

# 석면슬레이트 제조 및 석면방직사업장 근로자의 석면분진폭로

朴杜用 · 白南園

서울대학교 보건대학원 환경보건학과 산업보건학교실

## Worker Exposure to Asbestos Fibers in Asbestos Slate Manufacturing and Asbestos Textile Industries

Doo Yong Park · Nam Won Paik

*Division of Industrial Health, Department of Environmental Health,  
School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea*

### Abstract

Two asbestos slate manufacturing and seven asbestos textile plants in Korea were surveyed from May 20 to July 2, 1987. The purposes of this study were to evaluate 1) worker exposure to asbestos, 2) compliance to the standards and 3) the efficiency of existing local exhaust systems.

Sixty-two personal samples and eighty-three area samples were collected and analyzed using "NIOSH 7400" method.

Results of this study were as follows.

1. The asbestos exposure concentrations in asbestos textile plants were 1.3 - 14.3 fibers/cc (geometric mean(GM), 4.4 fibers/cc).
2. Worker exposure level to asbestos fiber in asbestos slate manufacturing industry was 0.21 fibers/cc during wet processing, which is below the Korean Standard of 2 fibers/cc.
3. Most local exhaust systems installed in asbestos textile plants were inadequately designed.
4. Ninety-six percent of the 145 samples exceeded the U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limit (PEL) of 0.2 fibers/cc and forty-nine percent of the samples exceeded the Korean Standard of 2 fibers/cc.

## I. 結 論

石綿粉塵 暴露는 石綿肺(asbestosis) 뿐만 아니라 치명적인 肺癌과 中皮腫(mesothelioma)을 일으키는 것으로 알려져 있으며 消化器系 癌을 유발한다는 報告도 있다.

石綿이란 自然系에서 產出되는 섬유상 광물질의 總稱으로 섬유의 物理的, 化學的 性狀에 따라 여러가지로 分類되는데 실제 産業에서 많이 사용되는 것은 溫石綿(또는 白石綿, chrysotile), 靑石綿(crocidolite), 黃石綿(amosite) 등이며 溫石綿이 약 90% 이상을 차지하고 있다. 石綿은 耐火性, 斷熱性, 防腐性, 絶緣性, 紡績能 등이 매우 좋기 때문에 일찌기 古代로부터 使用되어 왔으며 産業革命以後 蒸氣機關이 이용되면서 사용량이 急增하여 오늘날에는 全世界의 600萬톤 이상이 사용되고 있다.<sup>1)</sup>

한편 우리나라에서는 現在 石綿을 채굴하고 있는 곳은 없으나 年間 5~7萬톤의 石綿을 캐나다 등 外國으로부터 輸入하고 있다. 輸入된 石綿은 消火用피복, 장갑, 모자, 패킹, 여과포 등에 사용되는 耐熱性 製品, 建物の 지붕, 외벽, 천정 등에 使用되는 석면슬레이트, 바닥에 붙이는 타일, 자동차 브레이크, 強度를 補強한 시멘트, 建物에 살포되는 不燃性 材料 등으로 多樣하게 使用되고 있어<sup>2)</sup> 石綿粉塵의 暴露 危險이 매우 광범위한 실정이다. 특히 石綿을 직접 취급하는 作業에 從事하는 勤勞者의 경우 石綿粉塵의 暴露 危險이 매우 커서 치명적인 健康障害를 일으킬 수 있으므로 可能한 모든 方法을 동원하여 石綿 暴露를 피하도록 해야 한다. 現在 우리나라는 勤勞者의 石綿粉塵暴露를 豫防하기 위하여 作業環境의 許容基準을 設定하여 石綿使用의 主種을 이루는 溫石綿의 경우, 法的으로 空氣中 許容基準을 2개 / cc

로 制限하고 있으나 石綿粉塵에 대한 作業環境의 測定, 評價 및 改善策에 대한 調査, 研究가 극히 未備하여 効率的인 豫防對策을 樹立하지 못하고 있으며 室內 및 大氣汚染으로 인한 일반대중의 石綿粉塵暴露에 대해서는 전혀 對策을 세우지 못하고 있는 실정이다.

우리나라에서는 아직까지 石綿으로 인한 健康障害가 報告된 例가 거의 없으나 이것은 石綿에 의한 健康障害가 없다기 보다는 아직까지 調査, 研究의 不足으로 正確한 實態를 밝혀내지 못하고 있는 것으로 보여진다.

따라서 本 研究의 目的은 石綿粉塵에 직접 暴露되어 있는 勤勞者들의 石綿暴露實態를 調査하여 石綿粉塵暴露에 對한 豫防對策을 樹立하는데 必要한 基礎資料를 提供함에 있다. 本 調査에서 선정한 石綿取扱事業場은 石綿슬레이트 제조업과 石綿紡織業이며 勤勞者의 石綿 暴露水準을 業種別, 工場別, 工程別, 局所排氣施設의 効率別 등 여러가지 特性別로 評價하고 보조적으로 單位作業場所의 空氣中 石綿濃度を 測定하여 石綿의 發生實態를 汚染源에서 評價하였다.

## II. 調査對象 및 方法

### 1. 調査對象

本 調査는 우리나라 石綿取扱業種中 石綿슬레이트 製造業과 石綿紡織業에서 各各 2個와 7個 工場을 선정하여 對象으로 하였다. 9개 調査對象事業場에서 1984년부터 1986년까지 使用한 石綿은 모두 118,768<sup>M</sup>/T 으로, 同期間中 우리나라에서 輸入한 石綿總量, 184,859<sup>M</sup>/T 의 64.2%를 차지하였다. 石綿 種類는 모두 溫石綿이었으며 캐나다, 미국, 남아프리카, 일본 等地에서 輸入한 것이다.

調査對象事業場의 總勤勞者數는 1,530名이었으며 本 調査에서는 石綿取扱勤勞者 504名을

Table 1. General Characteristics of Asbestos Industry Plants Surveyed

Characteristics	SLATE			TEXTILE						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
ASBESTOS (Chrysotile)										
Amount of import (M/T)										
1984	28,600	16,900	492	630	470	-	192	271	125	
1985	26,400	20,600	618	650	450	90	110	299	108	
1986	3,100	16,500	506	720	540	90	162	35	110	
Source of import	Canada	Canada S. Africa USA	Canada S. Africa	Canada S. Africa	Canada S. Africa	Canada S. Africa Japan	Canada S. Africa Japan	Canada	Canada S. Africa	
PRODUCT	Roofing slate	Roofing slate	Asbestos cloth, tape	Asbestos cloth, yarn	Asbestos cloth, yarn	Asbestos cloth, tape	Asbestos cloth, tape	Asbestos cloth, tape	Asbestos cloth, tape	
NUMBER OF WORKER										
Asbestos exposed	45	50	61	98	157	7	18	48	20	
Total	750	274	74	109	192	8	42	58	23	
YEAR BUILT	1985*	1970	1975	1982	1969	1984	1983	1986*	1976	

\* Year built refers to opening of new plant.

對象으로 이들 중에서 각 工程別로 62名을 선정하여 個人用試料(personal sample)를 捕集하였다.

各 工場別 石綿使用量 및 製品, 勤勞者數, 工場設立年度 等은 Table 1 과 같다.

## 2. 調査方法

本 調査는 1987年 5月 20日부터 7月 2日까지 對象事業場에서 作業하고 있는 勤勞者의 呼吸位置와 單位作業場所에서 各 石綿粉塵을 捕集한 後, 8月 28日부터 10月 12日까지 石綿섬유를 計數하여 空氣中 石綿濃度를 算出하였다. 本 調査의 試料捕集과 分析은 미국노동성 산업안전보건청 및 미국국립산업안전보건연구소(OSHA/NIOSH) 公定試驗法인 "NIOSH 7400" 方法에 따라 遂行하였다."

### 1) 空氣中 石綿粉塵의 捕集

個人用試料를 捕集하기 위해 個人用空氣捕集 펌프(미국 MSA model 'G' 및 영국 Casella model 'C')를 사용하였고 作業場所試料를 捕集하기 위해 勞研式석면측정펌프(日本, 勞動科學研究所)와 日本製 handy sampler를 이용하였다. 各 펌프의 流量, 濾過紙의 크기, 有效面積(effective area) 等은 Table 2와 같고 펌프는 試料의 捕集前과 後에 precision rotameter로 空氣流量을 補正(calibration)하였다.

Membrane 濾過紙(Millipore Type AA)를 지지대(holder)에 넣고 空氣가 吸入되는 쪽을 열린 面(open face)으로 하여 여과지에 석면섬유가 과잉포집되지 않도록 주의하면서 20~86分間 空氣를 통과시켜 (20~120l) 석면섬유를 捕集하였다.

### 2) 石綿纖維의 計數 및 空氣中 濃度 計算

"NIOSH 7400" 方法에 따라 아세톤 蒸氣를 發生시켜 試料인 membrane 濾過紙를 투명화시킨 다음, 위상차현미경(REICHERT Nr.

Table 2. Characteristics of Air Sampling Pumps Used

Characteristics	Personal sample		Area sample	
	MSA model 'G'	Casella model 'G'	Noyeonsik asbestos sampling pump	Handy sampler
Flow rate (Lpm)	1.5	0.5-1.6	1.0	1.5
Filter size (diameter, mm)	25	25	47	37
Effective area (mm <sup>2</sup> )	317	317	962	661

70 733 Austria)에 Walton - Beckett graticule 을 삽입시켜 400 배의 배率에서 石綿纖維를 計數하였다. Walton-Beckett graticule 의 計數面積은 0.00785mm<sup>2</sup>이며 stage micrometer 로 補正하였다. 誤差를 줄이기 위한 空試料(blank)는 각 工場에서 捕集方法別로 取하였다.

計數方法是 다음과 같다.

가. 길이가 5μm 를 초과하고 길이 對 두께의 比(aspect ratio)가 3:1 이상인 纖維만 計數함.

나. 섬유가 계수면적내에 있으면 1개로, 섬유의 한쪽 끝만 계수면적내에 있으면 1/2개로 計數함.

다. 每 試料當 100 개 이상의 계수면적을 관찰함(단, 계수된 섬유수가 100 개를 초과하면 20 개 이상으로 함).

空氣中 石綿纖維濃度는 먼저 濾過紙의 纖維數를 계산한 후 空氣流量을 고려하여 다음과 같이 計算하였다.

$$E = \frac{(F-B)}{n(Af)}$$

E ; 여과지에 포집된 섬유밀도, 개/mm<sup>2</sup>

F ; 계수된 纖維數, 개

B ; 空試料(blank)에서 계수된 纖維數, 개

n ; 관측된 計數面積數

Af ; 計數面積(Walton Beckett graticule 의 계수면적은

0.00785mm<sup>2</sup>)

$$C = \frac{E(Ac)}{V \cdot 10^3}$$

C ; 공기중 石綿纖維濃度, 개/cc

V ; 공기부피, Liters

Ac ; 濾過紙의 有效面積, mm<sup>2</sup>

### III. 調査結果 및 考察

#### 1. 空氣中 石綿纖維濃度

産業衛生分野에서 石綿纖維란 길이가 5μm 이상이고 길이 對 두께의 比가 3:1 이상인 섬유를 말한다.<sup>9)</sup>

本 조사대상사업장에서 측정 한 공기중 석면농도치는 모두 145 개로 농도별 分布는 Table 3 과 같다. 공기중 석면섬유 농도의 분포에 대해서는 아직까지 연구단계에 있으며 이에 대한 조사자료나 연구결과가 매우 제한되어 있는 실정이다. 현재까지 연구결과 空氣中の 粉塵, 粒子狀物質, 벤젠 그리고 放射能物質의 濃度는 正規分布보다 對數正規分布를 하고 있으며,<sup>4-8)</sup> 空氣中 石綿纖維 濃度도 對數正規分布를 한다고 報告되고 있다.<sup>9)</sup> 本 調査에서도 空氣中 石綿纖維濃度는 Fig. 1 과 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 對數正規分布를 하는 것으로 나타났다. 이러한 결과와 작업장에서의 근로자폭로수준에 관한 調査資料는 일반적으로 對數正規分布를 한다는 연구자들의 보고에 따라,<sup>10,11)</sup>

Table 3. Distribution of Airborne Asbestos Fiber Concentrations by Sampling Method and Industry

Industry/Sample	Number of Samples by Fiber Concentrations (Fibers/cc)								Total Number of samples
	0.1~0.5	0.6~1.0	1.1~2.0	2.1~10	11~20	21~30	31~50	51~100	
<b>SLATE</b>									
Personal samples	8	—	—	—	—	—	—	—	8
Area samples	—	5	2	—	—	—	—	—	7
Subtotal	8	5	2	—	—	—	—	—	15
<b>TEXTILE</b>									
Personal samples	1	3	23	17	7	2	1	—	54
Area samples	5	6	21	19	14	6	4	1	76
Subtotal	6	9	44	36	21	8	5	1	130

Table 4. Average Airborne Asbestos Fiber Concentrations by Sampling Method and Plant

Plants	Personal Sample				Area Sample			
	Number of samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD	Number of Samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD
<b>SLATE</b>								
A	3	0.21	0.28	1.33	3	1.07	1.50	1.40
B	5	0.22	0.28	1.27	4	0.85	1.09	1.28
Subtotal	8	0.21	0.28	1.29	7	0.93	1.24	1.33
<b>TEXTILE</b>								
C	9	3.1	6.8	2.19	13	5.8	8.3	1.43
D	9	1.3	2.6	2.00	13	1.1	3.0	2.73
E	10	6.2	15.1	2.44	12	4.4	8.7	1.98
F	5	7.6	10.9	1.43	7	16.7	36.3	2.17
G	7	14.3	26.3	1.84	9	17.9	60.3	3.37
H	9	5.3	8.3	1.57	13	14.8	25.7	1.74
I	5	5.3	5.9	1.79	9	2.6	4.1	1.58
Subtotal	54	4.4	11.5	2.61	76	5.7	20.0	3.51

本 調査에서 얻은 석면섬유농도의 代表값으로서 幾何平均値(geometric mean, GM)와, 散布度로서 幾何標準偏差(geometric standard deviation, GSD)를 계산하였다. 기하평균치는

對數確率紙(lognormal probability paper)의 分布에서 50% 確率에 해당하는 濃度值로 하였으며, 幾何標準偏差는 다음과 같이 계산하였다.<sup>9, 10, 11)</sup>

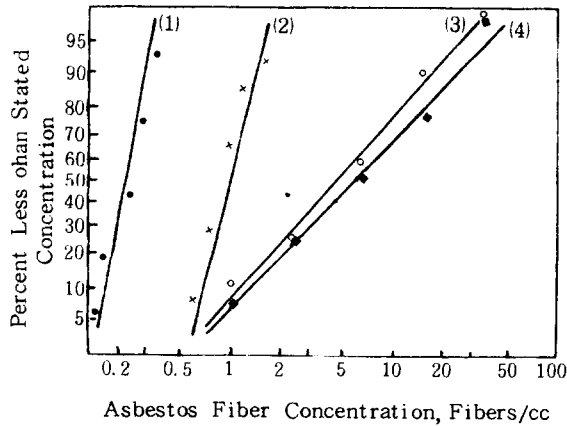


Fig. 1. Distribution of Airborne Fiber Concentrations by Sampling Method in Asbestos Slate Manufacturing and Asbestos Textile Industry.

- (1) Slate, Personal sample
- (2) Slate, Area sample
- (3) Textile, Personal sample
- (4) Textile, Area sample

$$\text{幾何標準偏差(GSD)} = \frac{\text{對數正規分布의 84}}{\text{對數正規分布의 50}}$$

$$\frac{\% \text{確率에 해당하는 濃度值}}{\% \text{確率에 해당하는 濃度值}}$$

### 1) 業種別 空氣中 石綿纖維濃度

本 調査結果 Table 3에서 보는 바와 같이 業種別 石綿纖維의 濃度分布를 보면 石綿紡織 事業場에서 높은 濃度를 보이고 있다. 石綿슬레이트 제조업에서는 15개의 試料가 모두 2개/cc 이하로 나타났으며 個人暴露量은 모두 0.5개/cc 이하인 반면 石綿紡織業에서는 130개의 試料中 71개(54.6%)가 2개/cc를 초과하였으며 勤勞者의 暴露水準도 54개 試料中 27개(50%)가 2개/cc를 초과하는 등 높은 폭로수준을 보이고 있다. 특히 石綿紡織業의 경우, 35개의 試料(26.9%)에서 空氣中 石綿纖維 濃度가 10개/cc를 초과하는 등 매우 높은 傾向을 나타내고 있다.

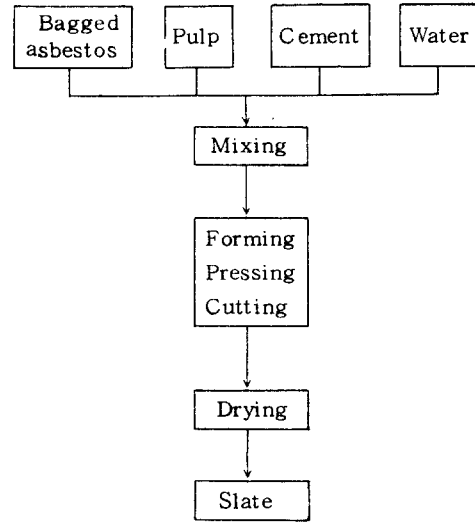


Fig. 2. Basic Steps in Asbestos Slate Manufacturing Process.

이러한 結果는 Table 4와 Fig. 1에서 더욱 상세하게 볼 수 있다. 석면슬레이트 제조업에서는 勤勞者의 暴露水準인 個人用 試料결과는 0.21개/cc로, 粉塵의 發生源에서 測定한 作業場所 試料결과는 0.93개/cc를 나타냈으나 석면방직업에서는 각각 4.4개/cc와 5.7개/cc로 勤勞者의 暴露水準은 석면슬레이트제조업에서 보다 약 21배가, 그리고 發生源에서의 石綿濃度는 약 6배가 더 높은 결과를 보이고 있다. 이와 같은 결과는 두 사업장의 作業工程이 다르기 때문인데, 석면슬레이트 제조업에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 原料配合時 물을 사용하는 濕式作業이 이루어지고 있어 空氣中으로 石綿의 飛散이 잘되지 않는 반면 作業條件이 乾燥한 石綿紡織業에서는 石綿의 飛散이 쉽게 일어나기 때문이라 생각된다.

石綿取扱事業中 製造業에 從事하는 勤勞者들이 石綿으로 인한 疾病에 이환될 危險이 가장 높고 標準化死亡比(standardized mortality ratio, SMR)도 가장 높다고 하며,<sup>12)</sup> 특히 Rajhans等<sup>13)</sup>에 의하면 製造業에서 石綿粉

塵의 發生이 가장 높으며 이 중 乾式作業에서의 石綿濃度가 濕式作業인 石綿 시멘트제조 및 슬레이트제조 工程에서 보다 有意하게 높다고 한 사실과 一致하고 있다. 또한 Paik<sup>9)</sup>이 建物에 살포된 石綿을 除去하는 作業中 石綿의 暴露水準을 調査한 研究結果에서는 濕式法을 利用할 때 乾式法時의 약 1/30로 減少하는 結果를 보이고 있어 濕式作業에 의한 粉塵의 減少가 매우 效果的임을 立證한 바 있다.

粉塵의 發生은 固形物質의 粉碎, 摩擦, 練磨, 衝擊 등에 의해 작은 粒子들이 空氣中으로 飛散되어 일어나며 이것을 1次粉塵이라 하고 1次粉塵이 沈降된 後 再飛散된 것을 2次粉塵이라 한다.<sup>14)</sup>

本 調査에서의 單位作業場所 試料는 粉塵發生源에서 捕集한 것이므로 主로 1次 粉塵, 즉 각 工程의 機械의 作動이나 作業에 의해 發生되는 粉塵이 捕集된 것이며 個人用 試料는 그 勤勞者가 작업을 하고 있는 工程에서 發生하는 粉塵뿐만 아니라 주위의 다른 工程에서 發生하는 粉塵과 2次 粉塵 등을 포함하여 最終적으로 呼吸位置에 도달되는 石綿이 捕集된 것이다.

Fig.1에서 보면 석면슬레이트 제조업에서는 單位作業場所에서 發生한 石綿濃度가 勤勞者의 暴露水準보다 높게 나타나 있고 석면방직업에서는 거의 差異를 보이지 않는다. 이러한 差異를 統計적으로 評價하기 위하여 調査된 두業種의 個人用 試料와 單位作業場所試料의 結果에 대한 有意性 檢定을 실시하였으며 檢定方法은 單位作業場所試料와 그 作業에 從事하는 勤勞者에게서 채취한 個人用試料의 結果를 하나의 群으로 하여 짝지은 t-檢定(paired t-test)을 이용하였다. 石綿濃度가 對數正規分布를 하고 있었으므로 대수값으로 변환하여 正規分布 형태로 變換시킨 後 짝지은 t-檢定을 하였다. 統計的 檢定結果, 슬레이트 제조업에서는 5% 有意水準에서 有意한 差異가 있었고

石綿紡織業에서는 有意한 差異가 없었다. 이것은 슬레이트제조업에서는 濕式工程으로 1次粉塵의 發生이 적을 뿐만 아니라 作業環境의 濕도가 높고 바닥에 물기가 있어서 石綿의 침강이 잘되고 일단 침강된 石綿은 거의 再飛散되지 않아서 2次粉塵의 發生이 極히 적기 때문에 勤勞者의 石綿暴露量은 發生源에서의 石綿量보다 1/4 이하로 감소한 것으로 생각된다. 따라서 本 調査를 통해 濕式作業은 1次粉塵의 發生을 억제함은 물론 이미 發生된 粉塵의 침강이 잘 되도록 할 뿐만 아니라 침강된 粉塵의 再飛散, 즉 2次粉塵의 發生을 억제하여 勤勞者의 石綿暴露量을 減少시키는 效果가 매우 높다는 것을 알 수 있다.

그러나 石綿紡織業에서는 濕도가 높으면 石綿絲의 引張強度가 弱해져 生産性이 크게 低下되기 때문에 濕式作業을 할 수 없다고 한다. 그러므로 2次粉塵의 發生을 억제하기 위해서는 眞空掃除器를 使用하여 바닥, 벽, 천정과 기계 등에 沈降되어 있는 石綿을 수시로 除去하는 方法을 이용하는 것이 좋다. 作業場 청소는 2次粉塵의 發生을 근본적으로 제거해 주기 때문에 勤勞者의 石綿暴露量을 減少시키는데 좋은 效果를 얻을 수 있고 어떤 作業場에서도 쉽게 應用될 수 있는 方法이라 생각된다. 또한 濕式作業이 가능한 作業에서는 분무기 등으로 물을 살포하여 飛散된 石綿을 沈降시키고 2次粉塵의 發生을 억제할 수 있을 것이다.

## 2) 石綿紡織事業場의 工程別 石綿纖維濃度

調査된 석면방직사업장의 作業工程圖는 Fig.3과 같다. 本 調査에서는 工程이 같은 場所에서 거의 同時에 이루어지거나 같은 勤勞者가 作業을 하는 工程은 하나의 單位作業場所로 보아 作業中 石綿濃度を 測定하였으며 結果는 Table 5와 같다.

開綿·混綿工程(fiberizing·mixing process)은 포장되어 있는 덩어리 形態의 原綿

Table 5. Airborne Asbestos Fiber Concentrations by Sampling Method and Process in Asbestos Textile Industry

Process	Personal sample				Area sample			
	Number of samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD	Number of Samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD
Fiberizing and Mixing	4	4.5	13.8	3.07	7	8.7	21.5	2.47
Carding	8	3.9	13.9	3.56	12	6.6	24.0	3.64
Spinning	11	5.6	12.1	2.16	15	6.6	15.3	2.32
Twisting	10	4.8	11.0	2.29	14	5.2	16.4	3.15
Winding	7	3.0	7.1	2.37	10	2.5	6.6	2.64
Weaving	14	5.3	9.7	1.83	18	5.0	26.2	5.24
Subtotal	54	4.4	11.5	2.61	76	5.7	20.0	3.51

을 풀어 合成纖維를 混合하는 工程이며 여기에서 測定한 單位作業場所試料는 8.7개/cc로 가장 높은 농도를 나타냈다. 대부분의 工場에서 開綿·混綿機에 局所排氣施設이 設置되어 있지 않았거나 設置된 경우에도 후드(hood)의 形態와 位置가 不良하였다. 勤勞者의 呼吸位置에서 測定한 暴露水準도 4.5개/cc로 높은 水準이었으나 發生源에서 測定한 8.7개/cc의 약 1/2이었다. 이것은 開綿·混綿作業의 勤勞者가 포장된 原綿을 가져다가 粉塵의 主發生源인 開綿·混綿機에서 직접 작업하는 시간은 20~30分 간격으로 20~30分동안이기 때문인 것으로 보여진다.

이 工程에서는 勤勞者의 暴露水準이 높고 특히 粉塵의 發生量이 다른 公定에서보다 훨씬 많으므로 여러가지 對策이 講究되어야 할 것이다. 1次的인 對策으로는 開綿·混綿機에 포위형局所排氣施設을 設置하고 原綿을 투입하는 入口面이나 混綿이 나오는 出口面에 陰(-)의 靜壓(negative static pressure)이 작용하도록 하거나 混綿이 나오는 出口를 다음 工程인 梳綿機와 직접 연결시킨 後 完全 밀폐하여 粉塵의 飛散을 억제하는 方法이 있다. 또한 他 部

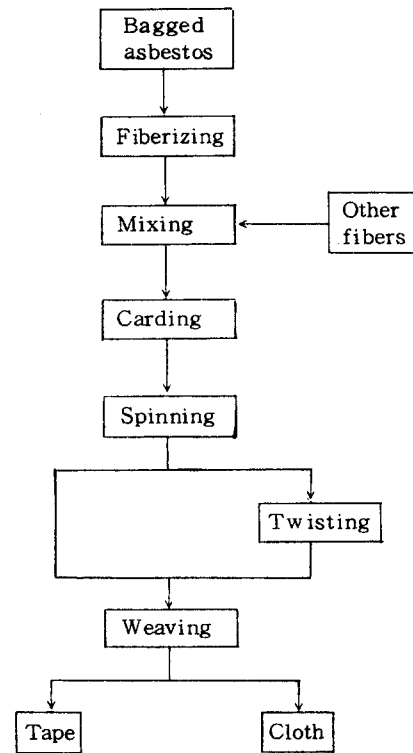


Fig. 3. Basic Steps in Asbestos Textile Process.



署의 勤勞者에게 石綿이 飛散되는 것을 豫防하기 위해 이 工程을 隔離시키는 것이 바람직하고 應急對策으로 勤勞者의 個人保護具인 石綿用防塵 마스크의 着用이 必須的이다.

梳綿工程(carding process)은 合成纖維와 混合된 石綿을 梳綿機를 통해 一定한 方向으로 빚질하여 梳綿(sliver)을 만드는 工程으로 빚질하는 部分에서 梳綿이 감길 때 多量의 石綿이 공기중으로 비산한다. 本 調査結果 梳綿機에서 發生하는 석면농도가 6.6개/cc, 勤勞者의 폭로수준은 3.9개/cc이었으며 機何標準偏差가 각각 3.64, 3.56으로 工場에 따라 變異가 심한 것으로 나타났다. 이 공정 의 粉塵對策으로는 梳綿이 감기는 部分만 除外하고 梳綿機全體를 완전 밀폐식으로 하여 粉塵의 飛散을 遮斷하고 梳綿이 감기는 部分에 대해서는 勤勞者가 수시로 作業을 해야 하므로 局所排氣施設을 하되 勤勞者의 呼吸位置 앞쪽으로 陰(一)의 靜壓이 作用하도록 設計하여야 할 것이다.

精紡工程(spinning process)은 梳綿工程에서 나온 梳綿을 伸張시키고 약간 꼬아서 實狀態로 만드는 工程으로 梳綿이 실패(cop)에 감길 때 여러 지지대를 통과하면서 마찰을 일으키게 되고 회전하는 동안 粉塵이 發生한다. 撚絲工程(twisting process)은 精紡工程에서 만들어진 실을 여러가닥 合絲하여 完全하게 꼬아서 織布工程에 利用될 수 있도록 강한 실을 만드는 工程으로 精紡工程과 비슷하다. 두 工程의 石綿濃度를 보면 石綿의 發生源에서 精紡工程과 撚絲工程에서 각각 6.6개/cc와 5.2개/cc 였다. 勤勞者의 暴露濃度는 두 公 正에서 각각 5.6개/cc와 4.8개/cc로 나타났으며, 이 暴露水準은 石綿發生源에서의 농도와 거의 같은 수준으로 工程에서 發生된 石綿이 그대로 勤勞者에게 暴露되고 있음을 알 수 있다. 이것은 이들 公 正에서 作業하는 勤勞者의 呼吸位置가 石綿의 發生

源과 동일하기 때문인 것으로 보이며 精紡工程 勤勞者의 暴露水準이 全體 工程中 가장 높았다. 특히 이 工程은 局所排氣施設이나 隔離, 밀폐 等の 粉塵관리 對策을 세우기 어려워 대 부분의 工場에서 이에 대한 對策을 세우지 못하고 있었다. D工場과 E工場에서는 精紡機와 撚絲機의 중앙에 排氣管을 설치하고 石綿發生源의 앞쪽에 덮개를 씌워 勤勞者에게 石綿이 飛散되는 것을 遮斷하도록 局所排氣施設을 設置하고 있었으나 D工場의 精紡과 撚絲工程에서 勤勞者의 暴露濃도가 1.8개/cc와 2.2개/cc로 石綿發生源에서의 평균농도인 1.1개/cc보다 높게 나타났으며 E工場에서는 8.5개/cc와 8.3개/cc로 石綿發生源에서의 평균농도인 4.4개/cc보다 훨씬 높아 이들 工場에 設置되어 있는 局所排氣施設의 效率이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 이들 工程에 대한 石綿暴露對策이 研究되어야 함을 알 수 있다.

織布에 사용될 石綿絲를 감는 工程에서는 粉塵의 發生源에서 2.5개/cc이었으나 勤勞者의 暴露水準이 3.0개/cc로 오히려 높았는데 이는 이 工程이 대개 作業場의 中央에 위치하고 있어서 他 工程에서 發生된 多量의 粉塵이 飛散되어 왔거나 2次粉塵의 發生 等으로 인하여 실감기공정 자체에서 발생된 粉塵보다 많은 量의 粉塵에 暴露된 것으로 생각된다. 이와 같은 結果를 볼 때 粉塵의 發生이 많은 工程은 隔離시키고, 2次粉塵의 發生을 없애기 위해 수시로 眞空清掃器를 利用하여 沈降粉塵을 除去하는 것이 必須的임을 알 수 있다.

織布工程(weaving process)은 石綿絲를 利用하여 천이나 테이프를 組織하는 工程으로 粉塵의 發生源에서 측정 한 濃도는 5.0개/cc, 勤勞者의 暴露水準은 5.3개/cc로 나타났다. 이것은 作業工程上 單位作業場所試料를 勤勞者의 作業位置보다 뒤쪽에서 捕集하였으며, 勤勞者는 粉塵發生源인 織布機 앞에서만 作業을

Table 6. Airborne Asbestos Fiber Concentrations by Efficiency of Installed Local Exhaust Systems in Asbestos Textile Industry

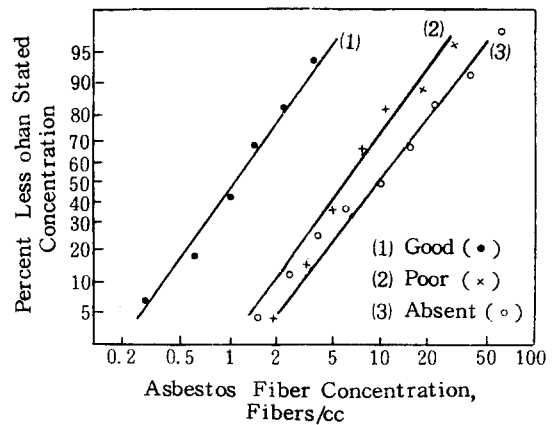
Efficiency of local exhaust systems	Personal sample				Area sample			
	Number of samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD	Number of Samples	GM fibers/cc	84th Percentile fibers/cc	GSD
Good	8	1.5	3.1	2.07	8	1.2	2.8	2.33
Poor	12	5.2	10.4	2.00	13	6.8	15.3	2.25
Absent	21	6.3	12.2	1.94	24	8.9	26.3	2.96

해야 하기 때문에 나타난 결과라고 생각된다. 織布工程도 粉塵發生源이 勤勞者의 呼吸位置와 동일하기 때문에 效率인 局所排氣施設을 設置하기 어려운 工程이다. 따라서 이 工程의 局所排氣施設에 대해서도 더 研究되어야 할 것이나 勤勞者의 作業部分만을 除外하고 직포기 전체를 밀폐하는 局所排氣施設을 설치하여 勤勞者가 作業하는 部分에 陰(-)의 靜壓이 作用하도록 하면 石綿暴露를 크게 減少시킬 수 있을 것이며 특히 勤勞者의 呼吸位置와 石綿發生源 사이를 투명한 物質로 遮斷하면 더욱 效率인 對策이 될 것이다.

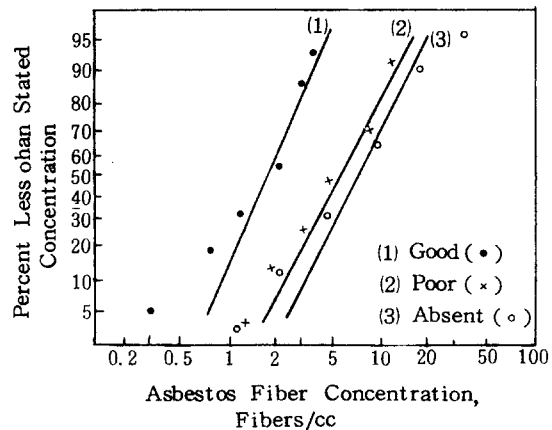
## 2. 石綿紡織工場에 設置되어 있는 局所排氣裝置의 效率

勤勞者의 石綿暴露에 대한 豫防對策으로는 換氣施設이 가장 중요하기 때문에 本 調査에서는 各 工場에 設置되어 있는 局所排氣施設을 점검하였으며 주로 후드위치, 후드형태 그리고 排氣管의 연결상태 등을 관찰하고 良好한 것 (good)과 不良한 것 (poor)으로 區分 하였으며 各 工場의 局所排氣裝置에서 이러한 差異를 뚜렷하게 구분할 수 있었다.

Table 6과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 局所排氣施設이 良好한 경우 勤勞者의 暴露濃度가 1.5개/cc였고 不良한 경우에는 5.2개/cc로서 良好한 施設이 設置된 곳보다 약 4배가 높은 수준이었다. 局所排氣施設이 설치



(A) Area Sample



(B) Personal Sample

Fig. 4. Airborne Asbestos Fiber Concentrations by Efficiency of Local Exhaust Systems in Asbestos Textile Industry.

되지 않은 경우에는 6.3개/cc로서 가장 높았으나 施設이 不良한 경우의 5.2개/cc와 별다른 차이를 보이지 않았다. 따라서 局所排氣施設이 설치되어 있더라도 施設이 不良하면 石綿暴露에 대한 豫防效果가 거의 없는 것으로 나타났다. 局所排氣施設이 不良한 경우와 施設이 없는 곳은 粉塵의 發生정도나 勤勞者의 暴露水準이 모두 높은 경향을 보이지만 良好한 施設이 설치되어 있는 곳은 粉塵의 發生이나 暴露水準이 훨씬 減少하는 경향을 보여준다. 따라서 良好한 局所排氣施設을 設置하고 效率的으로 管理가 이루어진다면 勤勞者의 石綿暴露에 대한 豫防이 가능한 것으로 보인다.

한편 각 工場에 설치되어 있는 局所排氣施設이 外觀上 良好하고 실제 石綿暴露를 減少시키기 위한 노력을 하였다고 보여지는 경우는 全體의 약 20%에 不過하였으며 石綿暴露量을 減少시키는 效果가 거의 없고 형식적인 施設이라 여겨지는 것이 60% 이상이었다. 이와 같이 대부분 局所排氣施設의 效率이 낮고 형식적인 시설을 設置하고 있는 것은 産業安全保健法 施行規則 제 394조 제 4항의<sup>15)</sup> “사업주는 특정제 2류물질 또는 관리 제 2류물질의 가스, 증기 또는 분진이 발산되는 옥내 작업장에는 당해 가스, 증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하여야 한다” 는 의무규정에 의한 것으로 보인다. 한편 석면은 同法 施行規則 제 39조 제 4호에서 제 2류 특정화학물질로 分類되어 있다. 또한 同法 施行規則 제 395조에 국소배기장치의 설치시 준수사항을 다음과 같이 명시하고 있다.

1) 후드는 제 1류물질 또는 제 2류물질의 가스, 증기 또는 분진의 발산원에 근접하여 설치하고 외부식 또는 레시버식 후드는 당해 발산원에 최대한 근접한 위치에 설치할 것.

2) 닥트는 길이가 짧고 굴곡부의 수가 적어야 하며 용이하게 할 수 있는 구조로 할 것.

3) 배출구는 옥외에 설치할 것.

그러나 이와 같은 국소배기장치의 요건에 관한 規定은 제 393조와 제 394조 제 3항의 規定에 해당하는 국소배기장치만으로 그 범위를 명시하고 있어 제 394조 제 4항의 規定에 해당하는 국소배기장치의 경우는 설치시 준수사항조차 없으며 위의 規定도 제 1호와 제 2호가 具體的 基準이 아니라 일반적 規定에 불과하기 때문에 法的 實効性을 가지기 어려울 것으로 보인다.

勤勞者의 健康을 保護하기 위한 有害作業環境의 改善이 강력한 정부의 施策과 法的 強制規定에 의해 實効를 거두기 시작한 外國의 先例에 비추어 보거나<sup>16)</sup> 그 동안 經濟成長에만 치중했던 우리나라의 成長우선정책과 이로 인해 파생되었던 사회의 제 문제를 효율적으로 해결하지 못하고 있는 현실을 놓고 볼 때 산업 안전보건법은 매우 큰 의의를 지니고 있는 바, 이 法의 各 規定은 실제로 效果를 발휘할 수 있도록 具體的이어야 할 것이다. 특히 석면폭로에 대한 1次的 豫防對策이 局所排氣裝置에 의한 換氣施設이므로 석면취급사업장의 국소배기시설에 대한 엄격하고 구체적인 시설기준을 마련하는 것이 바람직할 것이다.

그 밖에 석면방직공장의 국소배기장치에 관한 문제점은 다음과 같다.

첫째, 석면분진을 제거하기 위한 局所排氣裝置에는 空氣力學的 直徑(aerodynamic diameter)이  $0.3\mu\text{m}$ 인 粉塵을 99.97% 이상 제거할 수 있는 HEPA(high efficiency particulate air) 濾過材를 使用하여 完全히 깨끗해진 공기를 排出해야 하나<sup>17)</sup> HEPA 濾過材를 사용하고 있는 공장은 한 곳도 없었다.

둘째, 석면취급사업장의 국소배기장치에서 여과된 空氣는 作業場內로 再循環(recirculation)되지 않도록 권장하고 있으나 調査工場中 두 곳에서 국소배기장치의 濾過材(bag filter)

를 통해 여과된 空氣를 다시 作業場內로 再循環시키고 있었다.

셋째, 국소배기장치를 설치함으로써 勤勞者의 石綿暴露를 增加시키는 경우가 있었다. 이것은 開綿·混綿工程과 織布工程에서 Fig. 5에서 보는 바와 같이 勤勞者의 作業位置위에 천개형 후드(canopy hood)를 설치하여 石綿粉塵이 發生源에서 勤勞者의 呼吸位置를 통과하므로 오히려 근로자의 석면폭로를 增加시키는 逆效果를 나타냈다.

### 3. 石綿의 許容基準과 比較

産業場에서의 石綿粉塵暴露에 따른 石綿聯關性 疾病이 알려지기 시작하면서 各國 政府에서는 석면분진 暴露를 制限하기 위한 規制조치와 作業장내 空氣中 石綿의 許容濃度를 설

정하기 시작하였는데, 作業場에서의 石綿에 대한 최초의 規制조치는 영국의 Mereweather와 Price의 석면방직공장에서 실시된 疫學調查결과를 근거로 이루어졌으며 1931년 영국 공장법(UK Factory and Workshops Act)에 석면사업장에 대한 規制條項을 명시한 것이 효시를 이룬다. 1933년부터 효력을 발생한 이 規制條項은 석면폭로에 대해 數値로써 제한하지는 않았으나 事業場內 여러지점에 局所排氣裝置를 設置할 것을 의무화 하였다.<sup>18)</sup>

作業環境內 石綿의 許容基準은 1938년 미국공중보건국(U.S. Public Health Service)에 의해 수행된 石綿暴露와 石綿肺의 임상적 症狀과의 疫學的 調査를 근거로 하여 미국 대부분의 州와 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Ind-

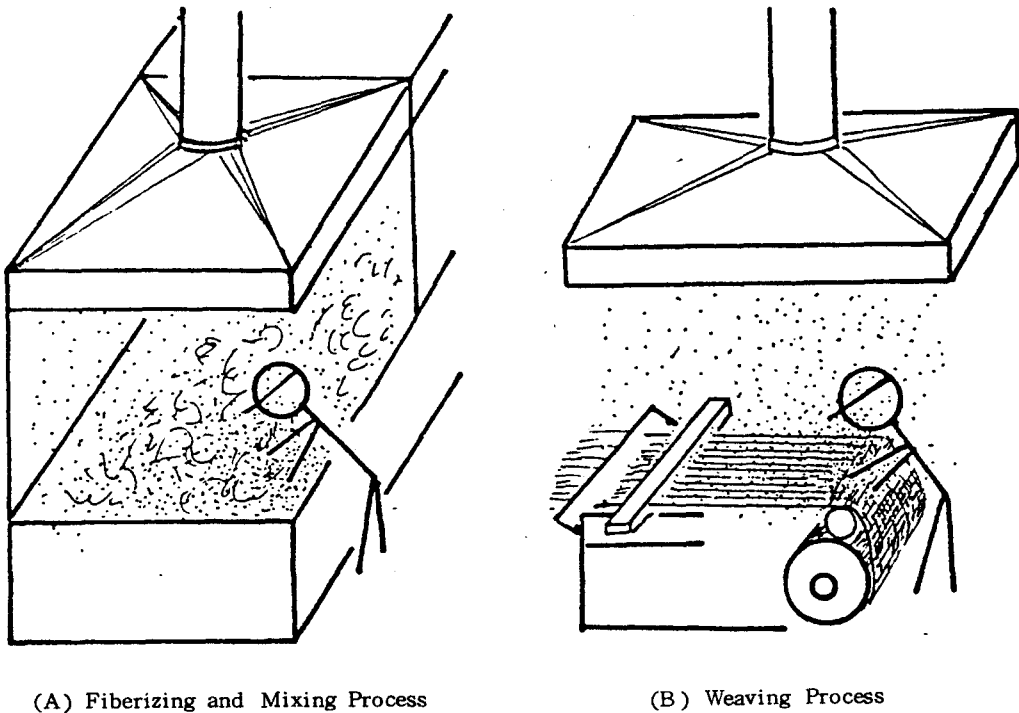


Fig. 5. Examples of Poorly Designed Local Exhaust Systems.

ustrial Hygienists, ACGIH)에 의하여 최초로 5 mppcf (million particles per cubic foot) 를 설정하였으며, 1968년에는 미국정 부산업위생전문가협회에서 2 mppcf 또는 12 개/cc로 낮추었다.<sup>19)</sup>

한편 1968년 영국산업위생학회(British Occupational Hygiene Society, BOHS) 에서는 石綿肺의 有病率이 1%以下가 될 石綿 粉塵의 누적폭로량이 100개-一年/cc가 된다는 疫學調査 結果를 근거로 50年の暴露期間을 考 定하여 空氣中 石綿許容濃度를 2개/cc로 설정 하였다.<sup>20)</sup>

미국에서는 法的 許容基準으로 1970년 12 개/cc를 임시허용기준으로 설정한 後, 1971 년에는 5개/cc를 임시비상기준(temporary emergency standard)으로 하는 등 시급히 대책을 강구하기 시작하였다. 이 기준은 1976 年 “石綿肺를 豫防하고 石綿聯關性 기관지 癌을 보호하는 적절한 조치”로써 2개/cc로 強化되었다.

영국에서는 保健安全部(Health and Safety Executive) 석면자문위원회(Advisory Committee on Asbestos)의 권장에 의하여 溫石綿(chrysotile), 黃石綿(amosite), 靑石綿(crocidolite)에 대해 각각 1개/cc, 0.5 개/cc, 0.2개/cc를 공학적 관리대책으로 적 절한 허용한계치라 하여 채택하였으며, 1983 年 1월 1일부터 法的 효력을 발생하고 있다.

現在 美國의 法的 許容基準(Permissible Exposure Limit, PEL)은 1986년 7월부터 더욱 強化되어 모든 석면에 대해 0.2개/cc이며 더욱 철저한 석면폭로예방을 위해 0.1개/ cc를 ‘Action Level’로 규정하고 있다.<sup>17)</sup> ‘Action Level’이란 하루의 時間加重平均值 (time-weighted average, TWA)를 측정할 結果로써 측정하지 못한 다른 날에도 95% 신 뢰도로 0.2개/cc를 초과하지 않을 것이라고

판단할 수 있는 水準을 뜻하며, 法的 許容值 (PEL)의 50% 값이다. 만약 法的 許容值 를 초과하지 않더라도 ‘Action Level’을 초 과하게 되면 每 2個月마다 적어도 1回以上 作業環境을 測定해야 하며 2回 연속하며 ‘Ac tion Level’以下가 될 때까지 엄격한 정부 의 감시를 받게 된다.<sup>17)</sup>

우리나라에서는 産業安全保健法 제 18조의 규정과 관련하여 勞動部告示 제 86-45호를 통 해 作業環境中 石綿粉塵에 대한 許容濃度를 설정하여 1986년 4월 1일부터 施行하고 있 다.<sup>21)</sup> 우리나라의 法的 許容基準은 미국정부 산업위생전문가협회에서 권장하고 있는<sup>22)</sup> 바 와같이 溫石綿 2개/cc, 黃石綿 0.5개/cc, 靑石綿 0.2개/cc 그리고 기타 형태 2개/cc로 되 어 있다.

本 調査結果 Table 4에서 보는 바와 같이 석 면방직업의 경우 1개 공장을 제외한 6개 공장 에서 평균치가 2개/cc를 초과하고 있어 우리 나라의 法的 許容基準보다 높게 나타났으며 평 균적으로 許容值의 2倍以上 높은 수준이었으 며 最高 7배나 높게 나타났다. 석면슬레이트 제조업에서는 모두 2개/cc以下로 우리나라 許容基準보다 낮았다.

그러나 우리나라에서 설정한 2개/cc의 허 용기준이 석면으로 인한 질병을 예방할 수 있 는 적절한 보호조치라고 보기는 어렵다. 現在 美國에서 法的 許容基準을 0.2개/cc로 강화 하고 있으며 가능한 한 0.1개/cc이하의 폭로 수준으로 낮추려는 노력을 하고 있고, 이미 1979년 미국산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 석면의 허용농도를 0.1개/cc를 권장한 바 있다. 우리나라에서도 근 로자의 健康을 보호하려는 조치로서 석면의 농 도를 0.1개/cc以下가 되도록 努力하여야 할 것이다.

本 調査에서 測定된 모든 工場의 勤勞者 暴露水準이 0.2개/cc를 초과하고 있었으므로 우리나라에서의 石綿粉塵暴露를 豫防하기 위한 對策을 세우는 일이 시급히 요청되며 現在 石綿을 取扱하는 근로자는 반드시 個人保護具인 石綿用防塵마스크를 着用하여야 할 것이다.

#### IV. 結 論

1. 석면방직사업장에서는 근로자의 석면폭로농도가 4.4개/cc로 우리나라의 法的 許容基準인 2개/cc를 2배이상 초과하고 미국 정부의 허용기준치인 0.2개/cc를 20배 이상 초과하는 것으로 나타났다.

2. 석면슬레이트 제조사업장은 습식작업을 하고 있어 0.21개/cc로 비교적 낮은 폭로수준이었다.

3. 현재 석면방직사업장에 설치되어 있는 局所排氣裝置는 대부분 不適合하였으며 후드의 위치, 형태 그리고 배기관의 연결상태가 비교적 良好한 시설은 전체 조사대상의 약 20%에 不過하였다.

4. 총 145개 試料中 96%가 미국의 법적허용기준인 0.2개/cc를 초과하였으며 49%가 우리나라의 허용기준인 2개/cc를 초과하였다.

#### 參考文獻

1. Becklake, M.R. Asbestos-Related Diseases of the Lungs and Other Organs: Their Epidemiology and Implications for Clinical Practice, Am. Rev. Respir. Dis., 114: 187-227, 1976.
2. 오세민. 석면취급현황, 勞動科學, 1987 가을호, 國立勞動科學研究所, 노동부, 1987.
3. 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, 1984.
4. Breslin, A.J., L. Ong, H. Glauberman, A.C. George, P. LeClare. The Accuracy of Dust Exposure Estimates Obtained from Conventional Air Sampling, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 28: 56-61, 1967.
5. Jones, A.R., R.S. Brief. Evaluating Benzene Exposures, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 32: 610-613, 1971.
6. Sherwood, R.J. On the Interpretation of Air Sampling for Radioactive Particles, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 27: 98-109, 1966.
7. Leidel, N.A., K.A. Busch, J.R. Lynch. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual, DHEW (NIOSH) Publication No. 77-173, Cincinnati, OH, 1977.
8. Saltzman, B.E. Simplified Methods for Statistical Interpretation of Monitoring Data, Air Poll. Control Assoc. J., 22: 90-95, 1972.
9. Paik, N.W., R.J. Walcott, P.A. Brogan. Worker Exposure to Asbestos During Removal of Sprayed Material and Renovation Activity in Buildings Containing Sprayed Material, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 44: 428-432, 1983.
10. Leidel, N.A., K.A. Busch. Statistical Design and Data Analysis Requirements, Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vol. III(A), 2nd Edition, 395-508, 1985.
11. Soule, R.D. Industrial Hygiene Sampling and Analysis, Patty's Industrial Hygiene

- and Toxicology, Vol. I, 3rd Edition, 707-770, 1978.
12. Acheson, E.D., M.J. Gardener. Dose-Response Relationships in Asbestos, Final Report of the Advisory Committee, Vol. I, Health and Safety Commission, London, Her Majesty's Office, 47-66, 1979.
  13. Rajhans, G.S., G.M. Bragg. Engineering Aspects of Asbestos Dust Control, Ann Arbor Science Publishers Inc., 31-36, 1978.
  14. Stanley, A.R. Sampling Air for Particulates, the Industrial Environment - its Evaluation & Control, NIOSH, Publication, Cincinnati, OH, 1974.
  15. 노동부. 産業安全保健法, 노동부, 1984.
  16. 許程. 西洋保健史, 신광출판사, 133-198, 1984.
  17. U.S. Department of Labor, 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.
  18. Meek, M.E., H.S. Shannon, P. Toft. Case Study - Asbestos, Toxicological Risk Assessment, Vol. III, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 121-166, 1985.
  19. Enterline, P.E. Epidemiological Basis for the Asbestos Standard, presented at the 2nd Ann. Symp. Environmental Epidemiology, Pittsburg, 1981.
  20. British Occupational Hygiene Society Committee on Hygiene Standards. Hygiene Standards for Chrysotile Asbestos Dust, Ann, Occup, Hyg., 11, 47, 1968.
  21. 노동부. 유해물질의 허용농도, 작업환경관계자료, 노동부고시 제 86-45 호, 노동부, 1986.
  22. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs<sup>®</sup> Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1987-1988, ACGIH, Cincinnati, OH, 1987.