

석면취급사업장의 작업환경관리 모델에 관한연구

1992



한국산업안전공단
산업보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “석면 취급사업장의 작업환경관리 모델에 관한 연구”의 연구보고서로 제출합니다.

1992. 12

원 장 : 정 규 철
연구책임자 : 오 세 민

목 차

I. 서 론	3
II. 연구방법	5
1. 대상	5
2. 방법	5
가. 근로자의 석면폭로농도 측정	5
나. 공기중 석면 농도의 분포	7
III. 결과 및 고찰	9
1. 석면의 일반적 특성 및 유해성	9
가. 석면의 물리화학적 특성	9
나. 석면의 생산 및 사용현황	9
다. 석면의 건강장해 및 허용기준	12
2. 업종별 근로자의 석면폭로 농도	17
가. 석면방직업	19
나. 브레이크 라이닝 제조업	24
다. 슬레이트 제조업	29
3. 개선대책	33
가. 석면농도 변이와 관리기준의 설정	33
나. 작업환경 관리 대책	34
다. 공학적 관리 대책	41
라. 행정 및 법적 관리	43
IV. 요약 및 결론	46
V. 참고문헌	48

A Study on Worker Exposure to Asbestos and Control Measures in Some Asbestos Industries

Se-Min Oh
Industrial Hygiene Laboratory
Industrial Health Research Institute
Korea Industrial Safety Corporation
34-4, Koosan-Dong, Buk-Ku
Inchon 403-120, Korea

- Abstract -

This study was performed to evaluate the asbestos exposure levels and to develop the control measures 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 3 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.

여 백

□ 작업환경 관리 모델에 관한 연구 □

석면취급사업장의 석면폭로 실태조사 및 작업환경개선에 관한 연구

오세민

한국산업안전공단 산업보건연구원
산업위생연구실
인천시 북구 구산동 산 34-4
403-120

I. 서 론

석면은 우리생활에 언제부터 사용되어 왔는지는 정확히 알 수 없으나 기원전 3000년부터 사용되었을 것이라는 연구결과에서 보이듯이 우리 인류가 석면을 사용한 것은 대단히 오래되었음을 짐작할 수 있다(Lee et al., 1979).

석면(asbestos)은 자연계에서 산출되는 섬유상 광물질의 총칭으로, 인장내력(引張耐力)과 유연성(柔軟性)이 뛰어나고, 불연성(不燃性)과 내마모성(耐磨耗性), 절연성(絶緣性) 등의 여러가지 특성 때문에, 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 선진국에서 석면이 건강에 미치는 영향이 알려지지 않은채 건축용 시멘트를 비롯한 군함의 단일재로 많이 이용되어 왔으나, 20년이 지난 1960년대 이후 석면에 폭로되었던 많은 근로자 중에서 중피종(mesothelioma), 폐암(lung cancer)등의 암과 석면폐증이 많이 발생되어 큰 사회문제가 된 바 있다(Selikoff & Lee, 1978).

우리나라에서는 1960년대의 산업사회로의 진입과 더불어 석면의 사용량이 매년 증가되고 있는데, 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 당면과제라고 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, 1987). 이 조사이후 석면의 유해성에 대하여 널리 알려지고 사회적인 관심이 고조되어 석면작업장에 대한 작업환경의 측정과 관리가 이루어지기 시작하였다.

우리나라의 경우 석면에 의한 근로자의 건강장해 위험은 매우 높은 편이나 이에 관한 역학적 실태조사는 물론, 아직도 석면사업장에 대한 정확한 근로자의 폭로에 관한 조사가 지속적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 석면취급 근로자의 건강을 보호하기 위하여 반드시 필요한 조사 및 연구는 업종별(사업장별), 공정별 근로자의 정확한 석면폭로 농도조사와 작업환경관리 실태조사 및 개선방안, 석면취급자들에 대한 역학조사, 석면사업장의 관리 및 근로자의 건강을 보호하기 위한 방안 등이라 판단된다.

따라서, 석면 사업장의 업종별(사업장별), 공정별 근로자의 정확한 석면폭로농도를 조사하고, 작업환경관리 실태조사 및 개선방안 등을 조사 연구하여 향후 역학조사 및 작업환경관리방안의 기초자료를 확보하고, 작업환경 관리방안을 제시 하여 환경 개선을 도모함으로써 석면취급근로자의 건강을 보호하는데 활용하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 연구방법

1. 대상

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

표 1. 대상사업장의 업종별 규모별 분포

업 종	근로자 규모			계
	<50	50- <100	100<	
방직업	6		1	7
브레이크 라이닝 제조업	6	3	6	15
슬레이트 제조업			3	3
계	12	3	10	25

2. 방법

사업장별로 개인의 석면폭로농도와 함께 각 업종의 공정별 석면 폭로농도를 측정하였다. 각 사업장의 공정별 작업환경관리 방안을 제시하기 위해 근로자의 작업방법, 국소배기시설 상태, 발생원의 격리 상태 및 청소 상태 등을 조사하였다.

가. 근로자의 석면폭로농도 측정

석면 측정은 미국국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법 'Method 7400' (NIOSH, 1989)에 따라 실시하였다. 즉, 시료의 채취는 유량을 보정한 개인용 공기채취 펌프(미국 MSA, 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 (phase contrast microscopy, 오스트리아 REICHERT BIOVAR Type 300414 BINOCULAR 및 미국 American Optical MICROStar)에 Walton-Beckett graticule(영국 GRATICULES, W&B ASBESTOS G24-22mm)을 삽입하여 길이 5 μm 이상, 길이대 너비의 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 석면 섬유만을 계수하였다. 석면측정에 이용된 기구 및 기구와 개략적인 측정방법은 다음과 같다.

(1) 기구 및 시약

(가) 개인용 공기 채취 펌프(personal air sampler, MSA Flow-Lite)

(나) Membrane filter(Millipore Type AA) 와 holder

직경 25mm 또는 37mm, pore size 0.8 μm 인 cellulose ester membrane filter 와 support pad 그리고 3부분으로 구성된 플라스틱 케이스

(다) 위상차 현미경

REICHERT BIOVAR Type 300414, BINOCULAR, Austria

American Optical, MICROStar, U.S.A.

(마) microsyringe, coverglass, slide glass, surgical knife, nail polish

(바) 시약

아세톤(acetone)

트리아세틴(triacetin)

(2) 시료의 채취

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

(3) 시료의 제조(투명화 과정)

여과지 시료의 약 1/2 - 6/1을 잘라 slide glass에 올려 놓고 미리 가열된 아세톤 증기를 쐬운다. 다음으로 트리아세틴액을 약간 떨어뜨린 후 cover glass를 덮는다.

(4) 섬유의 계측

filter에 시약을 가하여 투명하게 만든 다음 위상차 현미경으로 400배의 배율에서 NIOSH 'Method 7400'의 'A Rule'에 따라 섬유를 계측한다. 이때 계측대상의 섬유는

길이가 5 μm 이상이고, 길이와 직경의 비가 3:1 이상인 것만을 계측한다.

현미경으로 섬유를 측정할 때는 검체의 한쪽 끝에서부터 차례로 전체를 포함하도록 측정하며, 일반적으로 석면의 직경이 매우 작아서 희미하게 보이는 경우가 있으므로 조심하여 계측한다.

Walton-Beckett graticule의 계측범위(field)에 나타난 섬유는 다음과 같이 계수한다.

- 섬유가 계측범위내에 들어 있으면 1개
- 섬유의 한쪽 끝만 계측범위에 들어 있으면 1/2개
- 섬유가 계측범위내에 있지 않고 섬유의 양쪽 끝이 계측범위를 지나서 밖에 있을 때는 계수하지 않는다.

(5) 공기중 석면섬유농도의 계산

현미경으로 계측한 섬유수와 공기채취량으로 공기중 섬유농도를 다음 식을 적용하여 구할 수 있다.

$$AC = \frac{(F)(A)}{(1,000)(FR)(T)(MFA)}$$

AC = 공기중 섬유농도(Airborne fiber concentration, fibers longer than 5 μm), 개/cc

F = 계측한 5 μm 이상의 섬유수

A = 필터의 유효면적, mm^2

N = 계측한 시야(field)수

FR = 펌프의 유속 (L/min)

MFA = 현미경으로 계측한 1시야의 면적(Walton-Beckett graticule의 경우 0.00785 mm^2)

T = 시료포집 시간(min)

나. 공기중 석면 농도의 분포

작업환경중의 분진등 입자상물질 등의 측정치는 정규분포보다 대수정규분포(lognormal distribution)를 하고 있으며, 공기중의 석면섬유의 분포도 대수정규분포를 한다고 보고되고 있다. 따라서 본 조사에서도 석면섬유의 측정치는 기하평균(geometric

mean, GM)으로, 산포도는 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 계산하였다. 기하평균은 대수확률지(lognormal probability paper)의 표현에서 50 % 확률에 해당하는 농도치이며, 기하편차는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{기하표준편차(GSD)} = \frac{\text{대수정규분포의 84 \% 확률에 해당하는 농도치}}{\text{대수정규분포의 50 \% 확률에 해당하는 농도치}}$$

III. 결과 및 고찰

1. 석면의 일반적 특성 및 유해성

가. 석면의 물리·화학적 특성

석면(石綿)은 자연계에서 산출되는 섬유상(纖維狀)의 규산염광물질(珪酸鹽礦物質)의 총칭으로, 불연성(不燃性), 내열성(耐熱性), 단열성(斷熱性), 미생물이나 화학물질에 대한 내구성(耐久性) 및 절연성(絶緣性) 등의 매우 우수한 특성을 가지고 있는 특이한 광물섬유로서, 물리적, 화학적 성상에 따라 여러가지로 분류되는데 산업에서 많이 사용되는 것은 백석면(chrysotile), 갈석면(amosite) 및 청석면(crocidolite) 등이며, 전 세계적으로 400만톤 이상이 생산되고 있고, 이 중에서 백석면이 약 90 % 이상을 차지하고 있다(오세민, 1987).

일반적으로 건강장해 위험이 더 큰 것으로 알려진 갈석면과 청석면은 전세계적으로 그 사용을 엄격히 규제하고 있으며, 국내에서도 사용되지 않고 있다. 석면의 종류와 조성은 표 2와 같다(日本 環境衛生 センター, 1985).

표 2. 석면의 종류와 화학적 조성

석면종류	색상	주요성분			화 학 구 조 식
		Si	Mg	Fe	
사문석族 (Serpentine group)					
Chrysotile	백색	40	38	2	3MgO,2SiO ₂ ,2H ₂ O
각섬석族 (Amphibole group)					
Crocidolite	청색	50	—	40	Na ₂ O,Fe ₂ O ₃ ,3FeO,8SiO ₂ ,H ₂ O
Amosite	갈색	50	2	40	5.5FeO,1.5MgO,8SiO
Anthophyllite	백색	58	29	6	7MgO,8SiO ₂ ,H ₂ O
Tremolite	백색	55	15	2	2CaO,5MgO,8SiO ₂ ,H ₂ O
Actinolite	백색	55	15	2	2CaO,4MgO,8SiO ₂ ,H ₂ O

나. 석면의 생산 및 사용 현황

(1) 전세계 생산량 및 사용량

세계적인 석면생산량이 1978년 연간 550만톤을 넘어 역사상 최고치를 기록하였는데, 그후 건강에 관한 영향문제의 여러종류의 대체물질의 개발 등으로 차차감소하기 시작하여 현재는 약 400만톤 정도가 생산되고 있다.

소련은 전 세계 생산량의 약 60 %를 차지하므로 가장 많은 양의 석면을 생산하고 있는데, 최근 소련을 제외한 자유국가의 산출량은 차차 감소하는 경향을 보이는데 비하여, 소련은 연간 약 20 만톤 정도 증가되고 있는 것이 주목된다. 석면의 총생산량은 소련을 포함하여 캐나다, 브라질, 남아프리카 등 6개국에서 세계산출량의 93%의 석면을 생산하고 있고, 나머지 7 %가 다른 여러나라에서 생산되고 있다. 이들 나라에서 생산되는 석면의 약 98 %가 백석면이고, 갈석면과 청석면 등이 약 2 % 정도이다. 석면의 국가별 생산량 현황은 표 3과 같다(Dunnigan, 1990).

표 3. 석면의 국가별 생산량

국가	연도별 석면생산량, 톤					
	1986	%	1987	%	1988	%
USSR	2,400,000	58	2,554,600	60	2,560,000	60
Canada	661,477	16	658,527	15	704,989	16
Brazil	214,234	5	230,244	5	230,000	5
S. Africa	190,213	5	148,430	4	159,050	4
Chrysotile	91,001	2	101,722	3	113,470	3
Crocidolite	63,203	2	20,682	1	25,250	1
Amosite	36,009	1	26,026	1	20,330	1
Zimbabwe	163,600	4	193,925	5	190,560	4
China	150,712	4	144,673	3	157,478	4
기타	358,728	8	325,778	8	297,483	7
계	4,128,964	100	4,266,177	100	4,299,560	100
Chrysotile	3,969,673	96	4,178,464	98	4,221,308	98
Amphiboles	159,291	4	87,713	2	78,252	2

전세계적으로 볼때 석면시멘트 제품의 생산에 가장 많은 약 70 % 이상이 사용되고 있으며, 다음으로는 마찰제(friction materials)의 원료로 약 15 % 정도 이용되고 있다. 그 밖에 석면 직포의 생산이나 종이, 페인트, 밀봉제, 아스팔트 등의 강화제로도 널리 사용되며, 절연이나 단열에 필요한 각종 제품에도 석면이 사용된다. 석면의 유해성에 대하여 널리 알려지지 않은 10여년 전에는 일반건물의 기초구조물에 내화 및 단열재로서 석면을 직접 살포하기도 하였으며 난방구조물의 보온이나 단열재로도 많이 사용되었다 (오세단, 1987).

(1) 우리나라의 생산량 및 사용량

우리나라에서는 1980년초 광천의 석면광산이 폐광된 후 캐나다, 아프리카, 유럽 등지에서 전량 수입하여 사용하고 있는데, 특히 캐나다로부터는 1982년 7,032 톤을 수입하였고 매년 급증하여 1989년에는 총수입량 77,475 톤 중 61.6 %인 47,691 톤을 수입하여 국내 수입량의 대부분을 차지하고 있으며 수입량은 매년 증가하는 추세에 있다. 그림 1에서 보듯이 '88년까지 계속 증가하다가 '89년과 '90년에 약간 감소하였으나 '91년도에는 다시 증가하는 추세이다(관세청, 1992).

산업안전보건법에 근거하여 석면을 사용하고자 사용허가 신청을 노동부에 제출한 사업장수는 표 4에서 보는 바와 같이 1991년도 12월 말을 기준으로 할때 석면제품시공업체를 포함하여 46개 사업체에서 1,215명의 근로자가 석면을 취급하였으며 취급량은 7만 1천 여톤에 달하였다.

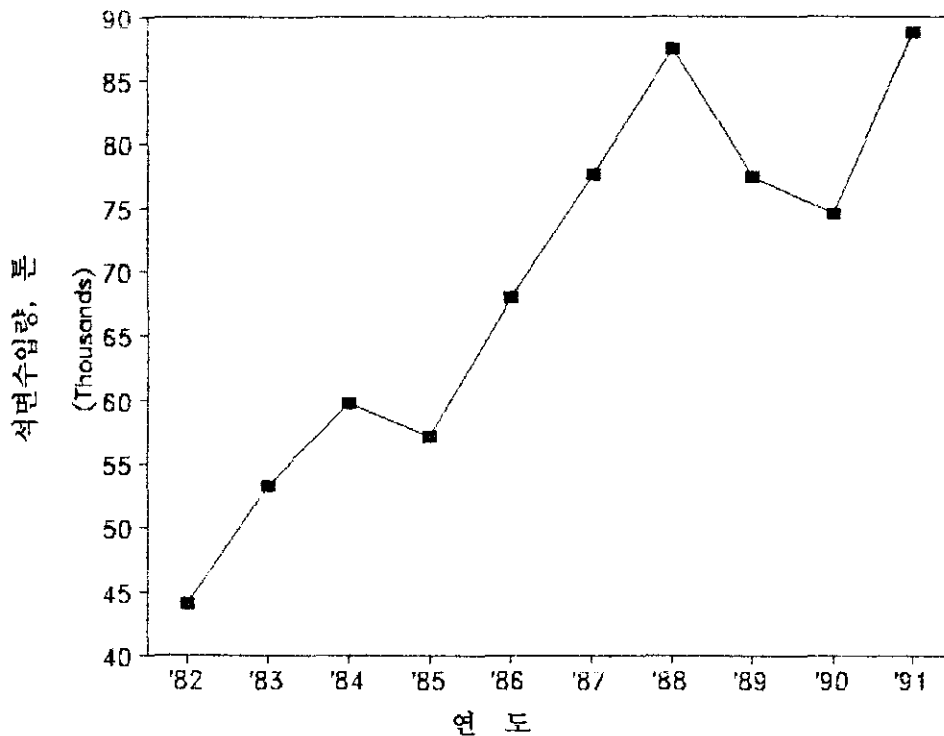


그림 1. 우리나라의 연도별 석면 수입량.

표 4. 석면취급 사업장 및 석면사용 현황

업 종	근로자 수		석면 종 류	석면 사용량(톤/년)	주요 생 산 품
	전체근로자	석면취급근로자			
자동차부품 제조(2개소)	2,095	597	백석면	6,550 (8.5%)	브레이크라이닝, 디스크패드, 클러치페이싱
석면 방직업 (9개소)	484	282	백석면	4,180 (5.5%)	석면사, 석면포, 석면테이프
석면건축재 (4개소)	1,352	323	백석면	64,860 (84.3%)	석면슬레이트, 천정재
기타제조업 (6개소)	1,422	65	백석면	1,320 (1.7%)	자동차용아스팔트, 가스켓, 방수용코팅제, 압축석면판
계(31개소)	5,353	1,215		71,061	

다. 석면의 건강장해 및 허용기준

(1) 석면과 관련된 질환

석면에 의한 건강장해는 공기중에 노출된 다량의 석면섬유가 호흡기를 통하여 폐포 내에 침착됨으로써 일어나게 되는 진폐증의 일종인 석면폐증(asbestosis) 뿐만 아니라 폐암(lung cancer) 및 악성중피종(mesothelioma)을 일으키는 것으로 알려져 있다.

산업혁명 이후 석면공업의 발전은 석면에 의한 건강장해가 문제가 된 것은 당연한 데, 이것은 석면이 다른 물질이 갖지 않는 여러가지 특성을 갖고 있기 때문에 용도가 다양하여 건물의 지붕과 천정 그리고 외벽등에 사용하는 석면 슬레이트, 바닥에 붙이는 타일, 자동차의 브레이크 라이닝, 소화용 피복과 장갑등 석면제품이 일상생활중에 널리 사용되고 있기 때문이다. 최근에는 석면을 직접 취급하는 사업체의 근로자 뿐 만아니라 환경오염과 건강에 대한 국민들의 관심들이 높아짐에 따라 일반국민들에게도 석면의 유해성에 대한 인식들이 높아지고 있다.

최근 영국 Brompton 병원의 Kevin Brown(1991)은 지난 5년간의 연구결과에서 얻은 내용을 발표하였는데 이를 요약하면 다음 2가지이다.

첫째, 석면이 아닌 다른 섬유(non-asbestos fiber)에 의해서도 질병이 일어날 수 있다는 것이고, 둘째는 석면에 의한 질병의 발생초기의 원인은 大蝕細胞(macrophage)의 작용에 의해서 일어난다는 것이다.

그는 이 연구결과를 석면섬유의 크기(dimension)와 폐내의 지속성(durability), 폭로량

(dose)의 3D와 연관지어 설명하고 있다.

먼저 크기특성중 길이에 대하여서는 기존의 연구결과와 일치하는 5 μm 이상의 섬유가 공격을 하는 대식세포에 완전히 포위되지 않아 질병을 유발하는 것으로 보인다고 하였으며, 너비는 대개 3 μm 이하의 섬유가 폐세포의 이상(異常)을 초래하는 것으로 보인다고 발표하였다.

폐내의 지속성은 질병의 발병과 연관이 깊은 것으로 보인다고 하였으며, 폐내에 침착된 섬유가 대식세포의 공격을 받아 용해되는 지의 여부에 의해 결정되는 지속성은 섬유의 내산성(耐酸性)에 따라 결정된다고 한다. 왜냐하면 대식세포내의 산도는 pH 4 정도로 강한 산성을 띠고 있기 때문이다. 앞의 표 2에서 제시된 석면의 물리화학적 성상에서 볼 수 있듯이 광물학적으로 蛇紋石 계통(serpentine)인 백석면은 알칼리에는 강하나 산성에 약한 반면, 角閃石 계통(amphibole)인 갈석면이나 청석면 등은 석면종류는 산성에 강한 특성을 가지고 있다. 따라서 산성에 강한 특성을 가지고 있는 갈석면과 청석면 등의 각섬석 계통의 석면은 폐내에서 쉽게 용해되지 않고 계속하여 대식세포와 반응을 일으킨다고 한다. 그러나 산성에 약한 백석면은 약 1 - 3 개월이면 폐내에서 용해가 일어난다고 한다. 이러한 현상과 더불어 특기할 만한 사항은 지금까지 석면의 대체품으로 권장한 세라믹 섬유가 산성에 강한 특성이 있어 석면과 같은 질병을 유발할 수 있다는 가설을 뒷받침한다는 것이다.

현재 국내에서도 제조되어 사용되는 세라믹 섬유는 산업보건학계에서 이미 오래 전부터 건강장해의 유발가능성과 발암성 등의 가능성이 제기되고 있으므로 주의하여 관찰할 필요가 있다.

석면관련 질환을 열거하면 다음과 같다.

(가) 石棉肺症

석면폐(pulmonary asbestosis)는 규산마그네슘 또는 철염으로 되어 있는 석면분진을 흡입함으로써 호흡기의 세기관지와 폐포에 병변을 일으키는 질병으로서, 세기관지-폐포염의 형태로 시작하여 불가역성, 진행성 및 만성섬유증식을 폐에 일으키는 진폐증의 일종으로 특이 증상은 규폐증과 마찬가지로 숨이 가쁘고 호흡횟수가 증가하여 호흡곤란을 나타낸다. Murray(1907)가 석면분진 폭로자에서 나타난 건강장해에 대하여 해부소견을 기재한 것이 최초이다. 그후 Lynch 들(1935)이 석면폐와 폐암의 합병증례를 보고하였으며, Weiss(1953), Leichner(1954) 등이 석면폐에 합병된 악성종괴종 환례를 보고하였다.

(나) 惡性中皮腫

중피종(mesothelioma)은 흉막, 복막, 심막, 고환고유초막등의 체강장막강을 덮고 있는 중피표면 또는 중피표면의 하층의 조직에 발생하는 종양으로 중피종의 발생부위는 흉막이 가장 많고(약 89 %), 다음이 복막(약 10 %), 심막의 순이며 고환고유초막에는 극히 희귀하다(Becklake, 1976, Weiss, 1953 및 Leichner, 1954). 일반적으로 중피종의 발생은 희귀하나 대부분 석면에 의해서만 특이적으로 발생되며 일단 발병하면 치료가 불가능하다. 석면폭로와 중피종과의 양-반응 관계(dose-response relationship)는 역학조사결과 상관이 있다고하나 아직 확실치 않다. 그러나 석면폭로와 비종양성 호흡기질환 관계는 어떤 기준없이 발생하므로 어떤 형태로든지 석면에 폭로되면 석면관련 질환의 발생 위험도가 증가한다고 보아야 할 것이다.

구미각국에서는 중피종등록제(Mesothelioma Register)를 실시하고 있으며 경험이 풍부한 병리의사에 의하여 관리되고 있다.

(다) 肺癌(lung cancer)

석면폭로 작업자에 있어서 폐암의 발생은 석면의 폭로정도에 의해 밀접한 관계가 있음은 확실히 인정되고 있으나, 석면의 발암성의 기전은 확실치가 않다. 그러나 석면의 종류와 건강장애와는 밀접한 관계가 있는데 즉 청석면과 갈석면의 위험성이 가장 크고 백석면의 위험성이 가장 작다(Becklake, 1976 및 Doll, 1955).

(라) 석면과 흡연

석면폭로와 흡연은 폐암발생과 밀접한 관계가 있음이 여러과학자에 의해서 발표되었는데, Selikoff 들(1978)은 단열작업자 370인의 추적조사에서 흡연습관이 있는 자는 비흡연자로서 석면폭로를 받지 않은 자에 비하여 약 92배의 폐암의 위험(risk)이 있다고 추정하여 큰 주목을 받았다. 이들 연구에 의하면 석면취급 근로자군에서 비흡연자군의 폐암에 의한 사망율이 석면을 취급하지 않는 대조군보다 약 5배 정도 높았으며, 흡연자군에서는 비흡연자군에 비해 폐암의 발생율이 10배 정도 높았다. 또한 흡연하는 석면 취급 근로자의 폐암에 의한 사망율은 비흡연자군에 비하여 약 50배나 높다고 보고되어 있다.

그러나 중피종은 폐암과는 달리 흡연과 관련이 없는 것으로 알려지고 있는데 Hammond 들(1966)은 역학조사에서 61례의 흉막중피종사망자를 관찰하였으나 비상습 흡연자의 사망자는 8명 이었으며, 전 근로자의 기대 사망자수(년령 계급별 인명연수로 산출)도 8명으로 흡연은 흉막중피종의 사망율에 전혀 영향을 미치지 않는다고 기술하고

있다.

(2) 석면의 허용농도

우리나라 노동부(1991) 석면의 종류에 따라 허용기준을 다르게 적용하고 있으며 미국의 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 석면종류에 관계없이 0.2 개/cc로 설정하고 있다. 한편 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 석면의 허용기준(TLVs)은 현재 우리나라와 동일하나 곧 석면종류(type)에 관계없이 모든 석면에 대하여 0.2 개/cc로 개정할 예정이다(ACGIH, 1992).

우리나라와 외국의 석면에 대한 허용기준은 표 5와 같다.

표 5. 석면분진의 허용농도

국가	석 면 의 종 류	허용농도, 개/cc
우리나라 노동부 (노동부고시 제91-21호)	○길이 5 μ m이상 갈석면(Amosite) 백석면(Chrysotile) 청석면(Crocidolite) 기타형태(Other forms)	0.5 2 0.2 2
미국 OSHA(PEL) (AL)	모든 종류 "	0.2 0.1
미국 ACGIH(TLV)	현재 우리나라 노동부와 동일하나 앞으로 석면종류에 관계없이 0.2 개/cc로 개정할 예정	
영국	백석면 청석면, 갈석면	0.5 0.2

노동부 고시(제 91-21호, 1991)와 ACGIH TLVs에 설정되어 있는 백석면의 허용기준 2 개/cc의 근거는 원래 1 %의 석면폐증 유병율을 기준으로 할 때 폭로량이 100 개-년/cc라는 영국의 역학조사 결과에 근거하여 50년의 폭로기간으로 나누어 설정되었던 것이다.

영국의 백석면에 대한 허용기준은 0.5 개/cc로 설정되어 있는데, 그 근거는 건강을 보호할 수 있는 폭로량은 역학조사를 토대로 연구한 결과로 볼 때 25개-년/cc이라고 주장하였기 때문이었다. 따라서 일반적으로 50년의 폭로기간을 산정할 때 백석면의 허용

농도는 0.5 개/cc가 된다(The Asbestos Institute, 1986). 그러나 석면폭로량(dose)과 질병 유발에 대한 지금까지의 주장을 달리하는 연구 결과가 계속 보고되고 있다.

갈석면이나 청석면 등의 각섬석 계통의 석면은 폐내에서 쉽게 용해되지 않아 매우 유해하므로 그 허용기준이 0.2 개/cc로 백석면보다 낮게 설정되어 있다.

2. 업종별 근로자의 석면폭로 농도

본조사는 우리나라에서 수입된 석면을 대부분 소비하는 브레이크 라이닝 제조업, 방직업 및 슬레이트 제조업종에 종사하는 근로자의 석면폭로농도를 조사하였으며 이를 요약하면 표 6 및 그림 2와 같다.

표 6 및 그림 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 이업종의 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 있는 사실을 생각하면 가능한한 작업장의 석면농도를 최소한으로 유지하도록 최선의 노력을 기울여야 할 것이다. 따라서 이업종에 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 보이나 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 등(박두용, 1988)이 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.

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 3 개소로 3 개소 모두 근로자 규모가 50 인 이상으로 비교적 규모가 큰 업소였는데 이 업종의 석면폭로농도는 평균 0.08 개/cc로 비교적 낮은 농도를 나타냈다.

표 6. 석면취급업종별 및 규모별 근로자의 석면폭로 농도

업 종	N	공기중 석면 농도, f/cc					
		50인 미만		50인 이상		전체	
		GM (GSD)	범위	GM (GSD)	범위	GM (GSD)	범위
방직업	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
브레이크라이닝 제조업	122	0.22 (4.13)	0.01-2.42	0.10 (2.36)	<0.01-2.67	0.11 (3.07)	<0.01-2.67
슬레이트 제조업	11			0.08 (2.75)	0.02-0.67	0.08	0.02-0.67

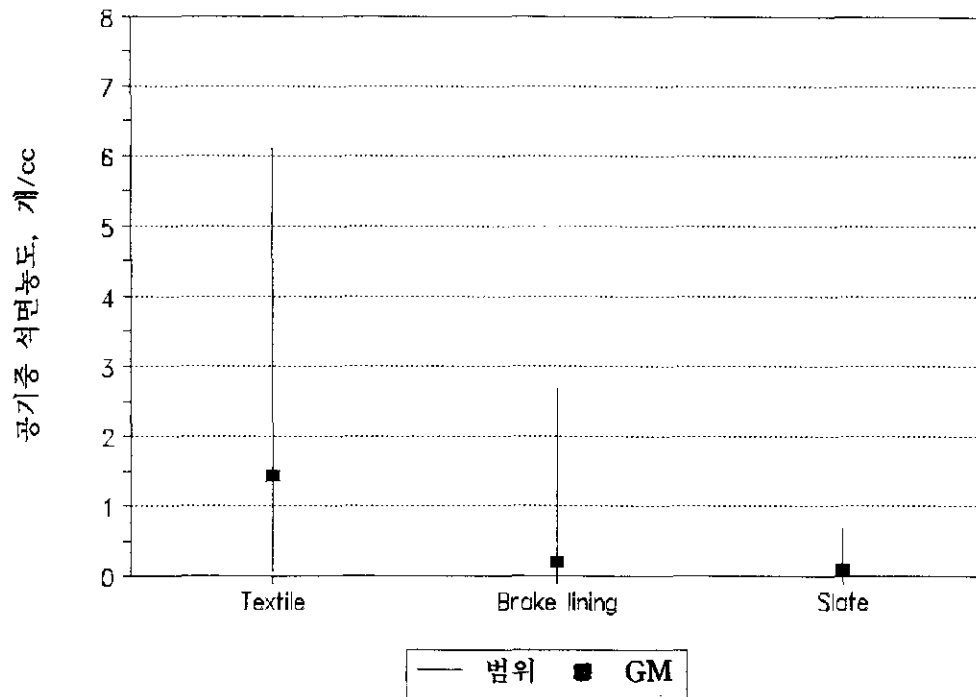


그림 2. 업종별 및 규모별 근로자의 석면폭로 농도.

가. 석면방직업

(1) 사업장별 평균 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 7 및 그림 3과 같으며 우리나라 허용기준 2개/cc를 초과하는 사업장이 7 개소중 3 개소(42.9 %)였고 나머지 4 개소도 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다.

표 7. 석면 방직업종의 사업장별 근로자의 석면폭로 농도

사업장	근로자수	N	공기중 석면 농도, f/cc		
			GM	GSD	범 위
A	6	4	2.45	2.86	0.59 - 6.10
B	6	2	1.20	1.09	1.13 - 1.27
C	8	3	0.81	1.63	0.51 - 1.35
D	11	5	0.28	1.63	0.15 - 0.44
E	21	5	2.04	1.09	0.94 - 4.98
F	29	3	2.87	1.48	2.18 - 4.49
G	206	18	0.30	2.63	0.07 - 1.55
계		40	1.42	2.82	0.07 - 6.10

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 3 배를 초과하는 매우 높은 수준이었다. 전체 대상 사업장의 평균농도는 1.42 개/cc로 나타났다.

(2) 석면시료 농도의 분포 및 허용기준초과 수

표 8은 각 사업장에서 채취한 시료의 농도분포 및 허용기준 초과수를 나타낸 것이다.

표 8. 석면 방직업 근로자의 석면폭로농도 분포

사업장	N	석면농도 범위, f/cc			
		<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				3
G	18	2	5	11	
	40	2(5.0)	6(15.0)	24(60.0)	8(20.0)

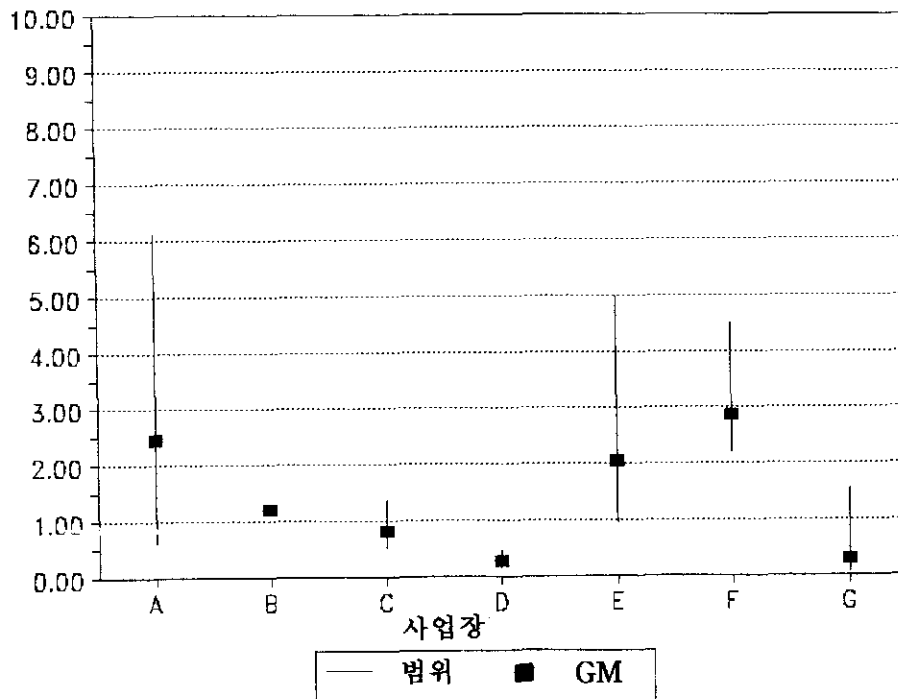


그림 5. 석면방직업의 공정별 공기중 석면농도.

농도범위는 미국의 Action Limit(0.1 개/cc), 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 허용기준을 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

그림 4는 석면방직업의 개략적인 공정 흐름도를 나타낸 것이다.

개면(開棉) 및 혼면(混棉) 공정(Mixing)에서는 석면원료를 섬유화하기 위하여 덩어리 형태로 입고된 석면원료를 개면기로 푸는 작업을 할 때, 개면기에 부착된 막대가 덩어리 형태의 석면을 두드릴 때와 개면된 석면과 화학섬유를 혼합하는 작업을 할때 비교적 많은 양의 석면분진이 발생되고 있으며, 통상 개면기 및 혼면기 1대당 근로자 1명이 작업하고 있었다.

소면(梳綿) 공정(Carding)은 개면·혼면이 끝난 석면을 소면기틀 이용하여 섬유질 방향으로 빚질한 후 떡가래 형태의 슬라이브(silver)를 만드는 공정으로서, 소면기에 원료를 투입할 때와 빚질할 때 및 제조된 슬라이브를 다음 공정으로 이동하기 위하여 감을 때 석면분진이 비산되고 있었고, 작업자는 작업장 규모에 차이가 있으나 통상 소면기 1대당 1명 정도 작업하고 있었다.

정방(精紡) 공정(Spinning)은 소면공정에서 나온 떡가래 형태의 슬라이브를 신장(draft)시키고 정방기를 이용하여 약간의 꼬임(twisting)을 주어 실(yarn)형태로 만드는 공정으로서, 석면이 함유된 슬라브가 가이드를 통하여 트라벨라(traveller)를 지나 회전하면서 스피들(spindle)에 꽂혀있는 콕(cop)에 감길 때와, 슬라이브가 트라벨라에 마찰(접촉)에 의하여 석면분진이 발생하고 있으며, 또한 링레일(ring rail)이 상하로 움직일 때

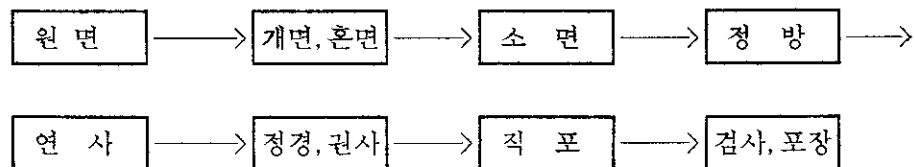


그림 4. 석면 방직업의 공정 흐름도.

석면분진이 발생되고 있었다. 이 부서의 작업자는 사업장 규모에 따라 다소 차이가 있으나 통상 정방기 1대당 2명 정도의 근로자가 작업하고 있으며 타 공정에 비하여 작업근로자 수가 많았다.

연사(撚絲) 공정(Twisting)은 정방공정에서 나온 실을 여러가닥 합사하여 꼬임을 주어 직포기에 투입할 수 있는 실을 만드는 공정으로서, 작업형태는 정방공정과 비슷하며, 여러가닥의 실이 연사기의 플라이어(flier)를 통과한 후 콥에 감길때와 플라이어가 회전할 때 석면분진이 발생되고 있었다. 작업근로자는 통상 연사기 1대에 1명이 작업하고 있었다.

직포(織布) 공정(Weaving)은 직포기를 이용하여 연사공정에서 나온 실로 천(cloth)이나 테이프(tape)를 제작하는 공정으로서, 작업형태는 여러가닥의 경사(經絲)가 개구(開口)되면 개구면으로 북이 지나가면서 위사를 놓고 이를 바디가 치면서 제작되고 있다. 이 과정에서 경사를 개구할 때와 북이 지나갈 때 바디가 위사를 치는 작업에서 많은 양의 석면 분진이 비산되어 근로자에게 폭로되고 있었다. 작업근로자는 통상 직포기 1대당 1명의 근로자가 작업하고 있었다.

검사포장출하 공정은 이들 공정에서는 특별한 물리, 화학적이 유해요인은 없으나 제작된 천이나 테이프에 부착되어 있으므로 검사포장출하 작업시에도 소량이지만 석면 분진이 작업자에게 폭로될 우려가 있었다.

위에서 언급한 각 공정에 따라 석면농도를 측정하였으며 그 결과는 표 9 및 그림 5에 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 측정한 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.

표 9. 석면 방직업의 근로자수 및 공정별 공기중 석면 농도

근로자수/ 공정	50인 미만					50인 이상					전체	
	N	GM f/cc	GSD	f/cc	범위	N	GM f/cc	GSD f/cc	범위	f/cc	N	GM
혼면(Mixing)	1	6.10	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6.10
소면(Carding)	4	1.60	2.17	0.78-4.71	4	0.22	2.54	0.08-0.60	8	0.91		
정방(Spinning)	5	1.40	1.42	0.94-2.41	7	0.30	2.08	0.11-0.76	12	0.85		
연사(Twisting)	10	1.29	3.45	0.15-4.98	4	0.59	3.11	0.12-1.55	14	0.94		
직포(Weaving)	2	2.47	1.20	2.18-2.80	3	0.19	3.61	0.07-0.79	5	1.33		

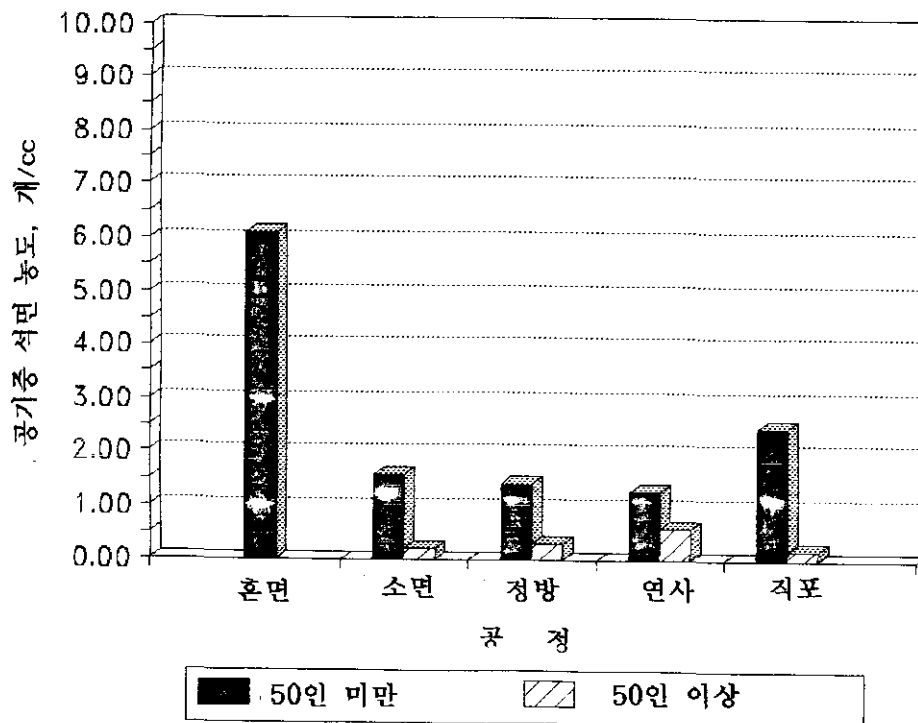


그림 5. 석면방직업의 공정별 공기중 석면농도.

나. 브레이크 라이닝 제조업

(1) 사업장별 평균 폭로농도

전체수입 석면량의 8 - 9 % 정도가 브레이크 라이닝의 제조에 사용되고 있으며, 소형 차량용의 브레이크 라이닝은 일부업체에서 대체품목을 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 10 및 그림 6와 같다. 표에서 보듯이 조사대상 15개 사업장의 전체 평균 0.19 개/cc의 농도를 보였고 범위는 <0.01 - 2.67 개/cc로 나타났다. 전체적으로는 우리나라의 허용기준의 약 1/10 수준이었고 미국의 허용기준과 가까운 수준이었다.

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

표 10. 석면 브레이크 라이닝 제조업 사업장 근로자의 석면 폭로농도

사업장	근로자수	N	공기중 석면 농도, f/cc		
			GM	GSD	범 위
A	4	9	0.09	1.66	0.04 - 0.22
B	5	6	0.04	3.16	<0.01 - 0.16
C	10	5	0.81	9.38	<0.01 - 2.42
D	18	7	0.19	2.59	0.05 - 0.52
E	24	8	0.12	3.93	0.03 - 0.68
F	30	5	0.07	4.07	0.02 - 0.21
G	50	5	0.22	1.56	0.11 - 0.36
H	50	3	0.38	1.29	0.32 - 0.51
I	52	5	0.43	3.04	0.07 - 1.01
J	132	8	0.04	1.42	0.02 - 0.07
K	180	20	0.27	1.90	0.08 - 0.95
L	400	8	0.10	2.02	0.03 - 0.18
M	580	19	0.11	4.79	<0.01 - 2.67
N	570	8	0.03	3.12	0.01 - 0.13
O	1136	6	0.01	2.09	<0.01 - 0.06
계		122	0.19	3.07	<0.01 - 2.67

한편 미국의 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.

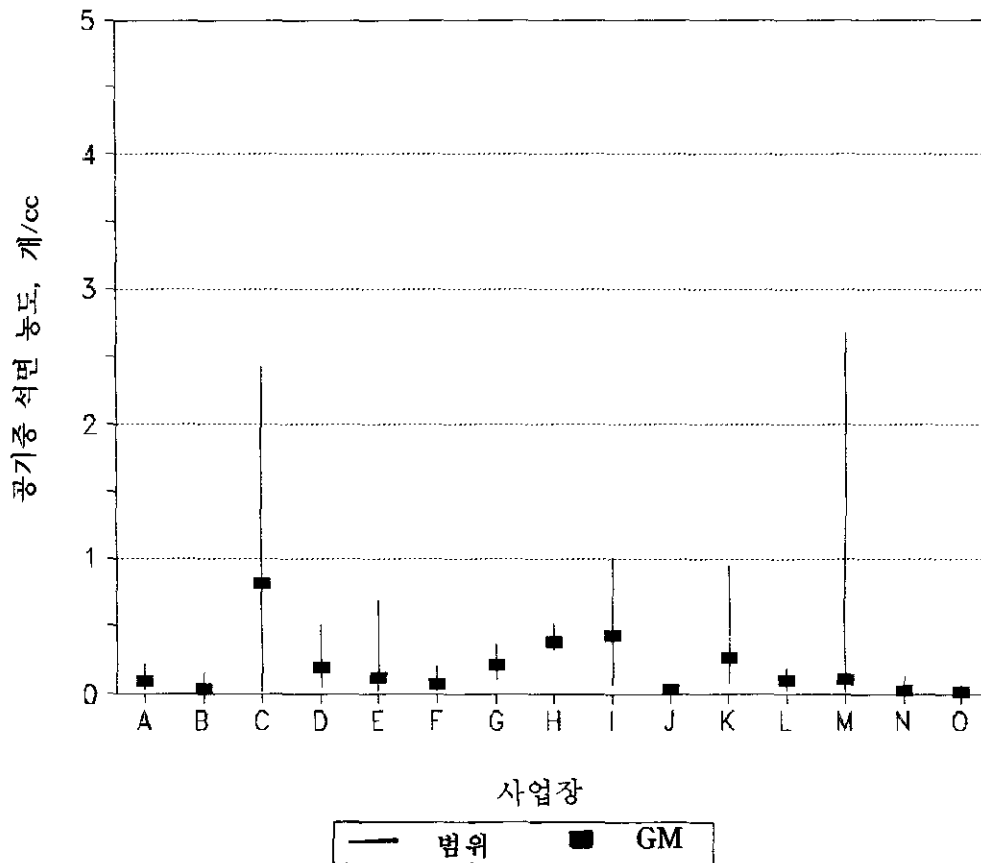


그림 6. 석면 브레이크 라이닝 제조업의 사업장별 근로자의 석면폭로 농도.

(2) 석면시료의 농도 분포 및 허용기준초과 수

표 11은 이업종의 조사된 시료의 석면농도 분포를 나타내고 있다.

표 11. 석면 브레이크라이닝 제조업 근로자의 석면폭로농도 분포

사업장	N	석면농도 범위, 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	3	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			
	122	48(62.3)	24(19.7)	44(36.1)	3(2.5)

표에서 보는 바와 같이 전체시료 122개중 우리나라 허용기준 2 개/cc를 초과하는 시료는 3개(2.5 %)로 나와 이 업종에서도 일부 근로자는 고농도의 석면에 폭로될 위험이 있다는 것을 알 수 있다. 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 초과하는 시료수는 전체시료 중 47개로 약 40 %가 이 기준을 초과하여 이 업종의 작업환경관리가 미흡함을 알 수 있다. 한편 미국의 Action Limit를 초과하는 시료수는 74개로 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 비교적 잘하고 있는 것으로 나타났다.

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

(3) 공정별 석면 농도

브레이크 라이닝의 일반적인 제조공정은 그림 7과 같다. 그림의 공정중 석면원료를

배합하는 작업, 성형, 연마 및 유공(drilling) 공정에서 석면분진이 많이 발생되고 있었다.

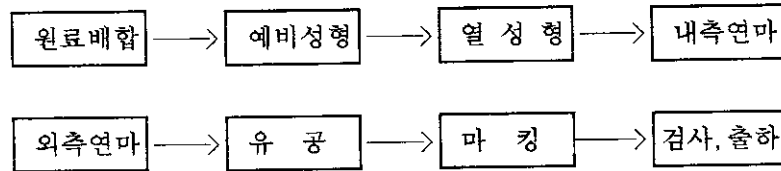


그림 7. 브레이크 라이닝의 제조공정

표 12 및 그림 8은 각 공정별에 따른 석면농도를 나타낸 것이다. 근로자 규모를 50인 기준으로 시료를 정리하였으며, 그 결과 50인 미만인 사업장에서 연마(0.22 개/cc), 계량배합(0.16 개/cc) 순이었고 다음으로 유공, 열성형, 및 조립포장 공정이 0.1 개/cc로 동일한 농도 수준이었다.

표 12. 석면 브레이크 제조업의 규모 및 공정별 공기중 석면 농도

규모/ 공정	50인 미만					50인 이상				전 체		GM
	N	GM f/cc	GSD	범위 f/cc		N f/cc	GM	GSD f/cc	범위	f/cc	N	
계량/혼합	8	0.16	6.24	0.01-2.42		13	0.13	4.11	0.01-2.67	21	0.15	
열성형	17	0.10	4.05	0.01-2.09		23	0.18	2.77	0.02-1.01	40	0.14	
유공/절단	2	0.10	5.38	0.03-0.34		12	0.20	5.15	0.01-0.98	14	0.15	
연 마	10	0.22	2.88	0.03-0.81		18	0.17	3.41	0.01-0.81	28	0.20	
조립/포장	3	0.10	1.94	0.66-0.22		16	0.03	2.60	<0.01-0.18	19	0.07	

50인 이상인 사업장에서는 유공(0.20 개/cc), 열성형(0.18 개/cc), 연마(0.17 개/cc), 계량 혼합(0.13 개/cc), 조립포장(0.03 개/cc)순으로 낮았다. 이결과로 보아 50인 미만인 사업장의 조립포장의 경우 50인 이상 사업장보다 상대적으로 높은 농도를 보이고 있고 다른 공정과 큰 차이가 없게 나타났다.

이공정의 시료수가 충분치 않아 많은 사업장을 대표하기에는 무리가 있고 그 사업장이 특별히 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 제거하지 못하고 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(0.07 개/cc) 순으로 낮게 나타났으며 특히, 조립포장 공정은 타 공정보다 비교적 낮은 농도 수준이었다. 전시료의 공정별 농도 분포는 50인 이상인 사업장의 농도 분포와 비슷하였다.

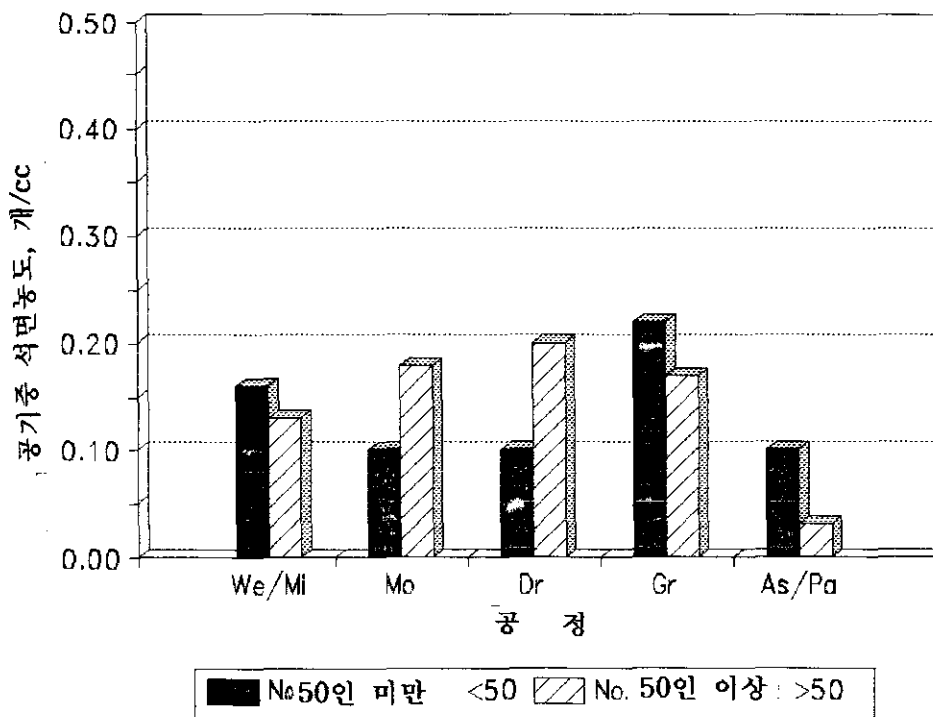


그림 8. 석면 브레이크 라이닝 제조업의 공정별 공기중 석면농도.

We/Mi: 평량/배합 Mo: 성형 Dr: 유공 Gr: 연마

As/Pa: 조립/포장

다. 슬레이트 제조업

(1) 사업장별 평균 폭로농도

본 조사대상업체의 연간 석면 사용량 76,910 톤중 64,860 톤으로 전체 석면 수입량의 약 84 %를 사용하고 있다.

표 13 및 그림 9에 나타나 있는 바와 같이 방직업 및 브레이크 라이닝 제조업보다 낮은 평균 0.06 개/cc를 나타냈고 최대 농도를 보인 시료는 0.67 개/cc였다. 슬레이트 제조공정은 습식이기 때문에 석면의 발생량이 다른 업종보다 적으므로 낮은 농도를 보인 것으로 생각된다. 이는 다른 연구에서도 이미 밝혀진 바 있다(박두용 등, 1987).

표 13. 석면 슬레이트 제조업의 근로자의 석면 폭로 농도

사업장	근로자수	N	공기중 석면 농도, f/cc		
			GM	GSD	범위
A	160	1	-	-	0.06
B	320	4	0.13	4.14	0.02 - 0.67
C	860	6	0.03	1.36	0.02 - 0.04
계		11	0.08	3.03	0.02 - 0.67

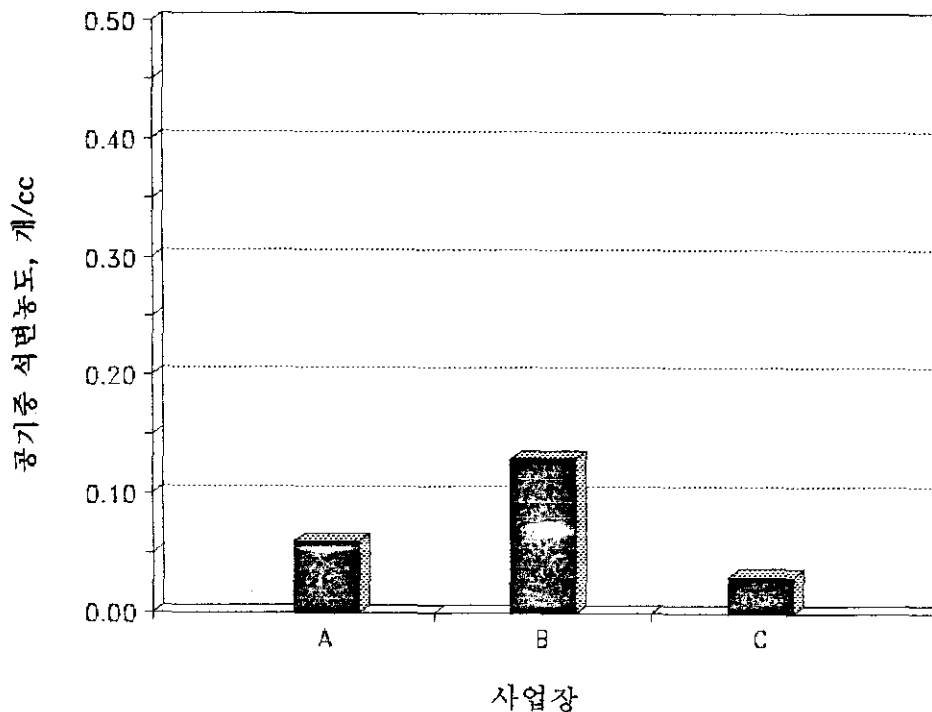


그림 9. 석면 슬레이트 제조업의 사업장별 근로자의 석면폭로 농도.

(2) 석면시료 농도의 분포 및 허용기준초과 수

슬레이트 제조업에서 측정한 석면시료의 농도분포를 본 결과 표 14와 같이 전체 11개 시료중 1개 시료만이 미국의 허용기준 0.2 개/cc를 초과하였으며 Action Limit를 초과하는시료수는 전체 11개중 3개였다. 본 조사대상은 3개소로 모두 규모가 큰 사업장이었고 작업환경관리가 잘되고 있는 것으로 보인다.

표 14. 석면 슬레이트 제조업 근로자의 석면폭로농도 분포

사업장	N	석면농도 범위, f/cc			
		<0.1	0.1 - <0.2	0.2 - <2	2<
A	1	1			
B	4	1	2	1	
C	6	6			
	11	8	2	1	

(3) 공정별 석면폭로 농도

슬레이트 제조업의 공정은 그림 10과 같다.

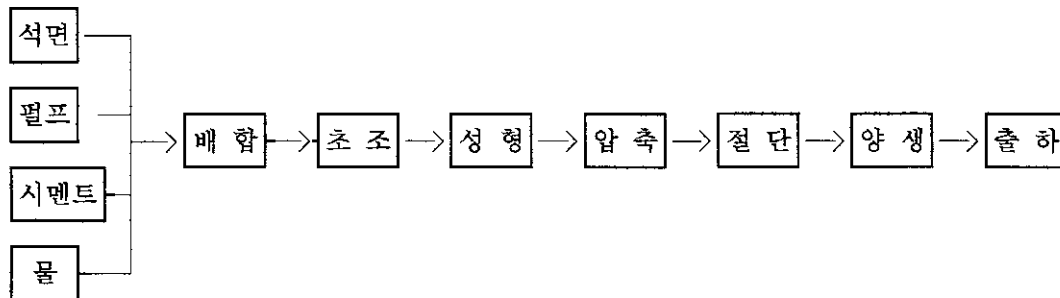


그림 10. 석면슬레이트 제조업의 공정 흐름도.

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 주위를 요한다.

공정별로 본 석면농도는 표 15에 나타나 있고 모든 공정을 측정하지 못해 측정한 3개의 공정에 대해 기술하였다. 이 3개 공정중 가공공정 0.12 개/cc, 배합 0.05 개/cc, 절단 0.04 개/cc로 나타났다.

표 15. 석면 슬레이트 제조업의 공정별 공기중 석면 농도

공정	N	공기중 석면 농도, f/cc		
		GM	GSD	범위
배합	7	0.05	2.37	0.02 - 0.14
절단	2	0.04	1.23	0.03 - 0.04
가공	2	0.12	11.68	0.02 - 0.67

라. 연도별 석면폭로농도 추이

표 16 및 그림 11은 우리나라에서 정확한 작업환경측정이 실시된 '87년부터 현재까지의 조사자를 비교한 것이다.

표 16. 연도별 석면 취급업종 근로자의 석면폭로 농도변화

업종	공기중 석면 농도, 개/cc			
	측정연도(연구자)			
	'87(박 등)	'88(백)	'89(백)	'92(저자)
방직업	4.40	2.46	1.47	1.42
슬레이트제조업	0.21	0.31	0.29	0.08

방직업종의 석면폭로농도는 연도에 따라 점점 감소하는 추세를 알 수 있고 지난 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, 1987 및 백남원, 1989). 이로 보아 과거에 비해 근로자의 폭로수준이 눈에 띄게 감소하여 과거에 비해 석면의 유해성에 대한 인식이 높아져 작업환경이 개선된 것으로 보인다.

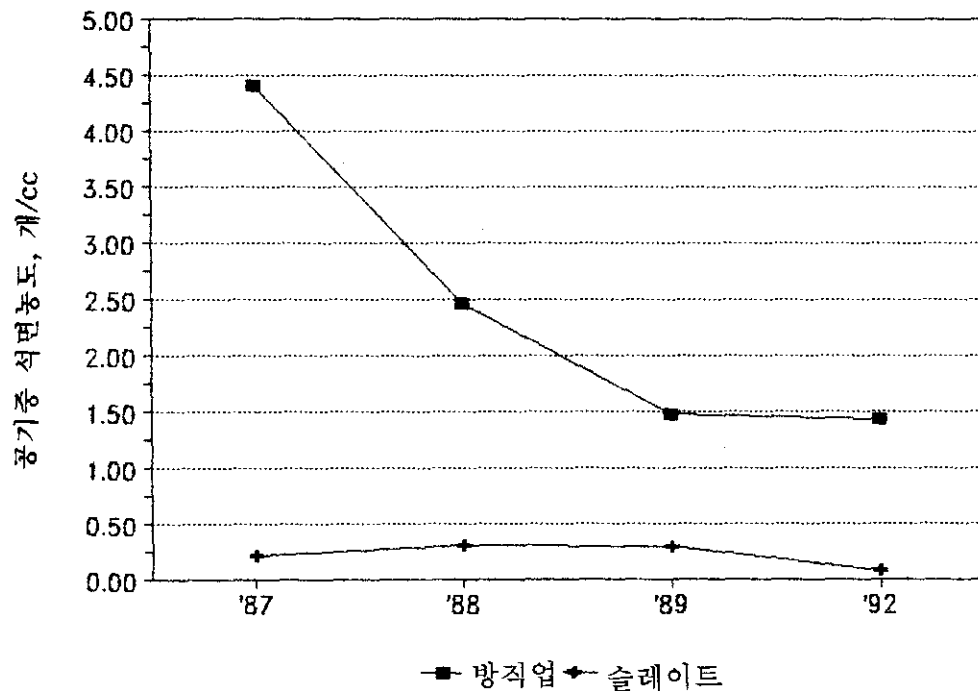


그림 11. 연도별 석면취급사업장의 석면 폭로농도 변화.

3. 개선대책

석면에 의한 직업병이 심각한 문제를 일으킨 선진국의 여러나라에서는 이미 수 많은 작업환경중 석면의 관리에 대한 연구를 발표한 바 있으며, 국내에서도 몇몇 연구보고가 있다. 석면 취급 작업장의 분진억제 대책도 일반적인 작업환경 개선의 기본원칙인 사용 원료를 근본적으로 유해하지 않은 물질로 대체(substitution)하여 사용하든가, 석면취급공정을 격리(isolation)하거나 밀폐(enclosure)하여 석면분진이 작업장으로 확산되지 않도록 하든가, 공학적 대책으로 환기(ventilation)시설을 설치하도록 하여야 하며 무엇보다도 중요한 것이 석면취급에 대한 교육(education)이다.

이러한 개선대책을 수립하기 위해서는 우선 작업환경의 정확한 파악(recognition)과 측정(determination), 평가(evaluation)가 선행되어지며 이들의 각각을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

가. 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 아니하는 관리농도를 구할 수 있다.

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

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

이식에 따라 구한 각 업종의 관리농도는 표 17과 같다.

표 17. 95 % 신뢰도로 우리나라 허용기준을 초과하지 않는 농도(관리기준)

업종	GSD	관리기준, 개/cc
석면 방직업	1.89	0.6(0.57)*
브레이크 라이닝 제조업	2.75	0.3(0.28)*
석면 슬레이트 제조업	3.07	0.2(0.22)*

이론치

나. 작업환경 관리대책

(1) 작업환경의 정확한 측정 및 평가

석면을 취급하는 작업장에서 작업환경을 안전한 상태로 유지하기 위해서는 석면을 취급하는 작업이나 각종장치에서 발생하는 석면분진을 국소배기장치에 의해 배출하는 것이 기본적이며 가장 효과적이다.

따라서 작업환경관리를 위해서 가장 먼저 이루어져야 하는 것은 작업환경 측정 및 평가이며 현재 세계적으로 공인되고 있는 공기중 석면의 측정법은 미국 국립산업안전보건연구원 공정시험법인 NIOSH Method No. 7400(NIOSH, 1989)을 이용하는 것이 바람직하다고 생각한다. 실제 분석은 분석에 필요한 기기와 기구가 필요하며 분석과정도 상당히 숙련된 기술이 요구되므로 시료의 분석은 고도로 숙련된 전문인력을 필요하기 때문에 석면사업장의 조사는 극히 일부의 기관에서만 실시할 수 있다.

석면에 대한 조사의 필요성이 강력히 요구된 이래 실제로 석면시료의 채취는 공단의 각 지도원 뿐만 아니라 일반 작업환경측정기관과 일부 사업장에서도 실시하고 있다. 그런데 아직까지도 각 측정기관에서 분석의뢰하는 석면시료중 종종 채취과정에서 발생된 오류가 발견되는 경우가 많이 있으며, 자주 발생되는 오류는 다음과 같다.

- (가) 시료채취 전후에 공기채취 유량의 보정(calibration)을 실시하지 않아 포집된 공기량이 부정확하여 측정결과인 석면농도가 부정확해진다.
- (나) 규정된 cellulose ester membrane filter를 사용하지 않아 분석이 불가능하다.
- (다) 여과지를 지지하고 있는 카세트(cassette)의 앞부분이 완전히 개방된 열린상태(open face)로 하지 않아 여과지상의 석면분진 분포가 불균일하여 분석이 불가능하다.

(라) 시료에 붙여진 번호와 측정시의 기록과 일치하지 않아 혼동을 일으킨다.

(마) 작업장의 분진농도를 고려하여 filter에 분진이 과다 및 과소 포집된 경우 분석이 불가능하다.

(2) 비석면제품으로 대체(substitution)

석면의 유해성이 알려진 이래 석면 대체품에 대한 개발이 활발하게 진행되어 왔으며 지금까지 개발된 석면대체품은 수십가지에 이르고 있다. 그 중 일반적으로 많이 사용되고 있는 것은 유리섬유(glass fiber), 암면(rock wool), 세라믹 섬유(ceramic fiber), 철 섬유(steel fiber), polypropylene fiber, 및 탄소섬유(carbon fiber), 그리고 최근에는 KEVPLAR 등이 있다. 최근 브레이크 라이닝은 비석면 대체품으로의 대체가 활발히 진행중에 있다.

그러나 유리섬유, 세라믹 섬유등 광물류섬유 등에 대한 최근의 조사연구에 의하면 이러한 섬유들도 생물학적으로 유해성이 증명되고 있으므로 안전한 물질로 판단하여 사용시 방심하여서는 안된다.

석면과 다른 단열재와의 특성을 비교하면 표 18과 같다.

표 18. 석면과 다른 단열재와의 특성비교

항 목	석 면(石綿)	암 면(岩綿)	유 리 면	세라믹화이바	비 고
명 칭	Asbestos	Rock wool	Glass wool	Ceramic fiber	
구 조	결정형 (crystalline)	비결정형 (amorphous)	비결정형 (amorphous)	비결정형 (amorphous)	결정형: 체액에 녹지 않음 비결정형: 체액에 녹아 배출됨
주 용 도	보강재 결합재	보온, 단열재	보온, 단열재 흡음재	요로, 각종 산업설비단열재	
유 해 성*	Group 1	Group 2-B	Group 2-B	Group 2-B	
섬유굵기	0.1- 1 μ	3 - 10 μ	5 - 10 μ	3 - 5 μ	
화학조성	표 2 참조	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -CaO 계	SiO ₂ 계	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 계	
제조법	사문암등 변성암중에서 섬유를 채취하여 재하는 섬유	현무암등 화성암을 1,700°C의 고열로 용융액화시켜 섬유화	유리원석을 용융시켜 섬유화	고순도의 실리카와 알루미나를 용융시켜 섬유화	

* Group 1: The agent is carcinogenic to humans.

Group 2-B: The agent is probably carcinogenic to humans.

Group 3: The agent is possibly carcinogenic to humans.

(3) 격리

석면을 저장하는 창고 및 취급하는 작업장은 다른 작업장과 격리시키든가 작업장내에 장벽(barrier)을 설치하여 작업중 발생하는 석면분진에 폭로되는 근로자를 최소화시켜

야 한다.

포대에 포장된 원료를 개봉하여 석면과 기타의 원료를 배합할 때 석면분진이 비산하여 석면취급 근로자에 폭로되므로 격리된 작업장소에서 원격조작에 의하여 작업하는 방법을 강구한다.

(4) 밀폐

원천적으로 석면분진을 억제하는 방법은 그 발생원을 밀폐시키는 것이다. 간단하고 효과적인 밀폐기구로서는 플라스틱 덮개를 사용할 수 있다.

석면을 취급하는 설비중 근로자가 상시 접근할 필요가 없는 설비는 밀폐된 실내에 설치하도록 하고 석면 취급설비를 밀폐된 실내에 설치한 경우 외부에서 점검 할 필요가 있을 경우에는 밀폐실 외부에서 점검할 수 있는 구조로 하여야 한다.

많은 기계가 작동되고 있는 석면시멘트 공장에서는 키퍼링의 내부공작 같은 기계작업 장소를 밀폐시킬 수 있다.

유지 및 보수작업을 하기 위하여 밀폐장소를 열고 작업요원이 그 내부에 들어가야 할 때는 그 내부의 분진농도가 낮은 것을 확인하든가 그렇지 않으면 방진마스크를 반드시 착용하고 작업하도록 하여야 한다.

(5) 보호구

석면작업시에는 호흡용 보호구, 보호의, 모자, 장갑, 신발 등의 보호구가 필요하며 가장 중요한 것은 호흡용 보호구이다. 작업환경에 대한 공기중 석면의 농도기준을 종류에 관계없이 0.2 개/cc로 설정하고 있는 미국(1986년 7월부터 실시)에서는 석면 취급작업시 착용해야 할 호흡보호구의 종류와 규격을 표 19와 같이 명확하게 규정하고 있다.

우리나라에서는 석면의 허용기준을 석면의 종류에 따라서 달리하고 있는데 백석면은 2 개/cc, 갈석면은 0.5 개/cc, 청석면은 0.2 개/cc로 규정하고 있으므로 석면의 유해성을 감안할 때 2 개/cc를 초과하는 작업환경에서 작업하는 근로자에 대해서는 물론이고 2개/cc 미만의 작업장소에서도 필요에 따라 HEPA(High efficiency particulate air) 필터가 장착된 안면개방형 마스크나 동력가동형 호흡용 보호구 등 적정규격 이상의 호흡용 보호구를 착용해야 한다고 본다.

표 19. 미국 산업안전보건법의 석면에 관한 호흡용보호구의 규격

공기중 석면농도	보 호 구 규 격
- 2 개/cc 미만 (허용기준 10배까지) (허용기준 50배까지)	- 1회용 마스크가 아닌 고성능(HEPA) 여과지*가 부착된 안면형 보호구
- 20 개/cc 미만 (허용기준 100배까지)	- 고성능 여과지가 부착된 동력 가동형 공기 청정 호흡 용 보호구
- 200 개/cc 미만 (허용기준 1000배까지)	- 일정량의 청정공기가 공급되는 호흡용 보호구
- 200 개/cc 이상	- 안면 밀폐식의 공기공급 및 정압가변 조절형 보호구 로 자동으로 양압을 유지하는 장치가 부착되어 있는것

* 고성능여과지(HEPA filter) : 0.3 μm 의 균일한 입자에 대하여 최소한 99.97 % 이상의 여진효율이 있는 여과지.

(6) 교육(Education)

석면의 유해성에 대한 교육은 산업보건관계자, 사업주, 근로자 및 일반국민 등을 대상으로 실시되어야 할 것이나 특별히 준비된 교육계획 외에도 실제 측정시 측정자가 사업장에 방문하였을 때 사업주나 근로자를 대하여 행해지는 정보의 전달이나 석면에 관한 설명, 또는 현장에서의 행동이나 태도 등도 매우 중요한 교육과정이라고 볼 수 있다. 따라서 측정자는 석면사업장을 방문하기 이전에 석면에 관한 정보를 충분히 파악하고 있는 전문가라야 하며 사업장에서 사업주나 근로자들이 측정이전에 충분히 납득을 시키고 궁금하게 여기는 사항 등에 대하여 성실하게 답변을 해주는 것이 필요하다. 또한 산업보건에 관련된 실무자가 석면작업장에 들어갈 경우 반드시 적정규격이상의 호흡용보호구와 필요에 따라서는 보호의복을 착용하여야 한다.

석면분진에 의한 건강장해 예방 뿐만아니라 어떤 유해인자에 의한 건강장해예방을 위해서는 현장에서 작업하고 있는 근로자 자신들이 취급하고 있는 물질에 대한 유해성과 건강장해 예방대책에 대한 지식을 갖고 대체하는 것이 가장 중요하다. 따라서 근로자나 관리감독자들에게 정규적인 교육을 실시하여 자신들이 가지고 있는 경험에 의한 지식에 정규적인 교육을 통해서 얻은 지식을 보완하여 지식을 실제로 이용할 수 있어야 한다.

사업주는 근로자의 건강을 책임져야 할 의무가 있음에도 위험문제의 실제적인 대책에 관여하는 경우는 드물다. 그러므로 경영자에게 하는 교육은 무엇을 “어떻게”, “어느 때”, “어느 곳에”, “누구에게”등 보다는 “왜(어째서)”하여야 하는가를 일깨워주는 단기간의 교육이라도 반드시 필요하다고 본다. 특히 석면은 발암성물질이고 특정화학물질로 규

정되어 있으므로 사업주에 대한 교육의 필요성이 더욱 강조된다.

(7) 청소의 철저

청소를 깨끗이 하고 정리정돈을 생활화하는 것이 석면분진발생을 억제하는 데 있어 중요하다.

바닥, 기둥, 벽면의 돌기물, 설비등에 축적된 석면은 작업자의 보행이나 실내의 기류, 진동등에 의해서 다시 작업환경중에 비산하여 공기중의 석면농도를 높이게 되므로 작업장내에 석면이 축적되지 않도록 항상 청결히 하여야 한다.

청소만으로도 공장내의 먼지를 1/2 또는 3/4까지 감소시킬 수 있을 것으로 본다.

공정상 습윤한 상태의 석면을 사용할 수 있는 작업에는 물을 뿌려 분진의 비산을 억제하는 濕式作業方法도 매우 효과가 큰 것으로 알려져 있다. Paik 등(1983)의 연구결과에 의하면 건물에 살포된 석면을 제거하는 작업에서 습식작업을 이용할 때 건식작업방법시의 약 1/30로 감소하는 결과를 보이고 있어 습식작업에 의한 분진의 감소가 매우 효과적임을 입증하고 있다.

바닥이나 벽 또는 기계 등에 떨어진 분진이 再飛散된 2차 분진을 효과적으로 制禦하기 위해서는 진공청소기를 이용하여 낙하된 분진을 완전히 제거하여야 한다. 이때 진공청소기에는 반드시 석면을 완전히 걸러낼 수 있는 고성능의 HEPA 필터가 장착되어 있어야 하며, 주기적으로 꾸준히 청소를 실시하여야 효과가 나타난다.

국내의 어느 석면시멘트 제조사업장에서는 석면제거용 청소차량을 이용하여 공장바닥 청소를 실시한 결과, 가시적으로 깨끗한 효과가 나타나는 데에는 약 2개월이 걸렸다고 한다.

(8) 작업방법의 개선

석면취급작업의 특수성 때문에 적절한 국소배기장치를 사용한다 하더라도 작업행동 혹은 취급상의 사소한 부주의나 작업장 설비등의 설계시 발진대책에 대한 배려가 결여되어 작업환경이 오염되는 경우가 많다.

작업시 발진(發塵)을 가능한 적게하고 국소배기장치의 관리를 지속적으로 유지하기 위하여 다음과 같은 작업상의 주의 및 관리대책을 들 수 있다.

(가) 석면의 운반 및 취급

석면의 운반, 이동 및 석면을 쌓을 때 발생하는 석면분진은 작업장 전체의 환경에 큰 영향을 미침에도 불구하고, 석면분진의 비산을 방지하기 위한 국소배기장치를 설치하

지 못하는 경우가 대부분이다.

그러나 원료나 제품을 다음과 같은 방법으로 소중히 취급함으로써 어느정도 석면의 비산을 방지할 수 있다.

① 석면의 포장 및 취급은 가급적 밀도가 좋고 파손이 잘 안되는 자루등에 넣어서 취급한다.

② 비닐로 된 자루등 파손되기 쉬운 자루에 넣어 석면을 취급할 때는, 파손이 되지 않도록 주의하고, 자루가 파손하는 손갈퀴등을 절대로 사용하지 않도록 한다.

③ 자루가 파손되지 않는 경우에도 취급시 충격이나 진동을 가하면 내용물이 이음새에서 분출되거나, 자루의 표면에 부착해 있는 석면이 비산하므로 취급에 주의한다.

④ 자루에 들어 있는 석면을 인력으로 쏟아 내면 필요이상으로 석면을 비산시키는 결과가 되기 쉬우므로 이런 작업에는 팰렛(pallet)을 사용하여 기계적으로 하는 것이 바람직 하다.

⑤ 석면이 든 자루를 쌓는 작업이 끝난 후에는 그 주위를 진공청소기 등으로 청소 하여야 한다.

⑥ 석면원료나 석면제품의 운반에 자동차를 이용할 때는 도로에 석면이 흩어지지 않도록 항상 주의 하여야 한다.

(나) 개봉 및 투입작업

석면원료는 대부분 종이, 비닐, 마(麻) 등의 자루에 든 상태로 사업장에 운반되므로 석면제품을 제조하는 경우의 1단계의 작업은 포대에 들어 있는 원료를 꺼내는 개봉작업이 된다. 따라서 개봉작업의 대부분은 석면을 다음의 공정에 보내는 투입작업과 동시에 이루어진다. 이 작업은 일부의 작업을 제외하고는 인력에 의해서 행하여지기 때문에 석면분진의 발진상태는 국소배기장치가 정상적으로 가동되고 있어도 작업방법의 차이에 따라 영향을 많이 받게 된다. 따라서 개봉작업이나 투입작업에서는 석면분진의 비산이 가급적 적게 되도록 항상 주의하여야 한다.

특히 다음과 같은 점에 대해서는 유의하여 작업요령을 작성하여 작업자에게 미리 교육시키는 것도 중요하다.

① 개봉작업에는 자동개봉기를 사용하는 것이 가장 좋으나 개봉기의 입구에 떨어진 분진이나, 빈자루의 처리시에 떨어진 분진의 비산에 주의할 필요가 있다. 또한 개봉기가 고장일 때의 작업기준도 명확하게 하여 작업자가 고농도의 석면분진에 폭로되지 않도록

한다.

② 인력에 의한 개봉은 후드의 개구면(開口面)의 안쪽에서 행하는 것을 원칙으로 하고 부득이 후드의 개구면의 바깥쪽에서 할 경우에는 가능한 후드에 가까운 위치에서 한다.

③ 원료가 든 자루를 절단하는 경우 자루의 구석등에 석면이 남지 않도록 한다.

④ 빈자루는 부착된 석면을 투입용 후드중에서 제거한 후, 처리용 부스식 후드속에 주의 하여 쌓아 놓도록 한다. 또한 빈자루를 거칠게 취급하면 발진의 원인이 되므로 주의하여 취급하여야 한다.

⑤ 투입구 이외의 장소에 석면이 떨어져서 비산하지 않도록 주의한다. 투입구가 작으면 투입구 이외의 장소에 석면이 흩어지기 쉬우므로 작업행동을 규제하기 전에 투입구의 설계에 대한 적합여부를 충분히 검토할 필요가 있다.

또한 투입구 주변의 바닥은 깨끗하게 보여도 석면이 축적되기 쉬우므로 젖은 걸레로 닦도록 한다.

⑥ 스크우프(scoop)와 교반봉, 끌름판등 투입작업에 쓰는 보조도구는 항상 지정된 장소에 두도록 하고, 가급적이면 도구를 보관 할 수 있도록 설계된 후드를 설치하는 것이 좋다.

(다) 평량작업

석면을 자루에 넣든가, 석면을 평량할 경우에 손으로 양을 가감하는 작업을 할 때가 많은데, 이때 작업위치가 작업자의 호흡기위치에 가까이 있으므로 상상할 수 없을 정도로 많은 양의 석면분진을 흡입할 위험성이 있다. 따라서 작업시 다음과 같은 점에 유의하여 작업하여야 한다.

① 프레스작업에서는 인력으로 원료를 평량해서 금형에 넣는 작업과 금형에 넣은 원료석면을 고르게 하는 작업등을 하게 되는데 이러한 작업을 할 때 원료인 석면이 장갑에 붙어서 2차 발진의 원인이 되므로 손이나 장갑에 석면이 부착되지 않도록 적당한 보조기구를 이용하는 것이 좋다.

소형의 스크우프 등을 이용하여 소량씩 석면을 퍼내는 작업을 할 경우에도 스크우프의 모양등을 생각하여 가능한 손이나 장갑에 석면이 묻지 않도록 한다.

② 장갑에 묻은 석면은 하나의 작업이 끝남과 동시에 후드나 부스속에서 털어내고 장갑에 의한 석면의 비산이 적게 하도록 해야 한다.

③ 제량기나 프레스기등에서는 기구의 조작때문에 스위치를 자주 사용하게 되는데 스위치가 부착되어 있는 높이가 호흡기의 높이에 있으면 스위치를 조작할 때 마다 손이나 장치에 부착된 석면이 비산해서 작업자는 고농도의 석면분진에 폭로되게 되므로 스위치의 높이는 호흡기보다도 충분히 낮은 곳에 설치하는 것이 좋다.

다. 공학적 관리대책

(1) 국소배기장치의 설치

석면을 사용하는 시설중 작업의 성질상 밀폐가 곤란한 설비에 대해서는 공학적 관리대책으로 발산원에 적절한 형식과 기능을 갖춘 국소배기장치를 설치하여 비산하는 분진을 제거하는 방법을 채택하여야 한다.

국소배기장치의 가동에 있어서 유의해야할 가장 중요한 사항은 국소배기가 설치된 작업공정이나 시설을 가능한 密閉시켜야 하며, 개구부에는 亂氣流가 형성되지 않도록 하고, 기류의 방향은 밀폐된 후드 안쪽으로 흘러야 하며 그 속도가 충분하여야 한다.

또한, 효과적으로 환기를 할려면 배기량과 흡기량이 균형을 유지하여야 하는데 일반적으로 국소배기 설치시 배기만을 생각하기 쉬워서 작업장으로서의 공기유입구를 생각하지 않는 경우가 많은데 이를 주의하여야 한다.

국소배기장치설치에 있어서 주의하여야 할 점을 요약하면 다음과 같다.

(가) 排氣管은 석면분진이 발산하는 부위의 공기를 모두 빨아낼 수 있는 성능을 갖추어야 한다.

(나) 후드는 汚染源에 가까이 설치할 때 가장 효과적이다. 그러나 너무 가까이 있으면 작업에 지장을 주기 때문에 후드의 모양과 크기, 위치 등은 석면분진을 제거하는 데 가장 효과적인 방법을 모색하여 설치하여야 한다.

(다) 국소배기에 흡입되는 공기가 근로자의 호흡기를 거치지 않도록 한다

(2) 후드의 설계

환기장치의 설계에 있어서 가장 기본이 되는 制御速度 (capture velocity, V_c)는 작업공정에 따라 다르지만 후드 전면속도는 1초당 1.0 - 1.25 m이어야 한다. 가장 거리가 먼 지점(null point)에서의 제어속도(制御速度)는 난기류(亂氣流)가 없는 환경에서 0.25 - 0.50 m/s 이어야 한다.

물론 기계장치의 부하가 크고 석면분진의 비산속도가 클때는 V_c 를 이것보다 크게

할 필요가 있고 이 경우에는 배풍량도 크게 된다.

후드에 플랜지(flange)를 설치하면 공기의 유입상태를 개선시켜 주위로부터 많은 양의 공기를 유입시킬 수 있고, 또한 흡입압력의 저하를 감소시키고 후드 앞에서 유속을 더욱 크게 만들어 준다.

(3) 덕트의 설계 원칙

덕트는 건물의 구조등에 의해 제약을 받고, 또한 같은 후드에 따라서도 전체의 모양에 따라서 달라질 수 있으므로 덕트의 설계에 대해서 자세한 설명은 생략한다.

다만, 후드의 설치장소가 결정되면, 덕트는 되도록이면 굴곡(屈曲)의 수를 적게하도록 하는 배관상의 원칙에 따라서 설계하는 것이 좋다.

덕트의 단면적은 반송속도(搬送速度, Transmitted velocity, V_T)가 17.5 - 22.5 m/s의 범위에 들어 가도록 한다.

이것은 석면분진이 덕트내에 축적되는 것을 방지하고, 또한 압력손실이 과대하게 되지 않도록 하기 위한 목적이다.

또한, 횡(橫)으로 설치하는 덕트는 석면분진의 축적을 방지하기 위하여 밑으로 향하는 경사가 되도록 설계하고, 또한 덕트의 단면은 원형이 요망된다.

(4) 후드의 공기조절판(댐퍼)의 조작

작업이 끝난 후 당해설비에 설치된 후드의 공기조절판을 작업자가 임의대로 조작하면 같은 배기시스템의 다른 후드의 풍량을 다소 증대시키게 된다. 이것은 그 후드의 배기효과를 높이게 되므로 국소배기장치로서의 압력손실은 증가하고 그 결과 전체의 배풍량은 감소한다. 따라서 주 덕트내의 搬送速度가 저하되고 분진이 축적되는 원인이 될 수 있다.

주 덕트(main duct)내의 분진이 축적함에 따라 차츰 전체배풍량이 감소하고 모든 후드의 배기효과가 저하하게 된다. 위와 같은 이유로 후드의 공기조절판은 미리 충분히 조절한 후 고정시키고 작업자가 임의로 開閉하지 않도록 하는 것이 좋다.

(5) 집진장치

(가) 고정식 집진장치

석면취급 작업장에서 일반적으로 사용되는 집진방법의 하나는 주머니 필터를 사용하는 것인데, 이방법은 천으로 된 면직물을 여과재로 사용하기 때문에 값도 싸고, 입수하

기도 용이하고, 여과효율도 좋아서 대단히 효율적이라고 본다.

이 주머니 필터는 직물 즉 천으로 만들어진 일련의 여러 주머니로 만들어져 있는데, 석면분진이 혼합된 공기가 주머니 밑 챔버에 들어 갔다가 주머니 내부표면에서 여과 되도록 되어 있으므로 맑은 공기가 챔버를 통해서 밖으로 빠져 나오게 된다.

분진 포집 주머니는 일정한 주기로 흔들어 줌으로써 내부표면에 붙어 있던 분진은 밑으로 떨어져서 챔버 아래에 있는 호퍼에 들어가게 되어 있다.

주머니 필터는 완전히 격리된 밀폐시설 즉 필터 하우스내에 설치하고 밀폐실의 크기는 후드를 통해서 배기되는 공기의 양을 감안하여 설치하여야 한다. 만약 여과된 공기를 재순환시켜 사용하고자 할 때에는 분진측정기를 설치하여 일정한 시간대의 간격으로 분진농도를 측정하여 변화를 감시하여야 한다.

주머니 필터를 설치하고자 할때 가장 중요한 것은, 필터자재에 사용되는 천의 종류와 표면의 총 면적인데 천의 종류는 주로 새틴(sateen; 綿繡子)이라고 하는 면직물이 권장되고 있고, 총면적은 일반적으로 통과 공기대 천의 면적으로 계산한다. 그러므로 이것은 천을 통과한 실제표면의 유속이 된다. 즉 천의 총 면적(m^2)에 대한 공기유입(m^3/s)의 비율이 되는데, 석면에 대한 권장치는 1분당 0.6 - 1.0 m이다. 그러므로 이 권장치를 가지고 만들고자 하는 필터의 칫수를 대강 예측할 수 있다.

이들 모든 주머니 필터의 여과장치는 큰 석면입자를 여과할 수 있는 예비 정화 사이클론 장치에 연결되어 있어야 함은 물론이다.

라. 행정 및 법적 관리

석면에 관한 법적 규제사항은 산업안전보건법 시행령 제 30조에 허가대상 유해물질로 규정되어 있고, 동법 산업보건기준에 관한 규칙 제 148조 관련 별표 6에 제 1류 물질로 규정됨에 따라 석면을 제조 또는 사용하고자 하는 자는 근로자의 건강장해를 예방하기 위하여 노동부령이 정하는 바에 따라 미리 노동부장관의 허가를 받도록 규정하고 있다. 일반적인 산업보건관리를 실시하는 것 이외에 석면을 제조, 취급하는 작업에 근로자를 종사시키는 경우 사업자는 다음의 조치를 강구하도록 하고 있다.

(1) 석면에 의한 유해원인을 제거하기 위하여 석면 대체물의 사용, 작업방법 및 시설의 변경 또는 개선등 필요한 조치를 하여야 한다(산업보건기준에 관한 규칙 제 3조).

(2) 석면이 발산되는 옥내작업장에 대해서는 공기중의 석면농도가 보건상 유해한 정도를 초과하지 않도록 석면분진의 발산을 억제하는 설비 또는 분진의 발산원을 밀폐하는

설비를 설치하거나 국소배기장치 또는 전체환기장치를 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다(동 규칙 제 4조).

(3) 석면분진이 현저히 비산하는 옥외작업장에 대해서는 물을 뿌리는등 분진의 비산을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다(동규칙 제 7조).

(4) 석면의 분진이 발산하는 장소에는 관계자외의 출입을 금지시키고 그 뜻을 보기 쉬운 장소에 게시하여야 한다. 또한 석면이나 석면에 오염된 물질은 일정한 장소를 정하여 폐기저장하여야 하며 그 뜻을 보기 쉬운 장소에는 관계자외의 자의 출입을 금지시키고 그 뜻을 보기 쉬운 장소에 게시하여야 한다. 금지된 장소에는 당해장소를 관리하는 관리감독자의 허가없이 출입하여서는 아니된다(동 규칙 제 24조).

(5) 석면은 일정한 장소를 지정하여 보관하여야 하며, 그 뜻을 보기 쉬운 곳에 게시하고, 보관된 물질이 밖으로 비산하거나 관계 근로자외의 근로자가 임의로 출입하지 못하도록 잠금장치를 설치하여야 한다(동 규칙 제 173조의 9의 제 1항, 제 179조제1호).

(6) 석면업무에 근로자를 종사하도록 하는 때는 세안, 목욕 및 탈의, 세탁 및 건조시설 등을 설치하고 필요한 용품 및 용구를 비치하여야 한다. 목욕 및 탈의시설은 입구, 탈의실, 목욕실, 작업복갱의실 및 출구등의 순으로 설치하여 근로자가 그 순서대로 들어가고 작업종료 후에는 반대의 순서로 나올 수 있도록 하여야 한다(동 규칙 제 28조).

(7) 석면분진이 발산되는 장소에서 작업하는 근로자에게는 방진마스크를 지급하고 이를 착용하도록 하여야 한다. 보호구의 숫자는 작업하는 근로자의 수 이상으로 지급하고 항상 청결하게 유지하여야 한다(동 규칙 제 30조).

(8) 석면을 사용하는 작업에 근로자를 종사하게 하는 때에는 방진마스크와 오염방지에 적합한 작업복 및 안전장갑등의 보호구를 지급하고 이를 착용하도록 하여야 한다(동 규칙 제 173조의 8, 제183조, 제184조, 제 185조)

(9) 석면분진의 발산을 억제하는 설비 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비, 국소배기장치, 전체환기장치에 대해서는 1년에 1회 이상 설비 또는 장치에 이상유무와 성능을 점검토록 한다(동 규칙 제 32조, 제 174조 제 1항).

(10) 석면을 용기에 넣거나 꺼낼 때 또는 반응조 등에 투입 때는 당해작업장소에 석면분진의 발산원을 밀폐하는 설비나 포위식 후드 또는 부수식 후드의 국소배기장치를 설치하여야 한다(동 규칙 제 149조).

(11) 석면이 들어있는 포장등의 개봉작업, 석면의 계량작업, 배합기 또는 개면기등의 석면투입작업, 석면제품 등의 포장작업을 하는 장소에는 국소배기장치를 설치 및 가동하여야 한다(동 규칙 제 173조의 7의 제 1항).

(12) 또한 이때 국소배기의 성능은 석면이 섬유성 분진상태일 때 제어풍속이 매초당 1.0미터 이상이 되도록 하여야 한다(동 규칙 제 173조의 7의 2항).

(13) 국소배기장치의 설치요건은 산업보건기준에 관한규칙에서 정하는 규정에 따라야 한다(동 규칙 제 152조).

(14) 석면 취급작업을 하는 동안에는 규정에 의한 국소배기장치를 가동하여야 한다(동 규칙 제 153조).

(15) 석면분진을 함유하는 기체를 배출시키는 국소배기장치에는 규정에서 정하는 구분에 따른 제진장치 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 장치를 설치하여야 한다(동 규칙 제 154조 제 1항). 또한 작업을 하는 동안 계속하여 정상적으로 가동하여야 한다(동 규칙 제 144조 제 2항).

(16) 석면을 취급하는 옥내작업장의 바닥은 불침투성의 재료로 하여야 한다(동 규칙 제 156조, 제 173조의 3).

(17) 석면을 사용하는 장소는 석면분진이 전파되지 않도록 다른 작업장소와 격리되어야 한다(동 시행규칙 제 173조의 2).

(18) 석면을 사용하는 설비로서 근로자가 상시 접근 할 필요가 없는 설비는 밀폐된 장소에 설치하여야 한다(동 시행규칙 제 173조의 4).

(19) 밀폐된 실내에 설치된 설비를 실외에서 점검할 필요가 있는 경우에는 투명유리 설치등 실외에서 점검할 수 있는 구조로 하여야 한다(동 시행규칙 제 173의 5).

(20) 석면을 뿜어서 칠하는 작업에 근로자를 종사하도록 하여서는 아니된다(동 시행규칙 제 173의 6의 제2항).

(21) 석면을 함유하는 폐기물은 밖으로 누출되지 아니하도록 불침투성의 비닐봉지등으로 밀봉하여 보관하고, 이를 처리할 때에는 처리하는 근로자의 건강상 유해하지 아니한 방법으로 할것(동 시행규칙 제 173조의 6의 제 3항 제 3호).

(22) 석면이 붙어 있는 물질을 파쇄 또는 해체하는 작업은 습식상태로 하여야 한다. 다만, 습식작업이 현저히 곤란한 경우에는 호흡용 보호구, 보호의를 지급, 착용하도록 하여야 한다(동 시행규칙 제 173조의 6의 제 4항).

(23) 석면등을 제조 또는 사용하는 작업장에 대해서는 법 제 42조의 규정에 의하여 6월에 1회 이상 정기적으로 당해 작업장내 공기중의 석면의 농도를 측정하여 그 결과를 3년간 보존하여야 한다(동 규칙 제 186조의 제 1항).

(24) 노동부고시(92-21)에 의한 석면의 허용농도에 의하면 백석면이 2 개/cc, 갈석면이 0.5 개/cc 그리고 청석면이 0.2 개/cc 이다.

IV. 요약 및 결론

우리나라 석면취급업종 중 석면소비량이 많고 종사자수가 많은 대표적 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 한다.

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 제조업 이 평균 0.19 개/cc, 범위 <0.01 - 2.67 개/c였고 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 50 인이상인 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 0.04 개/cc였다.

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

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

6. 브레이크 라이닝 제조업의 공정별 석면농도분포는 연마(평균 0.2 개/cc), 제량배합 및 유공 (평균 0.15 개/cc), 열성형 (평균 0.14 개/cc), 조립포장(0.07 개/cc) 순으로 나타났다.

7. 석면방직업의 공정별 석면농도분포는 직포(평균 1.33 개/cc), 연사(평균 0.94 개/cc), 소면(평균 0.91 개/cc), 정방(평균 0.85 개/cc) 순으로 나타났다.

8. 과거 측정자료와 비교해볼 때 현재의 작업환경이 비교적 양호하다고 보이나 아직 허용농도를 초과하는 사업장이 많았으며 일부 공정에서는 매우 높은 농도의 석면에 폭로되고 있었다. 그리고 각 사업장별, 공정별로 석면농도가 변이가 심하므로 이를 고려하여 우리나라 허용기준인 2 개/cc를 초과하지 않는다고 할 수 있는 관리기준을 설정하는 것이 바람직하다고 보며 석면농도의 변이가 가장 심한 방직업 0.6 개/cc를 기준으로 석면의 작업환경관리 기준을 0.6 개/cc로 제안한다.

V. 참고문헌

- 관세청; 무역통계연보, 1991년 2월호, 관세청, 1992.
- 국립노동과학연구소; 석면사업장현황. 노동과학, 1987 가을호, 국립노동과학연구소, 1987.
- 국립노동과학연구소; 석면취급사업장의 보건실태 조사연구. 연보 49호(87 - 5호), 노동부, 1987.
- 노동부; 유해물질의 허용농도, 작업환경관계자료. 노동부 고시 제 86-45호, 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.
- 오세민; 석면취급현황, 노동과학, 1987 가을호, 국립노동과학연구소, 노동부, 1987
- 백남원; 우리나라 석면산업장 근로자의 석면폭로 실태에 관한 연구. 보건학논집 42:115-121, 1989.
- 한국산업안전공단; 석면의 유해성과 직업병 예방대책, 한국산업안전공단, 1990.
- 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.
- Dunnigan, Jacques; Update on Asbestos, Asbestos in the environment Workshop, Seoul, Korea, February 2, 1990.
- 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.
- Hammond, E.C.; Smoking in relation to the death rates of one million men and women. Natl. Cancer Inst. Monogr., 19:127-204, 1966.

Lee, Douglas, H.K. Irving and J. Selikoff; Historical Backgrounds to the Asbestos Problem. *Environmental Research*, 18(2):300-314, 1979.

Leichner, F.; Primäre Deckzellentumor des Bauchfells bei Asbestose. *Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg.*, 13:382-392, 1954.

Lynch, K.M., W.A. Smith; Pulmonary asbestosis, III: Carcinoma of the lung in asbesto-silicosis, 36 & 56-64, 1935.

Murray, M.M.; Report of the Department of the Committee on Compensation for Industrial Disease. Minutes of Evidence. Appendices and Index, London, Wymann and Sons, 1907.

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.

Paik, N.W., R.J. Walcott and P.A. Brogan; Worker exposure to Asbestos During Removal of Sprayed Material and Renovation Activity in Building Containing Sprayed Material, *Am. Ind. Hyg. Assoc. Jr.*, 44:428-432, 1983.

Selikoff, I.J., D.H.K. Lee; Asbestos and Disease. New York, New York Acad. Press, 3p, 1978.

Weiss, A.; Pleurakrebs bei Lungenasbestose, in vivo Morphologische Gesichert, *Medizinische*, 3 & 99-108, 1953.

本環境衛生センタ; 石綿セオライトのすへて, 三宅弘文, 日本環境衛生センタ, 1985.

석면취급사업장의 작업환경관리
모델에 관한 연구
(92 - 3 - 10)

발 행 일 : 1992. 12

발 행 인 : 정 규 철

발 행 처 : 한국산업안전공단 산업보건연구원

인천직할시 북구 구산동 34 - 3

전 화 : (032) 518-0861

인 쇄 인 : 김 재 극

인 쇄 처 : 문 원 사

<비매품>