

일부 석면취급사업장의 석면폭로 농도 및 작업환경관리 기준에 관한 연구

한국산업안전공단 산업보건연구원

오세민 · 신용철 · 박두용 · 박동욱 · 정규철

— Abstract —

A Study on Worker Exposure Level and Variation to Asbestos in Some Asbestos Industries

Se Min Oh, Yong Chul Shin, Doo Yong Park,
Dong Uk Park and Kyou Chull Chung

*Industrial Hygiene Laboratory Industrial Health Research Institute
Korea Industrial Safety Corporation*

This study was performed to evaluate the asbestos exposure levels and variations in textile, brake lining manufacturing and slate manufacturing industries.

For this study, fifteen plants of brake lining manufacturing industry, 7 plants of textile industry, and 2 plants of slate manufacturing industry were selected and surveyed.

Geometric means (GMs) of airborne asbestos concentrations in textile, brake lining manufacturing, and slate manufacturing industries were 1.42 f/cc (0.07-6.10 f/cc), 0.19 f/cc (0.01-2.67 f/cc) and 0.08 f/cc (0.02-0.67 f/cc), respectively.

In textile industry, overall GMs of airborne asbestos concentrations in plants with less than 50 workers and in plants with more than 50 workers were 1.60 f/cc and 0.3 f/cc, respectively. Therefore, the size of plant showed some difference in the airborne asbestos concentrations. Three out of 7 (42.9%) exceed the Korean standard, 2 f/cc, and every plant exceed the USA standard, 0.2 f/cc of the OSHA-Permissible Exposure Level (OSHA-PEL). Especially, one plant showed the highest average concentration of 2.87 f/cc.

In brake lining manufacturing industry, the plants with less than 50 workers showed 0.22 f/cc. The plants with more than 50 workers showed 0.18 f/cc. All plants showed the exposure level below the Korean standard. Five of 15 (33.3%) were above the OSHA-PEL. One plant showed the highest average concentration of 0.84 f/cc.

In slate manufacturing industry, the average exposure level was 0.08 f/cc, and all of the plants were below the Korean standard and the OSHA-PEL.

I. 서 론

석면(asbestos)은 자연계에서 산출되는 섬유상 광물질의 총칭으로, 인장내력(引張耐力)과 유연성이 뛰어나고, 불연성(不燃性)과 내마모성(耐磨耗性), 절연성(絶緣性) 등의 여러가지 특성때문에, 석면제품은 우리 일상생활에 대단히 유용한 물질로 사용되고 있으나, 인체에 암 등을 유발하는 물질이기 때문에 산업안전보건법에 특별한 관리가 요구되는 특정화학물질의 하나로 규정되어 있다(노동부, 1990).

산업적으로는 1940년대부터 미국을 비롯한 여러 국가에서 석면이 건강에 미치는 영향이 알려지지 않은채 건축용 시멘트를 비롯한 단열재 등에 이용되어 왔으나, 20년이 지난 1960년대 이후 석면에 폭로되었던 많은 근로자 중에서 중피종(mesothelioma), 폐암(lung cancer) 등의 암과 석면폐증(Asbestosis)이 많이 발생되어 큰 사회문제가 된 바 있다(Doll, 1955, Becklake, 1976, Selikoff & Lee, 1978, Lee, 1979, Brown, 1991).

우리나라에서는 1960년대의 산업사회의 진입과 더불어 석면의 사용량이 매년 증가되고 있다. 1980년초 광천의 석면광산이 폐광된 후 캐나다, 아프리카, 유럽 등지에서 전량 수입하여 사용하고 있는데, 특히 캐나다로부터 수입량이 가장 많다. 석면수입량은 1988년까지 계속 증가하다가 '89년과 '90년에 약간 감소하였으나 '91년도에는 다시 증가하는 추세이다(관세청, 1992).

석면과 관련된 질병은 일반적으로 석면에 폭로된 후 장기간(15-20년)이 지난 다음에 발병되는 것으로 알려져 있으므로, 1960년대부터 석면을 사용하기 시작한 우리나라는 이미 석면에 의한 직업병이 발생되었거나 앞으로 발생할 가능성이 크다고 보여진다. 특히 1970년대와 1980년대에는 석면의 유해성에 대하여 잘 알려지지 않은 상태에서 석면의 사용량이 급증하였기 때문에 많은 근로자들이 석면에 폭로되어 왔을 가능성이 크다. 따라서 우리나라에서도 석면 취급 근로자에 대한 엄격한 역학조사와 작업환경의 개선방안이 제시되어 석면취급근로자의 건강을 보호해주는

것이 산업보건의 당면 과제라고 판단된다.

우리나라에서 석면취급사업장의 정확한 실태조사가 최초로 실시된 것은 1987년으로 산업보건연구원의 전신인 국립노동과학연구소에서 서울대학교 보건대학원과 공동으로, 석면 취급 사업장중 문제가 크다고 보여지는 슬레이트 제조업 및 석면방직 사업장에 대하여 근로자의 석면폭로실태를 조사한 바 있는데, 그 결과 대부분의 작업환경이 허용기준을 초과한 상태에 있었으며, 국소배기시설의 설치가 되어 있지 않거나 성능이 미비한 것으로 나타난 바 있다(국립노동과학연구소, 1987 및 박 등, 1988). 이 조사이후 석면의 유해성에 대하여 널리 알려지고 사회적인 관심이 고조되어 석면작업장에 대한 작업환경의 측정과 관리가 이루어지기 시작하였다.

우리나라의 경우 석면에 의한 근로자의 건강장애 위험은 매우 높은 편이나 이에 관한 역학적 실태조사는 물론, 아직도 석면사업장에 대한 정확한 근로자의 폭로에 관한 조사가 지속적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서, 석면 사업장의 업종별(사업장별), 공정별 근로자의 정확한 석면폭로농도를 조사하고, 농도의 변이와 그에 따른 관리기준을 제시하여 환경 개선을 도모함으로써 석면취급근로자의 건강을 보호하는데 활용하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 연구방법

1. 대 상

본 조사는 우리나라에서 사용하는 석면의 약 80%를 차지하는 슬레이트 제조사업장 2개소와 석면분진발생이 가장 심한 업종인 석면방직 사업장 7개소, 그리고 석면브레이크 제조사업장 15개소를 조사대상으로 하여 1992년 3월에서 10월까지 실시하였으며, 이들의 업종별 규모별 분포는 표 1과 같다.

2. 방 법

사업장별로 개인의 석면폭로농도와 함께 각 업종의 공정별 석면 폭로농도를 측정하였다.

Table 1. Number of Plants Surveyed

Type of Industry	Worker Size			Total
	<50	50- <100	100≤	
Textile	6	—	1	7
Brake lining manufacturing	6	3	6	15
Slate manufacturing	—	—	2	2
Total	12	3	9	24

석면농도 측정은 미국국립산업안전보건연구소 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법 'Method 7400' (NIOSH, 1989)에 따라 실시하였다. 시료의 채취는 유량을 보정한 개인용 공기채취 펌프(미국 M-SA, Flow-Lite)에 mixed cellulose ester membrane filter(미국 Millipore, Type AA)가 장착된 3-piece cassette를 연결하여 근로자의 호흡위치에서 측정하였으며, 시료의 분석은 위상차 현미경(미국 American Optical MICROStar)에 Walton-Beckett graticule(영국 GRATICULES, W-&B ASBESTOS G24-22mm)을 삽입하여 'A' 규척에 따라 길이 5 μ m 이상, 길이대 너비의 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 석면 섬유만을 계수하였다.

시료의 채취는 작업이 정상적으로 이루어지고 있는 시간대에 실시하였으며, 개인시료 채취기의 여과지 holder를 작업자의 호흡위치에 부착하여 1.5-3 Lpm의 유량으로 한 시료당 1-4시간 동안 포집하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 업종별 근로자의 석면폭로 농도

본 조사는 우리나라에서 수입된 석면을 대부분 소비하는 브레이크 라이닝 제조업, 방직업 및 슬레이트 제조업종에 종사하는 근로자의 석면폭로 농도를 조사하였으며 이를 요약하면 표 2 및 그림 1과 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 석면방직업 전체 사업장의 평균 폭로농도는 1.42 개/cc였고, 이 중 50인 미만인 사업장에서 평균 1.60 개/cc로 비교적 높은 농도를 나타냈으나 업종중의 50인 이상인 사업장은 평균 0.3 개/cc를 보여 규모별로 큰 차이가 있었다. 이 업종에서 최대 농도는 6.1 개/cc로 일부 공정에서는 매우 높은 농도에 폭로됨을 알 수 있었다. 이 업종의 석면농도는 과거 측정자료에 비해 낮지만 그래도 석면농도가 근로자의 질병을 유발할 정도로 매우 높았다.

석면은 저농도에서도 중피종과 같은 치명적인 질병을 일으킬 수 있으므로 가능한한 작업장의 석면농도를 최소한으로 유지하도록 최선의 노력

Table 2. Worker Exposure Level to Asbestos by the Type of Industry

Type of Industry	No. of Samples	No. of Worker					
		<50		50≤		Total	
		GM, f/cc (GSD)	Range, f/cc	GM, f/cc (GSD)	Range, f/cc	GM, f/cc (GSD)	Range, f/cc
Textile	40	1.60 (1.63)	0.15-6.10 ·	0.30 (2.63)	0.07-1.55	1.42 (1.89)	0.07-6.10
Brake Lining manufacturing	122	0.22 (4.13)	0.08-2.42 ·	0.18 (2.36)	<0.01-2.67	0.19 (3.07)	<2.67
Slate	11	—	—	0.08 (2.75)	0.02-0.67	—	—

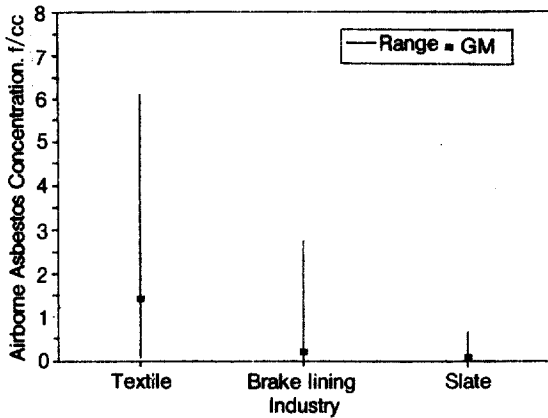


Fig. 1. Worker's asbestos exposure levels by type of industry.

을 기울여야 할 것이다. 따라서 이 업종에 대해서는 충분한 대책을 강구하여 석면의 위험으로부터 근로자를 보호하여야 하겠다.

다음으로 브레이크 라이닝 제조업에서의 평균 폭로농도는 0.19 개/cc로 나타났다. 이 중 50인 미만인 사업장 0.22 개/cc였고 50인 이상인 사업장은 0.18 개/cc로 나타났고 가장 높은 농도를 보인 시료는 2.67 개/cc였다. 이 업종에서는 규모에 따라 근로자의 석면폭로농도는 큰 차이가 없는 것으로 보이거나 일부 공정에서는 매우 높은 석면 농도에 폭로됨을 알 수 있었다. 일부 사업장은 많은 투자를 하여 국소배기시설을 설치하였으나 작업하기에 불편하다고 가동을 하지 않는 상태였고 가동중인 시설도 그 설계가 미흡하여 충분히 효과를 나타내지 못했다. 박 등이 석면방직업 및 슬레이트 제조업 9개소를 대상으로 국소배기시설의 효율을 조사한 결과에 따르면 형식적인 시설을 해 놓은 사업장이 60% 이상이었고 실제로 석면폭로를 감소시킬 수 있는 시설을 한 사업장이 20%에 불과하다고 보고하였다(박두용 등, 1988).

따라서 국소배기시설을 설치할 때에는 전문가의 의견을 반영하여 만족할 만한 효과가 발휘되도록 설계, 설치하고 설치 후에 계속적으로 작업환경측정을 하여 그 효율을 검증하여야 하겠다. 만약 설비의 효율성이 뒤떨어지면 그 설비에 대한 보완조치를 하여야 할 것이다.

본 조사의 대상으로 선정된 석면 슬레이트사업장은 2개소로 2개소 모두 근로자 규모가 50인 이

상으로 비교적 규모가 큰 업소였는데 이 업종의 석면폭로농도는 평균 0.08 개/cc로 비교적 낮은 농도를 나타냈다.

가. 석면방직업

(1) 사업장별 석면 폭로농도

우리나라에서는 석면 수입량의 5-6% 정도가 방직용으로 사용되고 있으며, 석면 방직업의 대부분이 50인 미만의 영세사업장으로서 안전·보건을 위한 시설 투자가 어려운 실정으로 작업환경이 대부분 열악한 상태였다.

본 조사대상 사업장 수는 7개소로 다른 업종보다 가장 높은 폭로수준을 보였다. 사업장별 폭로농도는 표 3 및 그림 2와 같으며 우리나라 허용기준과 ACGIH의 TLV 2 개/cc(노동부, 1991, ACGIH, 1992)를 초과하는 사업장이 7개소중 3개소(42.9%)였고 나머지 4개소도 미국의 허용기준 0.2 개/cc(OSHA, 1986)를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 가장 높은 폭로농도를 보인 사업장은 F 사업장으로 평균 2.87 개/cc였고, 반면에 가장 낮은 농도는 G 사업장으로 평균 0.3 개/cc로 나타나 사업장에 따라 폭로수준이 많은 차이가 있었다. G 사업장은 대기업으로서 영세 사업장보다 비교적 석면에 대한 관리가 잘 되고 있었다.

가장 높은 농도의 시료는 A 사업장에서 6.1 개/cc로 나타나 우리나라 허용기준의 3배를 초과하는 매우 높은 수준이었다. 전체 대상 사업장의 평균농도는 1.42 개/cc로 나타났다.

(2) 석면시료 농도의 분포 및 허용기준초과 수

Table 3. Worker Asbestos Exposure Levels in Asbestos Textile Industries

Plant	No. of Samples	Airborne Asbestos Concentration, f/cc		GSD
		GM	Range	
A	4	2.45	0.59-6.10	2.86
B	2	1.20	1.13-2.27	1.09
C	3	0.81	0.51-1.35	1.63
D	5	0.28	0.15-0.44	1.63
E	5	2.04	0.94-4.98	1.09
F	3	2.87	2.18-4.49	1.48
G	18	0.30	0.07-1.55	2.63
Total	40	1.42	0.07-6.10	1.89

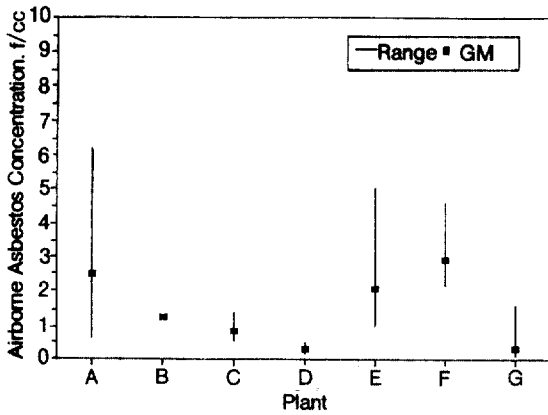


Fig. 2. Worker's asbestos exposure levels in asbestos textile industries.

표 4는 각 사업장에서 채취한 시료의 농도분포 및 허용기준 초과수를 나타낸 것이다. 농도범위는 미국의 Action Limit(0.1 개/cc)(OSHA, 1986), 미국의 허용농도(0.2 개/cc), 우리나라 노동부의 허용농도(2 개/cc)를 근거로 그 분포를 본 것이다. 전체 40개 시료중 32개 시료(80%)가 미국의 허용기준을 초과하였고 우리나라 허용기준

Table 4. Distribution of Asbestos Exposure Concentrations in Asbestos Textile Industry

Plant	No. of Samples	No. of Samples by Concentration (%)			
		<0.1	0.1- <0.2	0.2- <2	≥2
A	4	-	-	1	3
B	2	-	-	2	-
C	3	-	-	3	-
D	5	-	1	4	-
E	5	-	-	3	2
F	3	-	-	-	-
G	18	2	5	11	3
Total	40	2(5.0)	6(15.0)	24(60.0)	8(20.0)

을 초과하는 시료수는 8개(20%)로 나타났다. 또한 2개 시료를 제외한 모든 시료가 미국의 Action Limit를 초과하였다.

석면 방직업의 석면폭로 수준은 매우 높으므로 철저한 관리 대책이 필요하다. 근로자는 반드시 규격에 맞는 보호구를 사용하고 국소배기시설 등을 설치하여 효율적으로 가동되도록 지속적인 관리를 해야 할 것이다.

(3) 공정별 석면폭로 농도

방직업의 주공정인 배합(mixing), 소면(carding), 정방(spinning), 연사(twisting), 직포(weaving) 공정에서 석면농도를 측정하였으며 그 결과는 표 5 및 그림 3에 나타내었다. 여기에서 보듯이 50인 미만인 사업장에서 혼면이 가장 높게 나타나 6.1 개/cc였고 다음으로 직포(2.47 개/cc), 소면(1.60 개/cc), 정방(1.40 개/cc), 연사(1.29 개/cc) 순으로 낮게 나타났다. 50인 이상인 사업장에서는 혼면 공정에서 측정된 시료가 없어 비교가 불가능하나 측정대상 공정에 대해 비교한 결과 연사(0.59 개/cc), 정방(0.30 개/cc), 소면(0.22 개/cc), 직포(0.19 개/cc) 순으로 낮게 나타났다. 특이할 만한 사실은 50인 미만인 사업장과 비교해 볼 때 이와 반대되는 경향을 보였다.

규모에 관계없이 전시료를 대상으로 공정별 농도분포를 살펴본 결과, 혼면(6.1 개/cc), 직포(1.33 개/cc), 연사(0.94 개/cc), 소면(0.91 개/cc), 정방(0.85 개/cc) 순으로 나타나 혼면을 제외한 다른 공정은 농도차이가 큰 차이가 없었고 서로 비슷한 수준을 보였다.

나. 브레이크 라이닝 제조업

(1) 사업장별 평균 폭로농도

전체수입 석면량의 8-9% 정도가 브레이크 라

Table 5. Asbestos Exposure Concentrations by Worker Size and Process in Asbestos Textile Industry

Process	N	<50			50≤				Total	
		GM f/cc	Range f/cc	GSD	N	GM f/cc	Range f/cc	GSD	N	GM f/cc
Mixing	1	6.10	-	-	-	-	-	-	1	6.10
Carding	4	1.60	0.78-4.71	2.17	4	0.22	0.08-0.60	2.54	8	0.91
Spining	5	1.40	0.94-2.41	1.42	7	0.30	0.11-0.76	2.08	12	0.85
Twisting	10	1.29	0.15-4.98	3.45	4	0.59	0.12-1.55	3.11	14	0.94
Weaving	2	2.47	2.18-2.80	1.20	3	0.19	0.07-0.79	3.61	5	1.33

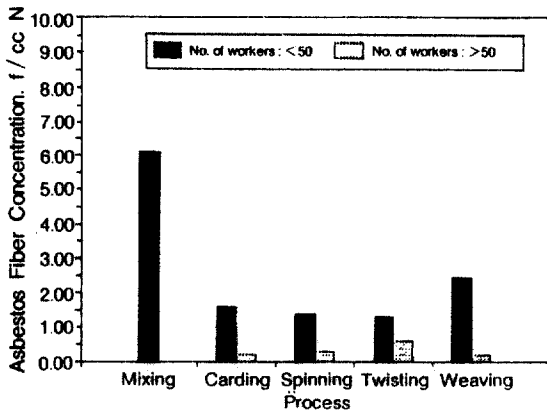


Fig. 3. Airborne asbestos concentrations by scale of industry and process in asbestos textile industry.

이닝의 제조에 사용되고 있으며, 소형 차량용의 브레이크라이닝은 일부업체에서 대체품을 생산하고 있고, '94년까지는 대형 차량용의 브레이크 라이닝도 비석면 제품으로 대체토록 정부에서 추진하고 있다. 그러나 현재 대부분의 업체에서는 석면을 원료로 사용하기 때문에 석면의 위험에 노출되어 있는 상태이다.

대상 사업장의 공기중 석면농도는 표 6 및 그림 4와 같다.

표에서 보듯이 조사대상 15개 사업장의 전체 평균 0.19개/cc의 농도를 보였고 범위는 <0.01-2.67개/cc로 나타났다. 전체적으로는 우리나라의 허용기준의 약 1/10 수준이었고 미국의 허용기준과 가까운 수준이었다.

평균 농도가 미국의 허용기준 0.2개/cc를 초과하는 사업장은 C, G, H, I 및 K 사업장으로 총 15개소 중 5개소(33.3%)였고 미국의 Action Limit를 초과하는 사업장 수가 9개소였다.

미국에서는 법적인 허용농도 뿐만 아니라 추가로 'Action Limit'도 설정하고 있어 허용농도의 1/2 인 0.1 개/cc를 초과하면 이 농도 이하가 되도록 감시 관리하고 있다. 따라서 브레이크 라이닝 제조업의 경우 0.1 개/cc를 훨씬 초과하고 있어 작업환경관리가 필요하다.

이 업종에서 생산한 제품을 사용 및 수리하는 자동차 정비업종 종사자의 석면폭포 수준이 약 0.1 개/cc로 보고된 바 있다(신용철 등, 1989).

(2) 석면시료의 농도 분포 및 허용기준초과 수

Table 6. Asbestos Exposure Concentrations in Brake Lining Manufacturing Industry

Plant	No. of Samples	Airborne Asbestos Concentration, f/cc		
		GM	Range	GSD
A	9	0.09	0.04-0.22	1.66
B	6	0.04	<0.01-0.16	3.16
C	5	0.81	<0.01-2.42	9.38
D	7	0.19	0.05-0.52	2.59
E	8	0.12	0.03-0.68	3.93
F	5	0.07	0.02-0.21	4.07
G	5	0.22	0.11-0.36	1.56
H	3	0.38	0.32-0.51	1.29
I	5	0.43	0.07-1.01	3.04
J	8	0.04	0.02-0.07	1.42
K	20	0.27	0.08-0.95	1.90
N	8	0.10	0.03-0.18	2.02
M	19	0.11	<0.01-2.67	4.79
N	8	0.03	0.01-0.13	3.12
O	6	0.01	<0.01-0.06	2.09
Total	122	0.19	<0.01-2.67	3.07

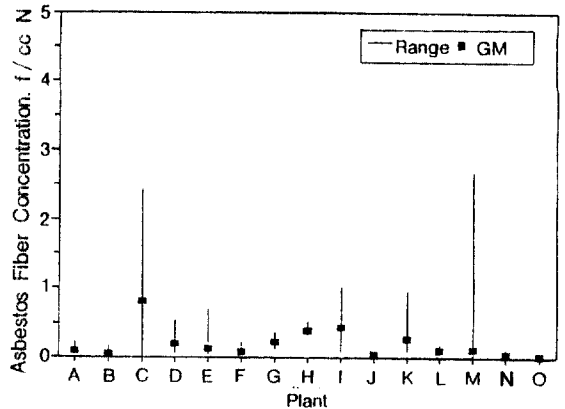


Fig. 4. Worker's asbestos exposure levels by plant in brake lining manufacturing industry.

표 7은 이업종의 조사된 시료의 석면농도 분포를 나타내고 있다.

표에서 보는 바와 같이 전체시료 122개중 우리나라 허용기준 2 개/cc를 초과하는 시료는 3개(2.5%)로 나와 이 업종에서도 일부 근로자는 고농도의 석면에 폭포될 위험이 있다는 것을 알 수 있다. 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 초과하는 시료수는 전체시료 중 47개로 약 40%가 이 기준을 초과

Table 7. Distribution of by of Asbestos fibero
Concentration in Brake Lining Manufacturing
Industry

Plant	No. of Samples	Asbestos Concentration (f / cc)			
		<0.1	0.1- <0.2	0.2- <2	2≤
A	9	5	3	1	-
B	6	4	2	-	-
C	5	1	-	2	2
D	7	2	1	4	-
E	8	4	-	4	-
F	5	4	1	-	-
G	5	-	1	4	-
H	3	-	-	3	-
I	5	1	-	4	-
J	8	8	-	-	-
K	20	1	4	15	-
L	8	2	6	-	-
M	19	7	4	7	1
N	8	6	2	-	-
O	6	6	-	-	-
Total	122	51(41.8)	24(19.6)	44(36.1)	3(2.5)

하여 이 업종의 작업환경관리가 미흡함을 알 수 있다. 한편 미국의 Action Limit를 초과하는 시료 수는 71개로 약 2/3 정도가 이 기준을 초과하였다.

미국의 허용기준을 적용할때 이기준을 초과하는 시료가 하나도 없는 사업장이 B, F, J, L, N 및 O 사업장등 6개 사업장으로 나타나 이 사업장들은 작업환경관리가 작업환경관리가 비교적 잘 되고 있는 것으로 나타났다.

(3) 공정별 석면 농도

표 8 및 그림 5는 각 공정별에 따른 석면농도를

나타낸 것이다. 근로자 규모를 50인 기준으로 시료를 정리하였으며, 그 결과 50인 미만인 사업장에서 연마(0.22 개/cc), 계량·배합(0.16 개/cc) 순이었고 다음으로 유공, 열성형, 및 조립.포장 공정이 0.1 개/cc로 동일한 농도 수준이었다. 50인 이상인 사업장에서는 유공(0.20 개/cc), 열성형(0.18 개/cc), 연마(0.17 개/cc), 계량·혼합(0.13 개/cc), 조립.포장(0.03 개/cc)순으로 낮았다. 이결과로 보아 50인 미만인 사업장의 조립.포장의 경우 50인 이상 사업장보다 상대적으로 높은 농도를 보이고 있고 다른 공정과 큰 차이가 없게 나타났다.

이 공정의 시료수가 충분치 않아 많은 사업장을 대표하기에는 무리가 있고 그 사업장이 특별

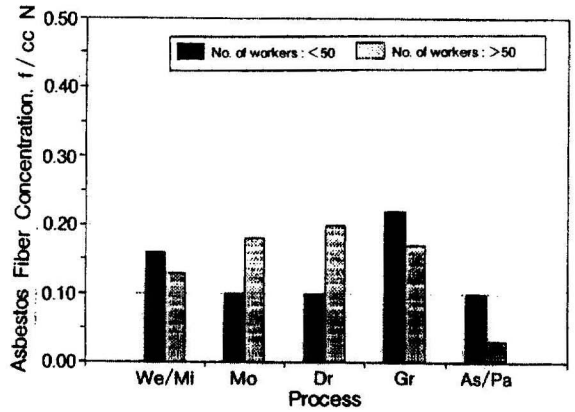


Fig. 5. Airborne asbestos concentrations by worker size and process in brake lining manufacturing industries.

We/Mi: Weighing/Mixing Mo: Molding Dr: Drilling Gr: Grinding As/Pa: Assembling/Packing

Table 8. Asbestos Exposure Concentrations by Worker Size and Process in Brake Lining Manufacturing Industry

Process	<50				50≤				Total	
	N	GM f/cc	Range f/cc	GSD	N	GM f/cc	Range f/cc	GSD	N	GM f/cc
Weighing/Mixing	8	0.16	0.01-2.42	6.24	13	0.13	0.01-2.67	4.11	21	0.15
Molding	17	0.10	0.01-2.09	4.05	23	0.18	0.02-1.01	2.77	40	0.14
Drilling	2	0.10	0.03-0.34	5.38	12	0.20	0.01-0.98	5.15	14	0.15
Grinding	10	0.22	0.03-0.81	2.88	18	0.17	0.01-0.81	3.41	28	0.20
Assembling/Packing	3	0.10	0.66-0.22	1.94	16	0.03	<0.01-0.18	2.60	19	0.07

히 석면분진이 많이 발생되어 환경이 매우 열악한 상태일 수 있고 측정당일 특수한 상황이 발생하여 농도가 높았던 것으로 추측된다. 또한 50인 미만인 사업장은 영세사업장으로 작업환경이 매우 불량하여 다른 공정에서 발생한 분진이 발생원에서 바로 제거되지 않고 전체 작업장을 오염시킨 것으로 판단된다.

전규모의 시료를 대상으로 본 공정별 농도는 연마(0.20 개/cc), 유공 및 배합(0.15 개/cc), 열성형(0.14 개/cc), 조립.포장(0.07개/cc) 순으로 낮게 나타났으며 특히, 조립포장 공정은 타 공정보다 비교적 낮은 농도 수준이었다. 전시료의 공정별 농도 분포는 50인 이상인 사업장의 농도 분포와 비슷하였다.

다. 슬레이트 제조업

(1) 사업장별 평균 폭로농도

표 9에 나타나 있는 바와 같이 방직업 및 브레이크 라이닝 제조업보다 낮은 평균 0.08개/cc를 나타냈고 최대 농도를 보인 시료는 0.67 개/cc였다.

Table 9. Asbestos Exposure Concentrations by Worker Size and Process in Slate Manufacturing Industry

Plant	No. of Samples	Airborne Asbestos Concentration, f/cc		GSD
		GM	Range	
A	4	0.13	0.02-0.67	4.14
B	6	0.03	0.02-0.04	1.36
Total	10	0.08	0.02-0.67	2.75

슬레이트 제조공정은 습식이기 때문에 석면의 발생량이 다른 업종보다 적으므로 낮은 농도를 보인 것으로 생각된다. 이는 다른 연구에서도 이미 밝혀진 바 있다(박두용 등, 1988).

(2) 석면시료 농도의 분포 및 허용기준초과 수

슬레이트 제조업에서 측정한 석면시료의 농도 분포를 본 결과 표 10과 같이 전체 10개 시료중 1개 시료만이 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 초과하였으며 Action Limit를 초과하는 시료수는 전체 10개중 3개였다. 본 조사대상은 3개소로 모두 규모가 큰 사업장이었고 작업환경관리가 잘되고 있는 것으로 보인다.

Table 10. Distribution of Asbestos Exposure Concentrations in Slate Manufacturing Industry

Plant	N	Concentration fibers / cc		
		<0.1	0.1-<0.2	0.2-<2
A	4	1	2	1
B	6	6	-	-
Total	10	7(70)	2(20)	1(10)

(3) 공정별 석면폭로 농도

슬레이트 제조공정의 대부분은 습식으로 작업이 이루어지기 때문에 타업종의 공정에 비하여 작업환경중 분진의 비산이 가장 적다. 그러나 배합공정중 석면포대를 개면하여 투입할 때 많은 양의 석면분진이 발생하므로 이공정에 대한 특별한 작업관리와 환경관리가 요구된다.

분진의 2차 비산을 억제하기 위하여 작업장 바닥을 습식상태로 유지하여야 하나 물을 너무 많이 뿌리면 미끄러질 위험성이 있으니 주의를 요한다. 반면, 작업장 바닥이 건조되어 습식상태로 되어 있지 않으면 원료의 일부가 통로등에 떨어져 이것이 건조되면 비산의 위험이 있으므로 항상 주의를 요한다.

공정별로 본 석면농도는 표 11에 나타나 있고 모든 공정을 측정하지 못해 측정한 3개의 공정에 대해 기술하였다.

Table 11. Asbestos Exposure Concentrations by Process in Salte Manufacturing Industry

Plant	No. of Samples	Airborne Asbestos Concentration, f/cc			GSD
		GM	범 위		
Mixing	6	0.05	0.02-0.14		2.37
Cutting	2	0.04	0.03-0.04		1.23
Pressing	2	0.12	0.02-0.67		11.68

이 3개 공정중 가공공정 0.12 개/cc, 배합 0.05 개/cc, 절단 0.04 개/cc로 나타났다.

라. 연도별 석면폭로농도 추이

표 12 및 그림 6은 우리나라에서 정확한 작업환경측정이 실시된 '87년부터 현재까지의 석면폭로 농도를 비교한 것이다.

방직업종의 석면폭로농도는 연도에 따라 점점

Table 12. Annual Trends of Asbestos Exposure Levels in Textile and Slate Manufacturing Industry

Type of Industry	Airborne Asbestos Concentration, f/cc		
	Year (Researcher)		
	'92 (Author)	'88(Park et. al.)	'89(Paik)
Textile	1.42	4.40	2.46
Slate manufacturing	0.08	0.21	0.31

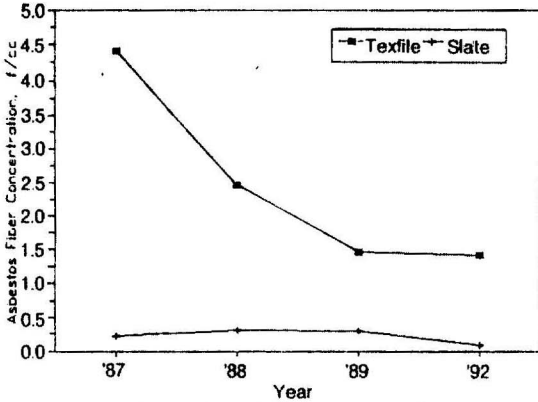


Fig. 6. Annual Trend of asbestos exposure levels in textile and slate manufacturing industry.

감소하는 추세임을 알 수 있고 석면폭로농도 본 조사때의 폭로수준이 지난 '87년에 비해 1/3 수준으로 크게 감소한 것으로 나타났다. 석면 슬레이트 제조업의 경우 '88년 및 '89년에 약간 증가하는 추세였으며 본조사에서는 '87년의 1/2 수준으로 감소하였다(박두용, 1988, 백남원, 1989). 이로 보아 과거에 비해 근로자의 폭로수준이 감소하여 과거에 비해 석면의 유해성에 대한 인식이 높아져 작업환경이 개선된 것으로 보인다.

2. 석면 농도변이와 관리기준의 설정

본 조사결과 공기중 석면농도는 사업장 및 공정별로 변이가 매우 크게 나타났다. 따라서 기하표준편차(GSD)를 고려하여 95% 신뢰구간에서 우리나라 허용기준 2 개/cc를 초과하지 않는 농도를 관리농도로 설정하여 작업환경을 관리하는 것이 바람직하다. 기하분포상의 95% 신뢰구간은 다음식에 의해 구한다.

$$GM/GSD^{1.96} - GM \cdot GSD^{1.96}$$

이 식에 근거하여 다음식을 유도할 수 있으며 이식을 이용하여 우리나라 허용기준을 초과하지 않는 관리농도를 구할 수 있다.

$$2 \text{ 개/cc} = GM \cdot GSD^{1.96}$$

$$GM = \frac{2 \text{ 개/cc}}{GSD^{1.96}}$$

이 식에 따라 구한 각 업종의 관리농도는 표 13과 같다.

Table 13. Recommended Control Limit by Industry based on the GSD

Type of Industry	GSD	Threshold limit
Textile	1.89	0.6
Brake lining manufacturing	3.07	0.2
Slate manufacturing	2.75	0.3

*(): Theoretical values.

IV. 요약 및 결론

우리나라 석면취급업종 중 석면소비량이 많고 종사자수가 많은 석면방직업, 브레이크 라이닝 제조업, 슬레이트 제조업을 대상으로 근로자의 석면폭로 실태와 그 관리방안에 대해 1992년 3월에서 10월까지 연구한 결과, 업종별 및 사업장에 따라 폭로수준에 있어 많은 차이가 있었다.

비교적 작업환경이 양호하여 근로자의 폭로수준이 허용농도미만인 사업장이 있는 반면 이를 훨씬 초과하는 사업장도 많았다. 따라서 작업환경이 열악한 사업장에 대해서는 석면 폭로수준을 낮출 수 있는 방안을 강구해야 하며, 작업환경이 양호한 사업장도 석면이 발암성이라는 점을 고려할 때 더욱 더 폭로농도를 낮출 수 있도록 계속적으로 작업환경을 관리해야 하겠다. 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 업종별로는 석면 방직업의 석면폭로농도가 가장 높아 전체 사업장의 평균농도가 1.42 개/cc였고 범위는 0.07-6.10 개/cc로 나타났다. 다음으로 브레이크 라이닝 제조업이 평균 0.19 개/cc, 범위 (0.01-2.67 개/cc)였고 석면 슬레이트 제조업이 평균 0.08 개/cc, 범위 0.02-0.67 개

/cc로 가장 낮은 폭로농도를 보였다.

2. 근로자 규모에 따라 폭로수준을 본 결과, 석면방직업의 경우 50인 미만인 사업장과 50인 이상인 사업장의 평균 농도가 각각 1.60 개/cc 및 0.3 개/cc로 나타나 이 업종에서는 규모에 따라 큰 차이가 있었으나 브레이크 라이닝 제조업의 경우 각각 0.22 개/cc 및 0.18 개/cc로 큰 차이가 없었다.

3. 동일한 업종내에서 사업장에 따라 석면폭로 수준에는 큰 차이를 보였으며 석면방직업의 경우 한 사업장에서 2.87 개/cc를 보여 가장 높은 수준을 나타냈고 가장 낮은 농도를 보인 사업장은 0.28 개/cc의 농도수준을 보였다. 한편 브레이크 라이닝 제조업의 경우 농도가 가장 높은 사업장은 0.81 개/cc였고 가장 낮은 사업장은 평균 0.01 개/cc였다.

4. 석면방직업의 경우 우리나라 허용농도를 초과하는 사업장은 조사대상 7 개소중 3개소(42.9%)였고 전 사업장이 미국의 허용농도를 초과하는 것으로 나타나 이 업종에 대해서는 특별한 관리가 필요하다고 본다.

5. 브레이크 라이닝 제조업에서 평균농도가 우리나라 허용기준 2 개/cc를 초과하는 사업장은 없었으나 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 초과하는 사업장은 조사 대상사업장 15개소중 5개소(33.3%)로 나타났다. 따라서 이 사업장들에 대한 작업환경관리가 필요함을 알 수 있었다.

6. 과거 측정자료와 비교해볼 때 현재의 작업환경이 비교적 양호하다고 보이나 아직 허용농도를 초과하는 사업장이 많았으며 일부 공정에서는 매우 높은 농도의 석면에 폭로되고 있었다.

참 고 문 헌

관세청 : 무역통계연보, 1992년 2월호, 관세청, 1992.

- 국립노동과학연구소 : 석면취급사업장의 보건실태 조사 연구. 연보 49호(87-5호), 노동부, 1987.
- 노동부 : 유해물질의 허용농도, 작업환경관계자료. 노동부 고시 제 91-21호, 노동부, 1991.
- 노동부 : 특정화학물질에 의한 건강장해 예방규칙. 산업안전보건법, 노동부, 1990.
- 박두용, 백남원 : 석면슬레이트 제조 및 석면방직사업장 근로자의 석면분진폭로. 한국위생학회지, 14(2) : 13, 1988.
- 신용철, 백남원 : 자동차 정비업종사자의 석면분진폭로에 관한 조사연구. 한국위생학회지, 15(1) : 19, 1989.
- 백남원 : 우리나라 석면산업장 근로자의 석면폭로 실태에 관한 연구. 보건학논집 42 : 115-121, 1989.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) : *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1992-1993*, Cincinnati, OH, 1992.
- Becklake, M.R. : *Asbestos-Related Disease of the Lungs and Other Organs : Their Epidemiology and Implications for Clinical Practice*. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 114 : 187-227, 1976.
- Doll, R : *Mortality for Lung Cancer in Asbestos Workers*. *British Journal of International Medicine*, 12 : 81, 1955.
- Browne, Kevin : *The Controlled-Use Approach for Asbestos-A Scientific Update on Health Effects*. *International Conference on Asbestos Products, Kuala Lumpur, Malaysia, November 3-6, 1991*.
- Lee, Douglas, H.K. Irving and J. Selikoff : *Historical Backgrounds to the Asbestos Problem*. *Environmental Research*, 18(2) : 300-314, 1979.
- 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, OH, 1989*.
- US Department of Labors, OSHA : *Occupational Exposure to Asbestos, Tremolite, anthophyllite and Actinolite, 29 CFR parts 1910 and 1926, Occupational Safety and Health Standards, Fed. Reg. 51 : 22612, 1986*.