park et al.(2009)이 국내에서 발표된 석면관련 논문 및 보고서 등의 자료를 재해석하여 발표한 결과에 의하면 1990년 이전 석면방직업의 석면농도는 4.3 f/cc, 1990년 2.3 f/cc로 보고된 결과와 유사한 결과이다.

브레이크라이닝 제조업의 공기 중 석면농도는 산술평균 0.15 f/cc, 기하평균 0.09 f/cc(범위 : 0.01~0.93 f/cc)이었다. 브레이크라이닝 제조업에서 평균 석면농도 결과를 보면 산술평균 결과는 노출기준을 초과하였으나 기하평균에서는 노출기준 미만이었다. 한편, 연구대상 201개 시료 중 107개의 시료가 노출기준인 0.1 f/cc를 초과하여 노출기준 초과율은 53.2%이었다. 그러나 석면농도가 2 f/cc를 초과하는 시료는 없는 것으로 평가되었다.

정류자 제조업의 공기 중 석면농도는 산술평균 0.14 f/cc, 기하평균 0.10 f/cc(범위 : 0.03~1.36 f/cc)로 산술평균과 기하평균 모두 노출기준을 초과하였으며, 35개 시료 중 12개의 시료가 0.1 f/cc를 초과하여 노출기준 초과율은 34.3%이었다.

슬레이트 등 건축자재 제조업의 공기 중 석면농도는 산술평균 0.27 f/cc, 기하평균 0.14 f/cc (범위 : 0.01~1.01 f/cc)로 산술평균과 기하평균 모두 노출기준을 초과하였으며, 85개 시료 중 53개가 0.1 f/cc를 초과하여 노출기준 초과율은 62.4%이었다.

자동차 브레이크라이닝 교체 등 기타산업의 공기 중 석면농도는 산술평균 0.03 f/cc, 기하평균 0.01 f/cc (범위 : <0.01~0.34 f/cc)로 산술평균과 기하평균 모두 노출기준 미만이었으며, 45개 시료 중 노출기준을 초

Table 1. Airborne asbestos fiber concentrations by type of industry

Type of industry	No. of sites	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
			AM	SD	GM	GSD	Range
Asbestos textile	7	127	2.14	2.76	1.05	3.6	0.02 - 15.6
Brake lining	13	201	0.15	0.16	0.09	2.8	0.01 - 0.93
Commutator	1	35	0.16	0.27	0.10	3.7	0.03 - 1.36
Building materials	3	85	0.27	0.26	0.14	3.8	0.01 - 1.01
Other industry	8	45	0.03	0.06	0.01	3.9	<0.01 - 0.34
Total	32	493	0.67	1.67	0.15	5.9	<0.01 - 15.6

AM; arithmetic mean, SD; standard deviation, GM; geometric mean, GSD; geometric standard deviation

Table 2. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by type of industry

Type of industry	No. of sites	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
			< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Asbestos textile	7	127	3 (2.4)	8 (6.3)	50 (39.4)	25 (19.7)	41 (32.3)
Brake lining	13	201	94 (46.8)	63 (31.3)	44 (21.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
Commutator	1	35	23 (65.7)	8 (22.9)	3 (8.6)	1 (2.9)	0 (0.0)
Building materials	3	85	32 (37.6)	12 (14.1)	40 (47.1)	1 (1.2)	0 (0.0)
Other industry	8	45	42 (93.3)	3 (4.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	32	493	194(39.4)	94(19.1)	137(27.8)	27(5.5)	41(8.3)

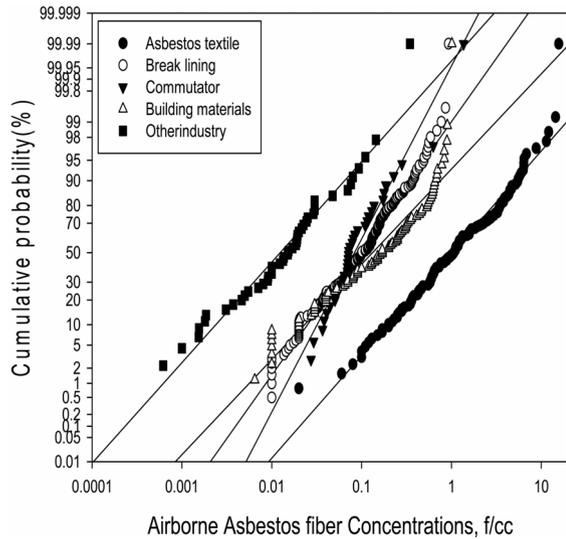


Figure 1. Cumulative distribution of asbestos concentrations by type of industry

과한 시료는 3개로 초과율은 6.7%이었다.

연구대상 5개 산업에서의 공기 중 석면농도가 높은 산업은 석면방직업 2.14 f/cc(기하평균 1.05 f/cc)로 가장 높았으며, 건축자재 제조업 0.27 f/cc(0.14 f/cc), 정류자 제조업 0.16 f/cc(0.10 f/cc), 브레이크라이닝 제조업 0.15 f/cc(0.09 f/cc) 그리고 기타산업 0.03 f/cc (0.01 f/cc) 순이었으며, 노출기준 초과율은 석면방직업, 건축자재 제조업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업 순으로 높게 평가되었다.

우리나라 석면의 전체 수입량 중 약 84%는 슬레이트 등을 생산하는 건축자재 제조업에서 사용하였으며, 8~9%는 브레이크라이닝 제조업, 5~6%는 석면방직업 그리고 정류자 제조업은 매우 소량을 사용한다고 보고되었다(Oh & Chung, 1992). 우리나라 석면노출 평가와 관련된 논문 및 연구보고서가 발행된 시기는

석면방직업 1984년부터 1994년, 브레이크라이닝 제조업 1984년부터 1993년, 슬레이트 제조업 1984년부터 1993년까지 보고되어 1995년 이후의 석면노출 관련 자료는 없었다. 1995년까지의 발표된 연구논문 및 보고서는 일부를 제외하고는 석면방직업, 브레이크라이닝 제조업, 슬레이트제조업의 3개 제품에 한정되어 있다(Park et al., 2009). 본 연구에서는 슬레이트 이외에 건축자재로 생산된 라스텍스, 밤라이트, 아스칼 제조 사업장의 석면노출실태와 자동차 시동모터의 부품인 정류자 제조업에서의 석면노출실태 등을 연구대상에 포함시켜 우리나라에서 석면관련 제품을 생산한 대부분의 산업을 포함하였다.

2. 석면방직업

우리나라 석면방직업에서는 석면과 함께 아크릴 등의 화학(인조)섬유를 혼합하여 석면포, 석면사, 석면로프, 석면 시트, 석면테이프 등을 생산하였다. 본 연구에서는 석면포 제조 등 7개 사업장을 대상으로 1995부터 2000년까지 평가하였으며, Park et al.(1994)이 1994년 6개소 62명의 근로자를 대상으로 실시한 석면방직업 사업장의 노출평가 이후의 결과이다. 1994년 노동부의 허가를 받은 석면방직업 사업장은 9개 사업장이었으나, 1990년대 중반부터 중국에서 저가의 방직제품이 수입되어 석면방직 산업이 하락하며 사업장수가 감소하였다. 따라서 본 연구대상 사업장은 석면방직업에 종사하는 대부분의 사업장이 대상이라 할 수 있다.

Table 3, 4는 연구대상 7개 사업장의 공기 중 석면 평가결과이다. 각 연구대상 사업장의 공기 중 석면의 산술평균은 0.73~5.93 f/cc(기하평균 농도 0.29~5.32 f/cc)로 모든 사업장이 노출기준인 0.1 f/cc를 초과하였다. A, B, C, D, E 사업장의 모든 공정, 모든 시료에서 석면의 노출기준을 초과하였으며, A 사업장 최고

Table 3. Airborne asbestos fiber concentrations company in asbestos textile industry

Company	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
		AM	SD	GM	GSD	Range
A	18	5.93	4.23	4.48	2.4	0.36 - 15.6
B	7	0.89	0.29	0.84	1.5	0.43 - 1.32
C	40	1.03	0.85	0.73	2.3	0.10 - 3.33
D	16	4.89	2.28	4.48	1.6	1.49 - 12.1
E	13	0.78	5.32	0.72	1.6	0.34 - 1.33
F	18	0.99	1.29	0.42	4.4	0.02 - 4.34
G	15	0.73	0.63	0.47	3.0	0.06 - 2.29
Total	127	2.14	2.76	1.05	3.6	0.02 - 15.6

Table 4. Distribution of airborne asbestos fiber company in asbestos textile industry

Company	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
A	18	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (5.6)	3 (16.7)	14 (77.8)
B	7	0 (0.0)	0 (0.0)	5 (71.4)	2 (28.6)	0 (0.0)
C	40	0 (0.0)	2 (5.0)	22 (55.0)	10 (25.0)	6 (15.0)
D	16	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (6.3)	15 (93.8)
E	13	0 (0.0)	0 (0.0)	10 (76.9)	3 (23.1)	0 (0.0)
F	18	2 (11.1)	4 (22.2)	6 (33.3)	3 (16.7)	3 (16.7)
G	15	1 (7.7)	2 (15.4)	6 (46.2)	5 (38.5)	1 (7.7)
Total	127	3 (2.4)	8 (6.3)	50 (39.4)	25 (19.7)	41 (32.3)

농도는 15.62 f/cc로 노출기준의 156배를 초과하였다. F 사업장은 연구대상 18개의 시료 중 88.9 %인 16개의 시료가 노출기준을 초과하였다. 또한 G 사업장은 15개 중 93.3 %인 14개 시료가 노출기준을 초과하는 것으로 평가되었다.

이처럼 석면방직업이 다른 석면취급 산업보다 공기 중 석면 농도가 높은 것은 작업 특성에 기인한다. 주 원료인 석면과 화학(인조)섬유 등을 혼합하여 건식으로 작업하기 때문이며 또한 석면방직업은 50인 미만의 소규모 영세사업장이기 때문에 근로자의 건강보호를 위한 안전보건 시설투자와 작업환경 관리가 매우 소홀하여 작업환경이 대부분 열악한 상태였기 때문이다(Oh & Chung, 1992).

Table 5와 6은 석면방직업의 공정별 근로자 석면노출을 평가한 결과로 혼면공정(mixing)에서 공기 중 석면의 산술평균은 3.31 f/cc(기하평균 1.82 f/cc)로 가장 높았고, 직포공정(weaving)에서 0.52 f/cc(기하평균 0.31 f/cc)로 가장 낮게 노출된 것으로 평가되었다. 모든 공정의

평균 산술평균과 기하평균 농도는 0.1 f/cc를 초과하였으며, 연구대상 시료 중 정방공정 1개, 직포공정 2개 시료를 제외한 모든 시료가 노출기준을 초과하였다. 정방공정에서 일부시료는 노출기준을 약 156배 초과하는 것으로 평가되었다. Park et al.(1995)이 1995년 발표한 연구결과에 따르면 직포공정에서 4.29 f/cc(2.61~11.58 f/cc)으로 가장 높았고, 혼면공정 0.48 f/cc(0.22~1.20 f/cc)로 가장 낮게 평가되었으며, 이후 Park et al. (2009)이 석면방직업을 대상으로 국내에서 발표한 모든 논문을 각 공정별로 가중산술평균(Weighted Arithmetic Mean, WAM) 한 결과, 직포공정(weaving process)에서 가장 높게 보고되어 본 연구와는 다른 결과를 보여주고 있다.

개인시료 노출평가 결과와 지역시료 노출평가 결과를 보면 각 공정의 산술평균과 기하평균 모두 개인 노출평가 결과가 지역시료보다 높게 평가 되어 1995년 이전의 석면방직업 자료를 이용한 가중산술평균(WAMs)으로 계산한 결과와 다른 결과이다. 1995년 이전의

Table 5. Airborne asbestos fiber concentrations by process in asbestos textile industry

Process	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)					
		AM	SD	GM	GSD	Range	
Mixing	Personal	5	4.07	2.30	3.35	2.2	0.89 - 6.82
	Area	5	2.54	0.85	2.39	1.6	1.11 - 3.33
	Total	10	3.31	1.82	2.83	2.0	0.89 - 6.82
Carding	Personal	12	2.32	2.45	1.50	2.8	0.36 - 8.78
	Area	14	1.13	0.85	0.82	2.6	0.12 - 2.75
	Total	26	1.68	1.84	1.08	2.6	0.12 - 8.78
Spinning	Personal	33	3.54	4.13	2.00	3.2	0.17 - 15.6
	Area	20	2.09	2.34	0.99	4.0	0.06 - 6.43
	Total	53	2.99	3.60	1.49	3.5	0.06 - 15.6
Twisting	Personal	12	1.89	1.91	1.12	3.1	0.26 - 5.21
	Area	6	0.47	0.30	0.41	1.9	0.17 - 0.99
	Total	18	1.41	1.69	0.79	2.9	0.17 - 5.21
Weaving	Personal	12	0.63	0.56	0.43	2.9	0.08 - 1.63
	Area	8	0.34	0.34	0.19	3.6	0.02 - 0.93
	Total	20	0.52	0.49	0.31	3.2	0.02 - 1.63
Total	Personal	74	2.68	3.28	1.39	3.4	0.08 - 15.6
	Area	53	1.43	1.69	0.72	3.6	0.02 - 6.43

Table 6. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by process in asbestos textile industry

Process	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)					
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
Mixing	Personal	5	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	4 (80.0)
	Area	5	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (20.0)	4 (80.0)
	Total	10	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (10.0)	1 (10.0)	8 (80.0)
Carding	Personal	12	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (25.0)	3 (25.0)	6 (50.0)
	Area	14	0 (0.0)	1 (7.1)	6 (42.9)	4 (28.6)	3 (21.4)
	Total	26	0 (0.0)	1 (3.8)	9 (34.6)	7 (26.9)	9 (34.6)
Spinning	Personal	33	0 (0.0)	1 (3.0)	7 (21.2)	10 (30.3)	15 (45.5)
	Area	20	1 (5.0)	1 (5.0)	9 (45.0)	2 (10.0)	7 (35.0)
	Total	53	1 (1.9)	2 (3.8)	16 (30.2)	12 (22.6)	22 (41.5)
Twisting	Personal	12	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (50.0)	2 (16.7)	4 (33.3)
	Area	6	0 (0.0)	1 (16.7)	5 (83.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	18	0 (0.0)	1 (5.6)	11 (61.1)	2 (11.1)	4 (22.2)
Weaving	Personal	12	1 (8.3)	1 (8.3)	7 (58.3)	3 (25.0)	0 (0.0)
	Area	8	1 (12.5)	3 (37.5)	4 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	20	2 (10.0)	4 (20.0)	11 (55.0)	3 (15.0)	0 (0.0)
Total	Personal	74	1 (1.4)	2 (2.7)	24 (32.4)	18 (24.3)	29 (39.2)
	Area	53	2 (3.4)	6 (10.3)	24 (41.4)	7 (12.1)	14 (24.1)

연구결과에서는 지역시료의 평균농도는 10.8 f/cc, 개인시료 3.4 f/cc로 지역시료가 개인시료 보다 높게 평

가되었다(Park et al., 2009).

3. 브레이크라이닝 제조업

1990년대 후반 일부 사업장에서 생산하는 소형차의 브레이크라이닝 제품은 비석면으로 대체되고 있었으나 대부분의 자동차(소형 및 대형), 오토바이 등의 브레이크라이닝에는 백석면을 사용하였다. 본 연구에는 백

석면을 사용하여 자동차 및 오토바이 브레이크라이닝을 제조하는 13개 사업장을 대상으로 공기 중 석면노출 평가를 실시하였다. 연구대상 사업장의 공기 중 석면 노출평가는 1995년부터 2006년까지 이루어졌다. 2000년대 이후의 석면 노출평가 자료는 1건으로 본 연구의 대부분은 2000년 이전의 자료이다. 국내 브레이크라이닝 제조 사업장을 대상으로 실시한 석면 노출평가와

Table 7. Airborne asbestos fiber concentrations by company in brake-lining producing industry

Company	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
		AM	SD	GM	GSD	Range
H	13	0.26	0.24	0.19	2.5	0.04 - 0.86
I	22	0.14	0.10	0.11	2.0	0.04 - 0.36
J	10	0.20	0.17	0.15	2.3	0.07 - 0.53
K	69	0.12	0.11	0.08	2.8	<0.01 - 0.53
L	5	0.36	0.31	0.23	3.3	0.04 - 0.77
M	3	0.40	0.01	0.40	1.0	0.39 - 0.40
N	13	0.13	0.04	0.12	0.4	0.06 - 0.20
O	13	0.11	0.13	0.07	2.6	0.02 - 0.48
P	20	0.13	0.14	0.07	4.3	<0.01 - 0.55
Q	7	0.27	0.16	0.19	3.0	0.02 - 0.44
R	4	0.53	0.31	0.46	1.7	0.19 - 0.93
S	10	0.02	0.01	0.02	1.5	0.01 - 0.03
T	12	0.06	0.05	0.05	2.1	0.02 - 0.19
Total	201	0.15	0.16	0.09	2.8	0.01 - 0.93

Table 8. Distribution of airborne asbestos fiber by company in brake-lining producing industry

Company	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
		<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
H	13	2 (15.4)	5 (38.5)	6 (46.2)	1 (5.0)	1 (5.0)
I	22	8 (36.4)	9 (40.9)	5 (22.7)	1 (5.0)	1 (5.0)
J	10	4 (40.0)	3 (30.0)	3 (30.0)	1 (5.0)	1 (5.0)
K	69	36 (52.2)	22 (31.9)	11 (15.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
L	5	1 (20.0)	1 (20.0)	3 (60.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
M	3	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)
N	13	3 (23.1)	9 (69.2)	1 (7.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
O	13	9 (69.2)	2 (15.4)	2 (15.4)	0 (0.0)	0 (0.0)
P	20	10 (50.0)	7 (35.0)	3 (15.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Q	7	1 (14.3)	2 (28.6)	4 (57.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
R	4	0 (0.0)	1 (25.0)	2 (75.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
S	10	10 (100)	10 (100)	10 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)
T	12	10 (83.3)	2 (16.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	201	94 (46.8)	63 (31.3)	44 (21.9)	0 (0.0)	0 (0.0)

관련된 논문은 1993년까지 3편의 논문이 보고되었으나 이후에는 보고된 자료가 없다(Park et al., 2009).

Table 7에서 보듯이 연구대상 사업장의 공기 중 석면 산술평균 농도는 0.02~0.53 f/cc이었으며, 기하평균 농도는 0.01~0.31 f/cc이었다. 연구대상 사업장 중 H 사업장 등 자동차 브레이크라이닝을 제조하는 11개 사업장의 공기 중 석면 산술평균 농도는 노출기준 초과하였으나 오토바이 브레이크라이닝을 제조하는 S와 T사업장의 평균농도는 노출기준 미만이었다. 연구대상 사업장 중 R 사업장의 공기 중 석면의 최고농도는 0.93 f/cc로 노출기준의 9배 이상이었다.

자동차 브레이크라이닝 제조 사업장의 노출기준 초과율은 30.8~100%이었으며, 오토바이 브레이크라이닝 제조사업장의 노출기준 초과율은 0~16.7%이었다. 오토바이 브레이크라이닝을 생산하는 사업장 중 S 사업장은 기존의 브레이크라이닝 제조 사업장과 동일한 방법으로 제품을 생산하고 있다. 그러나 T 사업장은 브레이크라이닝 제조방법과 다르게 레진이 도포되어 있

는 석면사를 원료로 사용하여 브레이크라이닝을 제조하기 때문에 원료 자체에 분진발생량이 적고, 배합과 가성형 공정이 없어 근로자의 석면 노출이 낮은 것으로 판단된다.

브레이크라이닝 제조업의 공정별 공기 중 석면노출 평가한 결과와 분포는 Table 9와 10과 같다. 가성형 공정(preliminary press)의 산술평균 농도는 0.27 f/cc(기하평균 0.18 f/cc)로 가장 높게 나타났으며, 열성형 공정(hot press)에서 0.11 f/cc(기하평균 0.08 f/cc)로 가장 낮게 평가되었다. 연구대상 사업장의 모든 공정의 산술평균 결과는 노출기준인 0.1 f/cc를 초과하였으나 기하평균에서는 가성형 공정과 유공 공정에서만 노출기준을 초과하였다. 개인노출 평가에서 공기 중 석면 산술평균 농도는 배합 0.12 f/cc, 가성형 0.27 f/cc, 열성형 0.11 f/cc, 연마 0.17 f/cc, 유공 0.24 f/cc, 포장 0.14 f/cc로 모든 공정에서 노출기준을 초과하였으며, 지역 시료는 배합, 가성형, 열성형 공정에서 노출기준을 초과하였다.

Table 9. Airborne asbestos fiber concentrations by process in brake-lining producing industry

Process	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)					Range
		AM	SD	GM	GSD		
Mixing	Personal	29	0.12	0.10	0.08	2.8	0.01 - 0.44
	Area	5	0.14	0.19	0.07	3.2	0.02 - 0.48
	Total	34	0.13	0.12	0.08	2.8	0.01 - 0.48
Preliminary press	Personal	14	0.27	0.25	0.17	3.0	0.02 - 0.77
	Area	4	0.26	0.20	0.22	2.0	0.10 - 0.56
	Total	18	0.27	0.23	0.18	2.7	0.02 - 0.77
Hot press	Personal	50	0.11	0.10	0.08	2.5	0.01 - 0.53
	Area	13	0.13	0.13	0.09	2.4	0.02 - 0.50
	Total	63	0.11	0.10	0.08	2.5	0.01 - 0.53
Grinding	Personal	43	0.17	0.18	0.11	2.7	0.01 - 0.93
	Area	5	0.17	0.18	0.11	2.7	0.02 - 0.13
	Total	48	0.16	0.18	0.09	2.8	0.01 - 0.93
Drilling	Personal	20	0.24	0.21	0.15	3.0	0.01 - 0.86
	Area	4	0.06	0.06	0.04	3.0	0.01 - 0.14
	Total	24	0.21	0.20	0.12	3.4	0.01 - 0.86
Packing	Personal	12	0.14	0.10	0.11	2.1	0.03 - 0.41
	Area	2	0.03	0.03	0.02	3.4	0.01 - 0.06
	Total	14	0.12	0.10	0.09	2.6	0.01 - 0.41
Total	Personal	168	0.16	0.16	0.10	2.8	0.01 - 0.93
	Area	33	0.12	0.14	0.07	2.8	0.01 - 0.56

Table 10. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by process in brake-lining producing industry

Process	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)					
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
Mixing	Personal	29	13 (44.8)	10 (34.5)	6 (20.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	5	4 (80.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	34	17 (50.0)	11 (32.4)	6 (17.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
Preliminary press	Personal	14	5 (35.7)	2 (14.3)	7 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	4	0 (0.0)	2 (50.0)	2 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	18	5 (27.8)	4 (22.2)	9 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Hot press	Personal	50	26 (52.0)	19 (38.0)	5 (10.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	13	8 (61.5)	3 (23.1)	2 (15.4)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	63	34 (54.0)	22 (34.9)	7 (11.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
Grinding	Personal	43	19 (44.2)	14 (32.6)	10 (23.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	5	4 (80.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	48	23 (47.9)	15 (31.3)	10 (20.8)	0 (0.0)	0 (0.0)
Drilling	Personal	20	5 (25.0)	6 (30.0)	9 (45.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	4	3 (75.0)	1 (25.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	24	8 (33.3)	7 (29.2)	9 (37.5)	0 (0.0)	0 (0.0)
Packing	Personal	12	5 (41.7)	5 (41.7)	2 (17.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	2	2 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	14	7 (50.0)	5 (35.7)	2 (14.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	Personal	168	73 (43.5)	56 (33.3)	39 (23.2)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Area	33	21 (63.6)	8 (24.2)	4 (12.1)	0 (0.0)	0 (0.0)

각 공정의 노출기준 초과율은 배합 51.5%, 가성형 72.2%, 열성형 46.0%, 연마 52.1%, 유공 66.7% 그리고 포장 50.0%이었다. 브레이크라이닝 제조업은 모든 공정의 약 50% 정도의 시료가 노출기준을 초과하였다.

4. 정류자(Commutator) 제조업

정류자는 자동차 시동모터(start motor)의 부속품으로 배터리에서 공급되는 전기를 교류에서 직류로 바꾸는 장치로 석면을 사용하여 정류자를 제조하는 1

개 사업장을 대상으로 평가하였다. 정류자 제조과정 중에서 석면에 직접적으로 노출되는 공정은 배합, 성형, 외경가공이며, 석면을 직접적으로 사용하지는 않으나 주변공정의 비산분진으로 인해 석면에 노출되고 있는 공정은 내경가공, 절단, 검사이었다. 본 연구의 석면노출 평가 중 배합공정은 작업이 이루어지지 않아 평가 대상에서 제외하였다.

Table 11은 정류자 제조업에서의 공기 중 석면노출 평가 결과이다. 공기 중 석면의 산술평균 및 기하평

Table 11. Airborne asbestos fiber concentrations by process in commutator producing industry

Process	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
		AM	SD	GM	GSD	Range
Forming	13	0.23	0.37	0.15	2.6	0.04 - 1.36
Bore machining	6	0.05	0.02	0.05	1.4	0.03 - 0.07
Outside machining	8	0.09	0.06	0.07	1.8	0.04 - 0.23
Cutting	4	0.05	0.02	0.05	1.6	0.03 - 0.07
Inspection	4	0.12	0.04	0.12	1.4	0.08 - 0.18
Total	35	0.16	0.27	0.10	3.7	0.03 - 1.36

Table 12. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by process in commutator producing industry

Process	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Forming	13	5 (38.5)	5 (38.5)	2 (15.4)	1 (7.7)	0 (0.0)
Bore machining	6	6 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Outside machining	8	6 (75.0)	2 (25.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Cutting	4	4 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Inspection	4	0 (0.0)	2 (50.0)	2 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	35	23 (65.7)	8 (22.9)	3 (8.6)	1 (2.9)	0 (0.0)

균 농도가 노출기준을 초과한 공정은 성형과 검사 공정이며, 내경가공, 외경가공 및 절단공정에서는 노출기준을 초과하지 않았다. 성형공정의 최고 석면농도는 1.36 f/cc로 노출기준의 약 13배를 초과하였으며, 노출기준 초과율은 성형 61.5%, 외경가공 25.0% 그리고 검사 50.0 %이었으며 내경가공과 절단에서는 노출기준을 초과한 시료는 없었다.

5. 건축자재 제조업

건축물 외장재의 대표적 제품인 슬레이트와 내장재 제품인 라스텍스, 밤라이트 및 아스칼을 생산하는 3개소의 건축자재 제조업 사업장을 대상으로 1995년에 공기 중 석면노출을 평가하였다. 슬레이트 제조공정은 석면, 펄프, 시멘트 등을 물과 혼합하여 습식공정에서 제품을 생산하기 때문에 제품제조 공정에서 발생하는 공기 중 석면 노출농도보다 작업장을 청소할 때 2차 비산으로 발생하는 석면 농도가 높을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 작업장을 청소할 때 시료를 채취하지 못하였다. 라스텍스, 밤라이트 및 아스칼의 제조공정도 석면, 펄프, 시멘트 등을 물과 혼합하여 습식공정에서 생산되며, 생산된 제품은 건조된 후

규격에 맞게 절단을 하기 때문에 슬레이트 공정보다 분진이 많이 발생하고 있었다.

Table 13은 건축자재 제조업에서의 공기 중 석면 노출 평가결과이다. 슬레이트 제조업에서는 산술평균 농도(0.06 f/cc)와 기하평균 농도(0.05 f/cc) 모두 노출기준 미만이었으나, 라스텍스, 밤라이트, 아스칼을 제조하는 사업장의 산술평균 농도와 기하평균 농도 모두 노출기준을 초과하고 있다. 과거 국내 슬레이트 제조업의 석면 노출평가 결과를 보면 1987년 0.21 f/cc (Park & Paik, 1988), 1989년 0.29 f/cc 그리고 1992년 0.08 f/cc(Oh et al., 1993)로 보고되었으며, 국내에서 발표한 슬레이트 업종의 자료를 이용하여 가중산술평균(WAMs)로 계산한 결과 0.63 f/cc로 보고되었다 (Park et al., 2009). 라스텍스, 밤라이트, 아스칼 제조업에서의 석면노출 평가와 관련한 연구결과가 발표되지 않았기 때문에 비교할 자료가 없는 실정이다.

Table 14는 건축자재 제조업에서의 석면분포를 보여주고 있다. 슬레이트 제조업의 경우에는 노출기준 초과율이 10%로 맞았으나, 라스텍스 72.2 %, 밤라이트 56.0 % 그리고 아스칼 78.1 %가 노출기준인 0.1 f/cc를 초과하였다. 그러나 2 f/cc를 초과하는 시료는

Table 13. Airborne asbestos fiber concentrations by product in building materials producing industry

Product	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
		AM	SD	GM	GSD	Range
Slate	10	0.06	0.03	0.05	2.3	0.01 - 0.13
Lastex	18	0.26	0.21	0.16	3.5	0.01 - 0.68
CRC Board**	25	0.34	0.33	0.13	5.7	0.01 - 1.01
Astex	32	0.29	0.25	0.20	2.6	0.02 - 0.89
Total	85	0.27	0.26	0.14	3.8	0.01 - 1.01

* Cellulose fiber reinforced cement board : 밤라이트

Table 14. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by product in building materials producing industry

Product	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Slate	10	9 (90.0)	1 (10.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Lastex	18	5 (27.8)	1 (5.6)	12 (66.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
CRC Board**	25	11 (44.0)	0 (0.0)	13 (52.0)	1 (4.0)	0 (0.0)
Astex	32	7 (21.9)	10 (31.3)	15 (46.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	85	32 (37.6)	12 (14.1)	40 (47.1)	1 (1.2)	0 (0.0)

없는 것으로 평가되었다.

슬레이트 제품을 생산하는 공정은 습식 공정으로 진행되며, 시멘트, 백석면 및 기타 부자재를 혼합하는 배합 공정에서 출하 공정까지의 공정 중 석면노출이 가능한 4개 공정을 대상으로 공기 중 석면 노출을 평가하였다. 배합과 절단공정은 모든 시료가 노출기준 미만으로 평가되었으나 불량제품 및 절단 후 남은 조각 등을 분쇄하는 분쇄공정에서는 1개의 시료가 노출기준을 초과하였다.

라스텍스 제품 생산 공정에서 배합, 절단, 검사공정에서 석면에 노출되고 있었다. 백석면 등 원료를 배합하는 배합공정의 공기 중 석면 산술평균 농도는 0.05 f/cc(기하평균 0.03 f/cc)로 노출기준 미만이며, 생산된

라스텍스를 일정 규격으로 잘라 상품화하는 절단공정은 건조된 라스텍스 절단하기 때문에 모든 시료가 노출기준인 0.1 f/cc를 초과하였고 공기 중 석면 산술평균 농도는 0.41 f/cc(기하평균 0.38 f/cc)이었다. 검사공정은 일정 규격으로 절단된 라스텍스를 육안으로 확인하는 공정으로 평균 석면농도는 0.32 f/cc(기하평균 0.29 f/cc)로 모든 시료가 노출기준을 초과하였다. 이러한 원인은 제품에 남아 있는 분진으로 인해 많은 양의 석면이 근로자에 노출되는 것으로 추정할 수 있다.

밤라이트 제품 생산 공정에서 배합, 절단 그리고 검사공정에서 석면에 노출되고 있었다. 배합과 검사공정의 공기 중 석면 산술평균 농도는 0.05 f/cc(기하평균

Table 15. Airborne asbestos fiber concentrations by process in building material producing industry

Process	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)					Range
		AM	SD	GM	GSD		
Slate	Mixing	5	0.05	0.02	0.05	1.6	0.03 - 0.08
	Cutting	3	0.04	0.03	0.03	3.4	0.01 - 0.06
	Pulverizer	2	0.10	0.03	0.10	1.4	0.08 - 0.13
	Total	10	0.06	0.03	0.05	2.3	0.01 - 0.13
Lastex	Mixing	6	0.05	0.04	0.03	2.5	0.01 - 0.13
	Cutting	6	0.41	0.18	0.38	1.6	0.22 - 0.64
	Inspection	6	0.32	0.18	0.29	1.6	0.20 - 0.68
	Total	18	0.26	0.21	0.16	3.5	0.01 - 0.68
CRC Board**	Mixing	3	0.05	0.03	0.05	1.8	0.03 - 0.09
	Cutting	14	0.58	0.24	0.53	1.6	0.25 - 1.01
	Inspection	8	0.02	0.01	0.02	1.9	0.01 - 0.04
	Total	25	0.34	0.33	0.13	5.7	0.01 - 1.01
Astex	Mixing	8	0.12	0.06	0.11	1.7	0.05 - 0.20
	Cutting	4	0.37	0.22	0.21	4.3	0.04 - 0.83
	Grinding	8	0.32	0.27	0.31	2.0	0.12 - 0.65
	Packing	12	0.40	0.39	0.22	2.8	0.02 - 0.89
	Total	32	0.29	0.25	0.20	2.6	0.02 - 0.89

Table 16. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by process in building material producing industry

Process	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)					
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
Slate	Mixing	5	5 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Cutting	3	3 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Pulverizer	2	1 (50.0)	1 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	10	9 (90.0)	1 (10.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Lastex	Mixing	6	5 (83.3)	1 (16.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Cutting	6	0 (0.0)	6 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Inspection	6	0 (0.0)	6 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	18	5 (27.8)	13 (72.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CRC Board**	Mixing	3	3 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Cutting	14	0 (0.0)	13 (92.9)	1 (7.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Inspection	8	8 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	25	11 (44.0)	13 (52.0)	1 (4.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Astex	Mixing	8	4 (50.0)	3 (37.5)	1 (12.5)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Cutting	4	1 (25.0)	1 (25.0)	2 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Grinding	8	0 (0.0)	3 (37.5)	5 (62.5)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Packing	12	2 (16.7)	3 (25.0)	7 (58.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Total	32	7 (21.9)	10 (31.3)	15 (46.9)	0 (0.0)	0 (0.0)

0.05 f/cc)와 0.02 f/cc(기하평균 0.02 f/cc)로 노출기준 미만이었으나 절단공정의 산술평균 농도는 0.58 f/cc(기하평균 0.53 f/cc)이었으며, 연구대상 모든 시료가 노출기준을 초과하였다. 절단공정은 건조된 밤라이트를 진동톱으로 규격에 맞게 절단하기 때문에 석면 노출이 많은 것으로 평가되었다.

아스칼 제품 생산 공정에서 배합, 절단, 연마 그리고 포장공정에서 석면에 노출되고 있었다. 배합공정의 공기 중 석면 산술평균 농도는 0.12 f/cc(기하평균 0.11 f/cc), 절단공정 0.37 f/cc(기하평균 0.21 f/cc), 연마공정 0.32 f/cc(기하평균 0.31 f/cc) 그리고 포장공정 0.40 f/cc(기하평균

0.22 f/cc)로 모든 공정에서 노출기준을 초과하였다.

건축자재 제조업의 대표적인 외장재 제품인 슬레이트 보다 건축물 내장재로 사용하는 라스텍스, 밤라이트 그리고 아스칼 제품을 제조할 때 근로자들이 석면에 더 많이 노출된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 제품 생산의 특성에 따른 것으로 슬레이트의 절단은 습식상태에서 이루어지나 라스텍스, 밤라이트, 아스칼 제품은 건조된 상태에서 이루어지기 때문이다.

6. 기타 산업

Table 17은 개스킷 제조, 석유화학 공장, 브레이크

Table 17. Airborne asbestos fiber concentrations by process in other industries

Process	No. of sites	No. of samples	Airborne asbestos concentration(f/cc)				
			AM	SD	GM	GSD	Range
Gasket producing	1	9	0.04	0.04	0.03	2.4	0.01 - 0.11
Petrochemistry	2	11	0.04	0.10	0.02	3.1	0.01 - 0.35
Subway brake lining exchange	2	12	0.04	0.04	0.03	2.4	0.01 - 0.01
Car brake lining exchange	2	11	0.004	0.004	0.003	2.5	<0.01 - 0.02
Musical instrument producing	1	2	0.04	0.04	0.04	2.5	0.02 - 0.07
Total	8	45	0.03	0.06	0.01	3.9	<0.01 - 0.34

Table 18. Distribution of airborne asbestos fiber concentrations by process in other industries

Process	No. of samples	Distribution by airborne asbestos concentration(%)				
		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Gasket producing	9	8 (88.9)	1 (11.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Petrochemistry	11	10 (90.9)	1 (9.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Subway brake lining exchange	12	11 (91.7)	1 (8.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Car brake lining exchange	11	11 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Musical instrument producing	2	2 (100)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	45	42 (93.3)	3 (6.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

라이닝 교환 및 악기제조 산업에서의 석면사용 또는 석면함유제품 사용에 따른 근로자 석면노출 결과이다.

개스킷은 백석면과 레진 등을 혼합하여 제품을 생산하기 때문에 배합공정에서 석면과 레진이 혼합되고 나면 석면분진이 외부로 비산할 수 없는 작업특성을 가지고 있어 근로자의 석면노출은 배합조에 석면원료를 투입할 때 발생한다. 개스킷 제조 사업장의 공기 중 석면의 산술평균 농도는 0.04 f/cc(기하평균 0.03 f/cc)로 노출기준 미만이었으나 일부 시료는 노출기준인 0.1 f/cc를 초과한 경우도 있었다.

석유화학 공장의 정해조 제작에 사용되는 석면포를 취급하는 근로자를 대상으로 평가하였으며, 공기 중 석면 평균농도는 0.04 f/cc(기하평균 0.02 f/cc)로 낮았으며 1개의 시료가 노출기준을 초과하였다. 브레이크라이닝 교환 및 악기제조와 관련된 작업에서는 노출기준 미만으로 평가되었다.

IV. 결 론

본 연구는 1994년부터 2006년까지 석면방직업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업, 건축자재 제조업 그리고 기타 일부 산업에서 석면농도를 평가하였다. 그 결과 석면방직업의 공기 중 석면의 산술평균 농도는 2.14 f/cc이었으며, 노출기준 초과율은 97.6%로 대부분의 시료가 현재의 노출기준을 초과하고 있다. 브레이크라이닝 제조업의 공기 중 석면의 산술평균 농도는 0.15 f/cc이었으며, 연구대상 시료 중 53.5%가 노출기준을 초과하였다. 정류자 제조업의 석면의 산술평균 농도는 0.14 f/cc이었으며, 연구대상 시료 중 34.3%가 노출기준을 초과하였다. 건축자재 제조업의 공기 중 석면의 산술평균 농도는 0.26 f/cc로 노출기준을 미만으로 평가되었다. 그러나 건축자재 제품별

공기 중 평균농도는 슬레이트 0.06 f/cc, 라스텍스 0.26 f/cc, 밤라이트 0.33 f/cc(, 아스칼 0.29 f/cc이며, 공기 중 석면농도의 노출기준 초과율은 슬레이트 10%, 라스텍스 72.2%, 밤라이트 56.0%, 아스칼 78.1%이었다.

국내 석면관련 산업 중 근로자 노출이 가장 많은 산업은 석면방직업, 건축자재 제조업, 브레이크라이닝 제조업, 정류자 제조업 그리고 기타산업 순으로 평가되었다. 그러나 정류자 제조업의 일부 공정의 석면농도는 브레이크라이닝 제조업보다 높게 평가되었다.

본 연구에서 보고한 정류자 제조업, 건축자재 내장재(라스텍스, 밤라이트, 아스칼), 석유화학제품생산, 악기제조 공정의 공기 중 석면 노출농도는 국내 석면관련 연구로는 처음으로 보고되는 자료로, 해당 산업의 근로자 건강 보호에 활용도가 높을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Health and Safety Laboratory (HSE). Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne, MDHS (Methods for the Determination of Hazardous Substances) 87 Fibers in air, HSE;1998
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Asbestos management resources[Asbestos-containing products, 2007]. Available from; URL: <http://www.moel.go.kr/policyinfo/asbestos/view.jsp?cate=7&sec=1>
- National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH). Asbestos and other fibers by PCM, NIOSH Manual of Analytical Methods 4th ed. NIOSH;1994.
- National Institute for Labor Science(NILS). Ministry of Labor, Korea. Survey on health status of workplace asbestos handling, National Labor Science Research, 87-5, 1987
- Oh SM, Chung KC. A study on workers' exposure to asbestos and control measures in some asbestos industries, Industrial Health Research Institute. KISCO,

- Research Report, Industrial Hygiene 92-3-10, 1992
- Oh SM, Shin YC, Park DY, Park DU and Chung KC. A study on worker exposure level and variation to asbestos in some asbestos industries. Korea Ind Hyg Assoc J 1993;3(1):100-109
- Paik NW, Lee YH. Characterization of worker exposure to airborne asbestos in asbestos industry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1991;1(2):144-153
- 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 DU, Choi SJ, Yoon CS. Review on occupational exposure to asbestos in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2009;19(3):307-320
- Park JI, Yoon CS, Paik NW. A study on exposure among asbestos textile workers and estimation of their historical exposure. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1995;5(1):16-39