

석면방직업 근로자의 석면노출 실태와 과거농도 추정에 관한 연구

서울대학교 보건대학원

박정임 · 윤충식 · 백남원

— Abstract —

A Study on Exposure Among Asbestos Textile Workers and Estimation of their Historical Exposures

Jeong Im Park, Chung Sik Yoon, Nam Won Paik

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

From July 8 to September 2 1994, asbestos exposure level among asbestos textile workers was surveyed. Six plants out of plants in Korea were selected for this study. In addition to the exposure level, the relationship between the level of exposure and some factors affecting exposure were studied. Also, using historical data of asbestos concentrations in asbestos textile plants plus current data, trend of asbestos exposure level could be introduced. Historical exposure level was estimated on the basis of these data.

The main results of this study are follows.

1. Average concentration of all six plants surveyed was 1.54 f/cc, and range of those concentrations was 0.03 - 11.58 f/cc. The minimum average concentration was 0.32 f/cc and the maximum was 8.04 f/cc which is four times higher than the Korean standard. A wide difference of exposure level among the workers of different plants was observed. In three plants, the half of all the plants surveyed, their average concentrations exceeded the Korean standard, and those in all the plants exceeded the ACGIH TLV.

2. Among total 56 samples, 22 samples(39%) were in excess of the Korean standard, and 53 samples(95%) were above the ACGIH TLV. Among 32 personal samples, 15 samples(47%) exceeded the Korean standard, and 30 samples(94%) exceeded the ACGIH TLV. Among 24 area samples excluding a few samples collected in office area, seven samples exceeded the Korean standard, and 23 samples(96%) exceeded the ACGIH TLV.

3. Distributions of concentrations were observed by processes. In weaving, the highest, average concentration was 4.29 f/cc, and range was 2.61 - 11.58 f/cc. In spinning, average concentration was

※ 이 논문은 1994년도 노동부의 직업병 예방을 위한 학술연구 용역사업의 일환으로 연구되었음.

2.22 f/cc, and range was 0.41 - 8.93 f/cc. In carding, average concentration was 1.98 f/cc, and range was 0.23 - 10.93 f/cc. In twisting, average concentration was 1.65 f/cc, and range was 0.21 - 9.83 f/cc. In mixing, the lowest, average concentration was 0.48 f/cc, and range was 0.22 - 1.20 f/cc.

4. All the samples from basic processes of asbestos textile plants were above the ACGIH TLV. Nineteen samples(45%) out of all these 42 samples exceeded Korean standard. Fourteen samples(58%) of total 24 personal samples, and five samples(28%) of total 18 area samples exceeded the Korean standard. Considering processes, all the samples in weaving process exceeded the Korean standard and so did 54% of those in spinning, 40% in carding, and 27% in twisting.

5. Trend of decreasing asbestos concentrations in asbestos textile plants was observed by time.

6. Asbestos concentrations in asbestos textile plant in 1975 were estimated to be 11.0 - 92.4 f/cc.

Key Words : Asbestos textile industry, Exposure level, By plant, By process, Historical exposure, Estimation

서 론

석면은 불연성, 내마모성, 내산성, 내알칼리성, 절연성이 뛰어난 뿐만 아니라 값이 싸서 여러가지 용도로 쓰이고 있다. 슬레이트, 천정재, 벽면재, 보온단열재 등 건축용 자재의 원료, 브레이크라이닝, 클러치페이싱 등 자동차 부품 중 마찰을 심하게 받는 부품에 원료로 사용된다. 또한 석면방직제품은 실이나 테이프, 또는 직포의 형태로 기관이나 배관의 보온단열재로 주로 사용되고 있다. 석면으로 인한 건강상 장애로는 석면폐증(Asbestosis), 폐암(Lung cancer), 중피종(Mesothelioma)이 대표적이며, 최근에는 장관계 암과 후두암, 원형무기폐, 흉수나 흉막염까지 일으킨다는 보고가 있어 선진국에서는 이미 규제대상이거나 사용이 금지되어 있다. 현재 우리나라 노동부의 석면허용기준은 백석면(Chrysotile) 2 개/cc, 갈석면(Amosite) 0.5 개/cc, 청석면(Crocidolite) 0.2 개/cc이며(노동부, 1991), 특별한 관리가 필요한 "특정화학물질"로 규정하고 있어 사용허가를 받아야 사용할 수 있다. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)는 석면의 종류에 관계없이 0.2 개/cc를 허용기준으로 권고하고 있으며 사람에게 암을 일으키는 것으로 확인된 물질, A1으로 규정하고 있다 (ACGIH, 1994).

석면을 취급하는 업종 중에서 석면방직업의 석면 노출실태는 다른 업종과 비교하여 매우 심각한 것으로 보고되어 왔다(박두용, 1988). 대부분의 석면방

직 사업장은 30인 이하의 소규모로 규모가 큰 사업장에 비해 작업환경관리에 상대적으로 소홀한 실정이고(오세민 등, 1993), 또한 분진발생 억제에 효과가 큰 것으로 알려진 습식방법(Paik 등, 1983)의 적용이 기술적인 제약으로 곤란하다. 1987년 박 등에 의하면 석면슬레이트 제조사업장의 평균 노출농도는 0.21 개/cc로 허용기준을 훨씬 밑도는데 반해 석면방직 사업장은 4.4 개/cc로 허용기준을 2배 이상 초과하고 있는 것으로 나타났다(박두용, 1988). 또한 1993년 오 등의 보고에 의하면 석면방직 사업장의 평균 노출농도가 1.42 개/cc로 다른 업종에 비하여 높은 수준을 나타냈다(오세민 등, 1993).

우리나라에서 석면을 사용하여 슬레이트를 생산한 것은 이미 60년 이상이나 되었고, 석면방직업은 1969년 처음 시작된 이래 20년이 넘었으며, 브레이크라이닝 제조업은 1970년대 중반부터 시작되었다. 특히 1970년대와 80년대, 석면의 유해성이 일반에게 널리 알려지기 전부터 석면사용량이 매우 많았으므로 석면을 사용하는 제조업에 종사하는 근로자들의 폭로가 심각했을 것으로 짐작할 수 있다. 석면으로 인한 건강상의 장애는 보통 잠복기가 20년 이상이므로 우리나라는 이미 석면으로 인한 직업병이 발생했거나 앞으로 발생할 가능성이 높다. 따라서 우리나라 석면취급사업장의 작업환경 개선방안과 함께 석면취급 근로자의 과거로부터 현재까지의 폭로실태 조사와 이를 토대로 한 역학조사의 필요성이 대두되고 있다.

우리나라에서 석면취급사업장의 실태가 조사된 것은 1984년 노동부 국립노동과학연구소(한국산업안전

공단 산업보건연구원의 전신)에서 석면 슬레이트제조 사업장과 브레이크라이닝 사업장, 석면방직사업장에 대하여 조사한 것이 최초이다(국립노동과학연구소, 1984). 이것은 측정방법이나 분석방법이 현재 사용하고 있는 방법, NIOSH 공정시험법 7400 방법과는 다른 방법으로 행해졌으며 현재 사용하고 있는 방법을 적용하여 조사한 것은 1987년에 서울대학교 보건대학원과 국립노동과학연구소가 공동으로 석면 슬레이트제조 사업장과 석면방직사업장에 대하여 조사한 것이 최초이다. 이 조사 이후 석면에 대한 사회적인 관심이 높아지고 석면의 유해성이 널리 알려지면서 석면사업장의 작업환경측정과 관리가 이루어지기 시작하였다. 1989년과 1992년에 산업보건연구원에 의해 전국의 석면사업장의 석면사용 실태와 작업환경 중 석면농도, 작업환경관리 실태조사 등이 이루어졌으며 이에 대한 개선방안 등이 제시되었다(오세민 등, 1993).

본 연구의 목적은

- 1) 석면방직업 근로자의 작업 중 석면노출실태를 사업장별, 작업공정별로 파악하고, 노출수준에 영향을 미치는 요인들을 구명하고,
- 2) 석면방직사업장의 과거 석면노출농도에 관한 자료를 정리하여 노출수준의 변화를 알아보고,
- 3) 현재 노출농도와 사업장의 기록을 토대로 산업위생학적인 기법을 이용하여 과거의 노출수준을 추정하는 데 있다.

대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 1994년 7월 8일부터 9월 2일까지, 노동부에 허가된 9개 석면 방직사업장 중 조업중인 7개 사업장 중에서 6개 사업장을 대상으로 실시하였다. 이들 사업장은 석면을 주원료로 하여 개면/혼면, 소면, 정방, 연사, 직조, 편조 등의 공정을 거쳐 석면포, 석면사, 석면로프 등을 생산하며 모든 공장에서 석면분진이 발생하고 있었다.

2. 연구방법

1) 시료 채취

시료의 채취와 분석은 NIOSH(National Insti-

tute for Occupational Safety and Health) 공정시험법 7400 방법에 따라 진행하였다(NOISH, 1984).

산업위생전문가의 판단에 따라 각 공정의 노출수준을 대표할 수 있는 근로자를 적절히 선정하였다. 시료를 포집하기 전에 해당 근로자에게 작업환경측정과 개인시료포집의 의의를 설명하여 협조를 구하였다. 근로자의 호흡기 위치에서 공기중 석면을 포집하기 위하여 근로자가 작업을 하는 동안 개인시료포집기(HFS, Gillian, USA)와 홀더(Holder, three piece Cassette)를 근로자의 몸에 부착시켰다.

공기중 석면을 포집하기 위하여 직경 37mm, pore size 0.8µm의 막여과지를 사용하였다. 시료를 포집하는 동안 Cassette 주위로 공기가 새지 않도록 테이프로 잘 감쌌다.

현장에서 시료를 포집하는 것과 동일한 구성으로 비누거품법으로 펌프의 유량을 약 2 Lpm 정도로 정확히 보정하였고, 시료 포집 전후에 구한 값을 평균하여 사용하였다. Cassette의 입구면은 Open face로 하여 아래를 향하게 하였고 시료를 포집하는 동안 주기적으로 펌프의 유량과 Cassette의 위치 등을 점검하였고, 근로자의 작업내용 등을 관찰하여 기록하였다. 시료포집은 점심시간과 휴식시간을 제외한 전 작업시간 동안 이루어지도록 하였으며, 분진발생원과 환경 중의 바탕농도를 알아보기 위하여 장소시료(area sample)를 공정별로 취하였다.

여과지에 석면섬유가 과잉포집(overload)되지 않도록 사업장의 농도수준에 따라 시료채취시간을 조정하였다. 또한 현장 공시료(field blank)를 각 공장마다 2개 이상씩 취하였다. 시료를 채취한 Cassette를 다시 잘 싼 후에 흔들림이 적도록 조심하여 운반하였다.

각 공장별 시료수는 다음 표 1과 같다.

Table 1. The Number of Samples by Plant

	Plant A	B	C	D	E	F	Total Sample
Personal	7	9	5	6	2	3	32
Area	7	8	5	3	5	2	30
Total	14	17	10	9	7	5	62

2) 시료 분석

Cassette에서 조심스럽게 꺼낸 여과지를 acetone/triacetin법으로 투명화 시킨 후, 위상차현미경(Olympus, BH-2, Japan)에 Walton-Beckett graticule을 삽입시켜 400배 배율에서 석면섬유를 NIOSH 공정시험법 7400 방법의 "A" rule에 따라 계수하였다. 각 사업장의 시료농도는 현장 공시료로 보정하였다.

3) 국소배기시설 평가

각 사업장의 공정별 국소배기시설의 형태와 위치를 조사하고, 발원판으로 기류의 방향을 확인한 후, Velometer(ALNOR, USA)를 이용하여 후드의 제어속도를 측정하였다. 국소배기시설이 없는 공정이나 작동되지 않는 공정, 국소배기시설 설치 구조상 측정이 불가능한 사업장은 측정에서 제외시켰다.

4) 면접조사

각 사업장의 설립연도, 근로자 수, 월 석면사용량, 공장가동률, 사업장의 과거 기록, 청소상태 및 방법, 보호구 지급과 착용, 작업복 세탁방식, 탈의실, 목욕시설, 작업장 안에서의 음식물 섭취 여부, 전체환기와 국소배기시설 설치 연도와 내용 등을 관찰하고 관리자와 면접하여 조사하였다. 과거 작업방식과 작업환경에 관한 내용은 실제 해당 직종에서 오랜 기간 일한 근로자들과 면접하여 조사하였다.

5) 과거 농도 추정

작업장의 유해물질 농도에 영향을 미칠 수 있는 변수들의 기여정도를 적절한 방법으로 선정하여 결정론적 수학적 모형(Deterministic Mathematical Model) (Rong 등, 1990)에 적용하였다.

결정론적 수학적 모형은 과거노출 수준을 정량적으로 추정하기 위한 방법으로 시간에 따른 평균 농도 사이의 관계와 노출에 영향을 미치는 인자 사이의 관계를 설명하는 것이다. 이 모형에서는 농도변화에 원인이 되는 인자를 step function으로 적용한다. 일정한 작업장이나 직무에서의 평균 노출은 노출변화변수(exposure-modifying variables)에 의해 영향을 받기 때문에 변수의 변화가 없을 때 시간에 따른 농도 변화도 없다. 따라서 이 모형을 적용할 때의 가정은 ① "순차적인 시간에 따른 농도의 변화는 어떤 원인이 존재한다"는 것과 ② 사업장에 무작

위로 존재하는 변수들은 농도변화에 그리 큰 영향을 미치지 않을 것이라는 것이다.

위의 가정에 따라 과거농도 추정모형(historical exposure modeling)의 기본식은

$$E_i = f_i E_{i-1} + g_i \quad \text{-----} (1)$$

이다. 여기서 i 는 현재 시기를 나타내므로 E_{i-1} 는 현재 노출 농도인 E_i 직전의 노출을 나타내고, f_i 와 g_i 는 노출변화변수에 의해 야기된 변화의 정도를 나타낸다. 식 (1)에서 E_i 와 E_{i-1} 는 f_i 와 g_i 의 함수로 나타내지며 여기서 random factors는 고려하지 않는다. f_i 는 농도변화에 비례적으로 영향을 끼치는 변수의 효과이다.

예를 들어 한 변수의 도입으로 평균 농도에 변화가 비례적으로 영향을 받았다면 식 (1)에 그 변수의 기여도(multiplier) f_i 를 고려하고 만약 영향을 미치지 않은 것으로 판단되면 $f_i = 1$ 을 적용한다.

g_i 는 농도를 증가시키느냐 마느냐의 선택의 문제로 새로운 공정이 도입되는 경우 유용하게 적용할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 대상 석면방직 사업장의 특성

1) 석면방직업의 일반 현황

연구대상 석면방직 사업장은 표 2에서 보는 바와 같이 대부분 20인 이하의 소규모로 공장가동율이 50%를 넘지 못하고 있다. 대상 사업장 중 조사 당일 모든 공정을 가동하고 있는 곳은 한 곳도 없었으며 경우에 따라서는 하루에 한 공정만을 가동하기도 하였다. 방직산업 자체가 부가가치가 낮을 뿐만 아니라 최근에는 중국에서 석면방직 제품이 싼 값으로 대량 수입되고 있기 때문에 현재 우리나라에서 석면방직사업은 시설이나 환경 개선에 투자할 동기를 부여받지 못하고 있다. 따라서 사업장의 규모나 근로자 수에 있어 영세성을 벗어나지 못하고 있는 실정이며 일부 사업장은 업종전환을 계획하고 있고 부분적으로는 이미 전환한 상태이다. 또한 1987년 이후 석면의 유해성이 널리 인식되고 근로자들의 건강에 대한 의식이 높아지면서 석면을 사용하는 업종에 대한 관리가 엄격해지자 상당부분은 음성적인 가내수공업 형태로 이전된 것으로 알려지고 있다. 연구대

Table 2. General Characteristics of Asbestos Textile Plants Surveyed

Plants	A	B	C	D	E	F
Characteristics						
Amount used(ton/month)	20	15 - 16	8	4 - 5	1.3	3
Asbestos Workers /Total Workers	37/126	20/23	8/9	6/7	18/19	3/4
Main Product	Yarn Rope Cloth	Cloth Tape	Cloth Tape	Cloth Tape	Cloth Sheet Packing	Packing Rope
Production Rate(%)	30	50	50	70	30	30
Running Machines/Machines on hand						
Mixing	2 / 4	1 / 1	0 / 1	0 / 1	0 / 1	-
Carding	1 / 5	2 / 5	1 / 2	1 / 1	0 / 1	-
Spinning	1 / 5	2 / 4	2 / 2	1 / 2	1 / 2	-
Twisting	1 / 4	4 / 8	1 / 3	1 / 2	1 / 3	-
Weaving	0 / 4	2 / 4	1 / 4	1 / 4	0 / 2	1 / 3
Year Built	1982	1975	1987	1989	1986	1989

상 사업장은 노동부에 석면사용 허가업체로 등록된 사업장 중에서 선정된 것으로 우리나라 석면방직업 중에서 작업환경 관리가 어느 정도는 이루어지고 있는 사업장이다. 등록되지 않은 사업장에 대해서는 전혀 그 실태를 조사할 수 없으나 현재 등록된 사업장의 수준과 비교하여 더욱 열악할 것으로 짐작할 수 있다. 연구대상 사업장의 일반 현황은 다음 표 2와 같다.

사용하고 있는 석면의 종류는 사업장에 관계없이 모두 백석면(Chrysotile)이며, 방직제품 중 석면의 함유율은 65 - 100 %이다. 석면은 석면섬유의 길이에 따라 등급이 나뉘는데, 방직에 적합한 석면은 다른 제품에 비해 길이가 긴 #1 - #3으로 조사 당시 대부분 #3 석면을 사용하고 있었다.

2) 대상 사업장의 작업조건

국소배기시설을 설치하거나 시설의 격리, 기계의 설계 변경, 원료물질의 대체, 공정의 변화 등 분진발생원을 관리하는 것이 가장 효과적으로 석면노출농도를 줄일 수 있는 방법이다. 그러나 우리나라 석면방직업의 규모나 실태에서 실행이 가능한 것은 매우 제한적일 수 밖에 없다. 현 상황에서 손쉽게 그리고 효율적으로 석면분진에 노출되는 것을 줄일 수 있는

방법은 기계와 작업장 바닥을 깨끗이 유지하는 것, 보호구를 철저히 착용하는 것, 근로자의 작업위치가 되도록이면 발생원과 멀리 있을 것, 작업습관 개선 등이 있다. 연구대상 사업장의 대부분은 보건교육이 제대로 실시되고 있지 않아 근로자들은 석면의 유해성을 잘 모르거나 알고 있더라도 자신의 문제로 심각하게 받아들이지는 못하고 있었다.

석면 사업장은 진공청소기를 사용하여 자주 청소함으로써 석면분진의 재비산을 줄이도록 하는 것이 바람직하다. 연구대상 사업장 중 A 사업장과 B 사업장 만이 진공청소기를 사용하는 것으로 조사되었고 나머지 사업장은 진공청소기가 없거나, 있어도 사용하지 않는 것으로 나타났다. 진공청소기를 사용하는 A, B 사업장에서도 작업 중간중간 빗자루로 바닥을 쓸어내고 있어 석면분진의 재비산을 촉진시키고 있었다. 조사 당일 B 사업장은 한 시간 간격으로 바닥에 물을 뿌렸는데 이것은 재비산을 억제하는데 큰 기여를 했을 것이다. 조사 당일 청소상태는 A 사업장이 가장 깨끗하였고 B와 C 사업장이 비교적 깨끗한 편이었으며, 나머지 사업장은 사업장 바닥에 석면분진 덩어리가 굴러다닐 정도로 지저분하였다. 작업자의 손이 자주 닿지 않는 천정이나 기둥 위쪽, 창고, 기계 틈새 등은 그 상태가 더욱 심하였다.

모든 사업장에서 분진방지용 마스크를 지급하고 있으나 지급 주기가 일정하지 않고, A 사업장을 제외한 대부분의 사업장에서 마스크 착용에 대한 교육이 제대로 이루어지지 않아 근로자 개인의 판단에 따라 착용여부를 결정하고 있는 실정이다. 근로자에 따라 면마스크를 사용하는 경우도 있으며 적절한 마스크를 착용한 경우는 없었다.

석면 작업장은 작업장으로 들어가기 전에 탈의실과 목욕시설을 갖추어 작업자의 의복이나 머리에 묻은 석면이 밖으로 나오지 않도록 하는 것이 바람직하다(Bragg, 1990). 연구대상 사업장 대부분 목욕시설과 탈의실이 있었으나 배치가 제대로 된 시설을 갖춘 곳은 한 군데도 없었다. B, D, E 사업장은 작업장 출입구에 공기 분무기(Air Shower)를 설치하여 작업자가 출입할 때 이용할 수 있도록 하고 있었다. 그러나 따로 분리된 공간에 설치된 것이 아니라 작업장 건물 밖에 방치되어 있어 주변 환경 중에 비산될 우려가 있었다. 또한 근로자들이 마스크를 벗고 난 후에 사용함으로써 도리어 더 많은 석면분진에 노출될 우려가 있었다.

작업복 세탁 방식에도 문제가 있는 것으로 조사되었다. 유해물질을 취급하는 근로자의 작업복은 작업장에서 일괄적으로 분리하여 세탁하여 지급하는 것이 바람직한데 연구대상 사업장 중 이런 방식으로 이루어지는 곳은 한 군데도 없었다. A 사업장은 작업장에서 각자가 세탁할 수 있게 되어 있으나, 나머지 사업장의 경우 근로자가 각자 집에서 작업복을 세탁하게 됨으로써 근로자 자신뿐 아니라 가족들까지 석면분진에 노출될 위험을 안고 있었다. 연구대상 사업장 중 A 사업장을 제외한 모든 사업장에서 근로자들은 작업장 안에서 흡연을 하고 있었으며 E 사업장의 경우 음식물까지 섭취하고 있었다.

연구 대상 사업장의 전반적인 작업조건을 정리하

면 다음 표 3과 같다.

3) 대상 사업장의 환기시설

① 전체환기

연구대상 사업장 중 A 사업장을 제외한 나머지 사업장은 전체환기를 자연환기에 전적으로 의존하고 있었다. A 사업장은 천정에 송풍기 장치가 된 환기구가 있었다. B 사업장의 경우 천정에 환기구가 있기는 하나 송풍기가 설치되어 있지 않아 전체환기를 배려한 것으로 볼 수 없었다. 본 연구가 여름에 이루어졌으므로 조사 당시에 사업장들의 모든 창문과 출입구는 완전히 열려져 있어 전체환기에 큰 효과가 있는 것으로 보였다. 또한 작업장 곳곳에 냉방을 위한 대형 선풍기가 돌아가고 있어 국소배기 시설의 효율에는 좋지 않은 영향을 끼쳤으나 전체 공기를 희석시키는 데에는 기여를 했다. 따라서 조사가 겨울에 이루어졌다면 석면분진에의 노출정도는 본 조사에서보다 높은 값을 보였을 것이다. 실제로 Eisen 등의 연구에 따르면 한 계절에서만 얻은 농도자료는 실제 농도를 과대평가 혹은 과소평가할 우려가 있음이 지적되고 있다(Eisen 등, 1984).

② 국소배기시설

분진이 발생하는 즉시 가장 가까운 곳에서 흡입하여 정화한 다음 외부로 내보냄으로써 발생한 분진이 주위의 작업자나 다른 공정에 확산되지 않도록 하는 국소배기시설이 가장 효과적으로 근로자의 분진 노출을 줄일 수 있는 방법이다. 국소배기시설을 평가하기 위해서는 국소배기장치의 유량, 제어속도, 후드형태, 후드위치, 배기관의 크기 등을 조사하고 분진의 발생량, 특성 등을 파악하여 비교하여야 한다. 본 연구에서는 후드의 위치와 형태를 조사하고, 분진발생 위치에서 제어속도를 측정하였다.

다음 표 4는 각 사업장의 공정별 국소배기시설의

Table 3. Work Environments and Conditions by Plant

Conditions	A	B	C	D	E	F
Cleaning Status	Good	Fair	Poor	Poor	Poor	Poor
Cleaning Method	Vacuum	Vacuum	Manual	Manual	Manual	Manual
Protective Device	Good	Fair	Fair	Poor	Poor	Poor
Rocker Room	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Laundering Site	Plant	House	House	House	House	House
Smoking	NO	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

형태와 제어속도를 정리한 것이다. 공정마다 국소배기시설이 모두 설치되어 있는 곳은 A 사업장과 C 사업장이었으며 나머지 사업장은 부분적으로 국소배기시설이 설치되어 있지 않거나 가동되지 않고 있었다. “산업안전보건법 제20조 제2항 제2장에는 석면의 제조 및 사용설비에 대한 기준을 정하고 있는데, 이에 따르면 국소배기시설의 제어속도가 1.0 m/s일 것으로 규정하고 있다. ACGIH에서도 역시 200-250 ft/m, 즉 1.0-1.3 m/s를 권고하고 있다(ACGIH, 1992). 본 연구에 의하면 각 사업장별 이 기준에 적합한 환기시설을 갖추고 있는 곳은

한 곳도 없었다.

다음 그림 1은 국소배기시설의 제어속도 조사결과를 ACGIH 권고기준과 노동부 기준에 비교하여 나타낸 것이다.

후드의 위치를 조사한 결과 분진 발생 지점과 일치하지 않는 경우가 많아 설치한 후드의 효과를 제대로 내지 못하고 있었다.

혼면작업의 경우 석면과 일반승을 콘베이어를 이용하여 혼면기에 넣는 과정에서 콘베이어의 윗부분에 후드를 설치한 경우가 대부분이었는데 콘베이어 윗부분을 완전히 밀폐하지 않아 실제 분진이 발생하

Table 4. Characteristics of Existing Local Exhaust Ventilation by Plant and Process (Unit : feet per minute, fpm)

Process	Plants	A	B	C	D	E	F
Mixing	Type	enclosure	canopy	canopy	canopy	none	
	Capture V.	< 50	< 50	-	< 50		
Carding	Type	cover	canopy	canopy	canopy	canopy	
	Capture V.	50	50 - 80	< 50	< 50	-	
Spinning	Type	containing	containing	containing	containing	duct	
	Capture V.	50	< 50	< 50	< 50	< 50	
Twisting	Type	containing	none	canopy	none	duct	
	Capture V.	50		< 50		< 50	
Weaving	Type	duct	canopy	canopy	canopy	canopy	canopy
	Capture V.	< 50	70	50 - 60	< 50	-	< 50

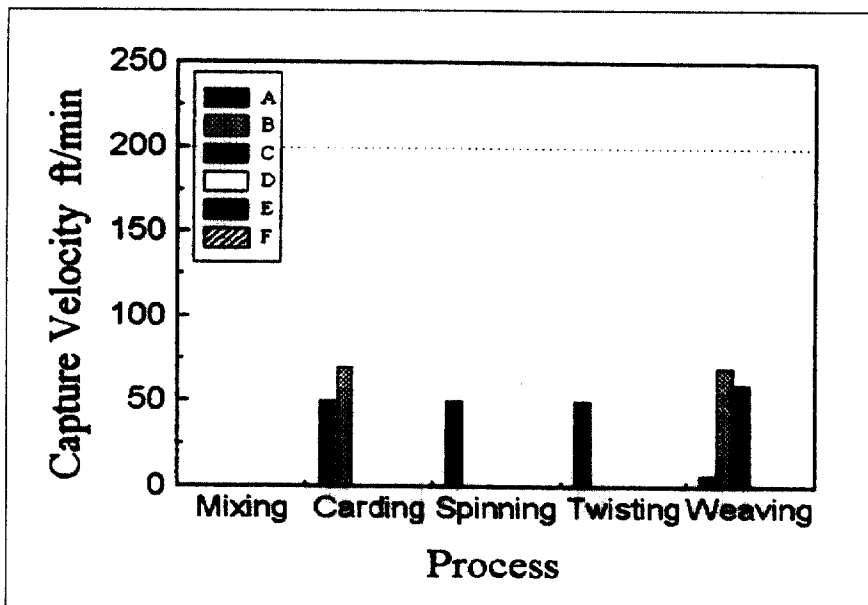


Fig. 1. Capture Velocity of Each Plant by Process.

는 작업자 호흡위치에서의 제어속도는 측정한계 미만으로 나타났다. B 사업장의 경우는 후드의 유입면이 석면과 숨으로 막혀있는 상태였다. 또한 작업자의 자세가 후드의 유입면 쪽으로 상체를 구부려 작업하는 경우가 대부분이어서 canopy형 후드는 혼면 공정에 적합하지 않았다.

소면 공정의 경우 대부분의 사업장이 원료인 혼면을 투입하는 위치와 주로 작업자가 서 있는 슬라이버(silver)가 감기는 위치가 소면기에 설치된 후드의 영역을 벗어나게 되어있어 근로자의 노출을 줄이는 데는 효과적이지 못했다.

정방 공정은 소면이 여러 지지대를 거쳐 꼬아지고 실패에 감길 때 마찰을 일으키고 회전하는 동안 분진이 발생하는데 내장형 덕트의 유입면 위치가 발생 위치와 어긋나 있어 효율이 크게 저하되었다. 모든 정방기에는 분진발생원 앞쪽에 덮개를 설치하여 근로자에게 분진이 날리는 것을 차단하도록 되어있는데 D 사업장과 E 사업장에서는 작업에 방해가 된다는 이유로 사용하지 않고 있어 발생한 분진에 근로자가 직접 노출되었다.

연사공정은 정방과 비슷한 과정에서 분진이 발생한다. C 사업장은 연사기 위에 canopy형 후드를 간격을 두어 설치하였는데 분진 발생위치와 너무 멀리 떨어져 있어 효과를 기대할 수가 없었다. E 사업장은 연결된 덕트 하나로 세 대의 연사기 사이를 지나가도록 설계되어 있는데 연사기를 일제히 가동하지 않는 이 사업장의 경우 배기시설의 손실유량이 매우 크며 유입면 위치 또한 발생원과 멀어질 수 밖에 없어 효율적이지 못했다.

직조는 분진발생원이 근로자의 호흡위치와 일치하는 곳에 있어 효율적인 국소배기시설을 설치하기가

어려운 공정으로 본 연구에서도 많은 석면분진이 날리는 것을 눈으로 확인할 수 있었다.

2 석면방직업 근로자의 석면노출농도 분포 및 평가

일반적으로 작업환경 중 유해물질의 농도분포는 정규분포보다는 대수정규분포(Lognormal distribution)에 가까운 것으로 알려져 있다(ACGIH, 1989). 표 5는 연구대상 사업장의 석면노출농도 전체를 개인시료와 장소시료로 구분하여 나타낸 것이고 그림 2는 이것을 대수누적분포로 나타낸 것이다.

각각의 농도값은 작업시간 동안의 시간가중평균치(Time-Weighted Average, TWA)를 계산하여 나타내었다. 그림에서 분포가 직선을 보이면 농도들이 대수정규분포하는 것인데 그림 2에서 보이는 바와 같이 본 연구에서도 석면분진의 농도가 대수정규분포함을 알 수 있다.

따라서 각 사업장별, 공정별 개인시료와 장소시료

Table 6. Asbestos Concentrations by Plant

Plant	No.of Samples	Asbestos Concentrations(f/cc)		GSD
		GM	Range	
A	14	0.32	0.03 - 1.63	3.41
B	17	1.25	0.18 - 4.38	2.35
C	10	2.48	0.50 - 9.76	2.21
D	9	8.04	6.61 - 11.58	1.39
E	7	2.20	0.79 - 9.66	2.48
F	5	0.76	0.43 - 2.61	2.03
Total	62	1.54	0.03 - 11.58	3.02

GM : Geometric Mean

GSD : Geometric Standard Deviation

Table 5. Summary of Asbestos Concentration in All Plants Surveyed, f/cc

Plant	Mixing		Carding		Spinning		Twisting		Weaving		Others	
	p*	a**	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a
A	0.22	0.42	0.23	0.94	0.42	1.63	0.1	1.01			0.81	0.03
B	1.20		0.49	0.79	4.15	1.20	1.61	1.62	3.53	3.18	0.36	
C			2.90	9.76	2.99	3.65	2.00	1.66			0.50	2.35
D			9.24	10.93	6.77		7.04		11.58			6.61
E					4.15	1.26		4.31			1.48	0.79
F									2.61		0.52	0.61

p* : Personal Samples, a** : Area Samples

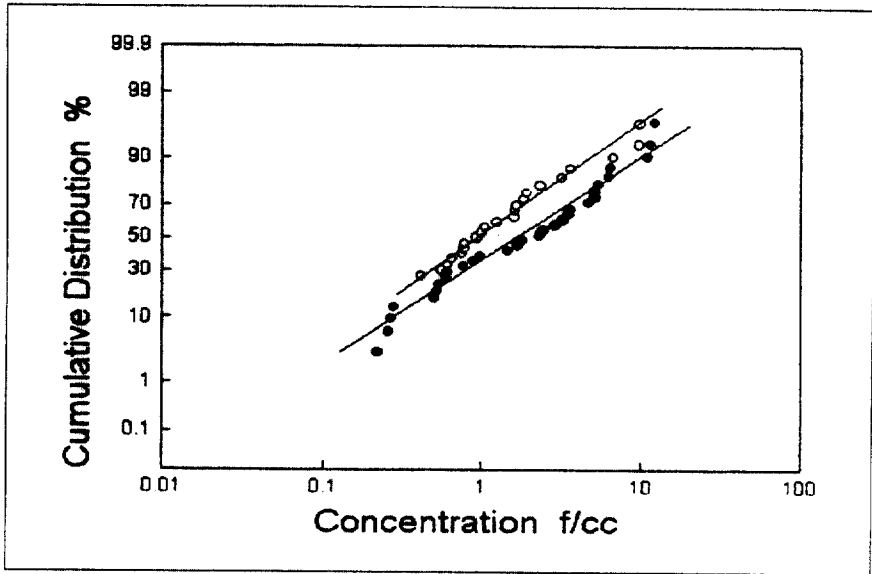


Fig. 2. Cumulative Distribution of Asbestos Concentrations by Type of Sampling: ○; area and ●; personal.

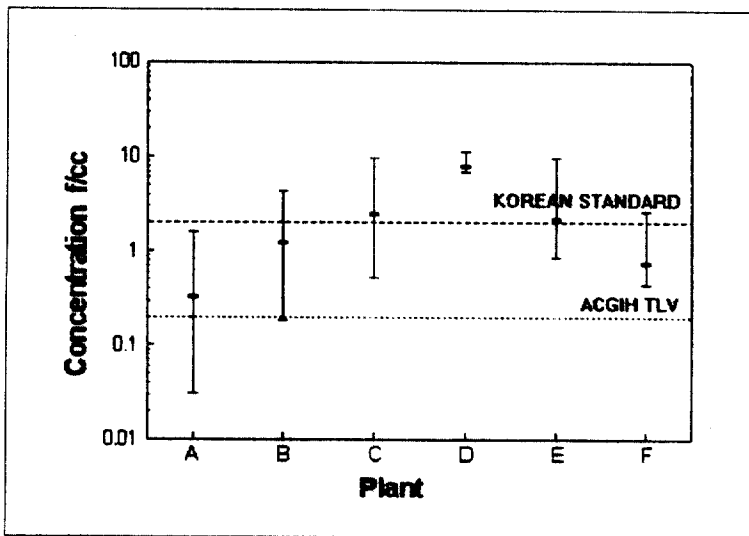


Fig. 3. Asbestos Concentrations by Plant.

의 대표값으로 기하평균(Geometric Mean, GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD)를 구하였다.

1) 사업장별 석면노출농도

다음 표 6은 사업장별 석면 농도의 기하평균과 범위, 기하표준편차를 나타낸 것으로, 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

표 6에 의하면 전체 석면방직 사업장의 평균농도는 1.54 개/cc, 범위는 0.03-11.58 개/cc였다. 따라서 전체 평균농도는 ACGIH 권고기준(ACGIH TLV)인 0.2 개/cc는 초과하고 노동부 허용기준인 2 개/cc를 초과하지는 않았으나, 농도의 범위가 매우 넓어 허용기준을 초과하는 시료도 상당수 있었다. 평균농도가 가장 낮은 사업장은 A 사업장으로 0.32 개/cc였고, 가장 높은 사업장은 D 사업장으로 허용

기준을 4배 이상 초과하는 8.04 개/cc 였다. 이로써 사업장에 따라 근로자 노출 수준에 25배 이상 차이가 있음을 알 수 있다. 연구대상 6개 사업장 중 절반인 3개 사업장의 평균농도가 허용기준을 초과하는 것으로 나타났다. 모든 사업장의 평균농도가 ACGIH TLV를 초과한 것으로 나타났다.

각 사업장별로 측정한 개인시료와 장소시료의 석면농도분포는 다음 표 7, 그림 4와 같다.

표 7에 나타난 것처럼 개인시료의 전체 평균농도는 1.54 개/cc, 범위는 0.18-11.58 개/cc였고, 장소시료의 전체 평균농도는 1.72 개/cc, 범위는 0.03-10.93 개/cc였다. 따라서 전체 평균농도는 시료의 종류에 관계없이 노동부 허용기준은 넘지않고 ACGIH TLV는 초과하였다. 개인시료의 평균농도에서 허용기준을 초과한 사업장은 D 와 E 사업장,

두 곳으로 각각 2.48 개/cc, 7.90 개/cc였다. 개인시료에서 가장 낮은 평균농도를 나타낸 사업장인 A 사업장은 0.24 개/cc로 ACGIH TLV를 다소 넘는 수준이었고, 가장 높은 값을 보인 사업장인 D 사업장은 7.90 개/cc였다. 두 사업장 사이의 차이는 33 배로 시료 종류에 관계없이 구한 전체 평균농도에서 보인 차이보다 더 큰 것으로 나타났다.

장소시료에서 허용기준을 초과한 사업장은 C, D, E 세 사업장이었다. 장소시료에서 가장 낮은 평균농도를 나타낸 사업장인 A 사업장은 0.48 개/cc로 개인시료의 평균농도보다 2배가 높았고, 가장 높은 값을 보인 사업장인 D 사업장은 8.50 개/cc로 개인시료의 값보다 다소 높은 값을 보였다. 두 사업장의 장소시료의 평균농도 차이는 18배였다.

표 8과 그림 5, 그림 6은 개인시료와 장소시료를

Table 7. Asbestos Concentrations by Plant : Personal and Area Samples

Personal Samples					Area Samples			
Plant	No. of Samples	Concentrations(f/cc)		GSD	No. of Samples	Concentrations(f/cc)		GSD
		GM	Range			GM*	Range	
A	7	0.24	0.21 - 0.81	2.83	7	0.48	0.03 - 1.63	4.37
B	9	1.29	0.18 - 4.15	2.85	8	1.49	0.79 - 3.18	1.81
C	5	1.92	0.50 - 3.80	2.20	5	3.43	1.66 - 9.76	2.15
D	6	7.90	5.13 - 11.58	1.42	3	8.50	6.61 - 10.93	1.43
E	2	2.48	1.48 - 4.15	2.07	5	2.07	0.79 - 9.66	2.97
F	3	1.16	0.43 - 2.61	3.13	2	0.61	0.57 - 0.65	1.10
Total	32	1.54	0.18 - 11.28	3.13	30	1.72	0.03 - 10.93	2.93

* Concentrations excluding samples for office area

Table 8. Distribution of Asbestos Concentrations classified by the Korean Standard(2 f/cc) and ACGIH TLV(0.2 f/cc), Unit : No. of Samples(%)

Plants	Total Samples				Personal Samples				Area Samples			
	Total	< 0.2	0.2-2.0	2.0 <	Total	< 0.2	0.2-2.0	2.0 <	Total	< 0.2	0.2-2.0	2.0 <
A	12(100)	2(17)	10(83)		7(100)	1(14)	6(86)		5(100)	1(20)	4(80)	
B	16(100)	1(6)	11(69)	4(25)	9(100)	1(11)	5(56)	3(33)	7(100)		6(86)	1(14)
C	9(100)		2(22)	7(78)	5(100)		1(20)	4(80)	4(100)		1(25)	3(75)
D	8(100)			8(100)	6(100)			6(100)	2(100)			2(100)
E	6(100)		4(67)	2(33)	2(100)		1(50)	1(50)	4(100)		3(75)	1(25)
F	5(100)		4(80)	1(20)	3(100)		2(67)	1(33)	2(100)		2(100)	
Total	56(100)	3(5)	31(56)	22(39)	32(100)	2(6)	15(47)	15(47)	24(100)	1(4)	16(67)	7(29)

* : No. of Samples excluding Samples for Office Area

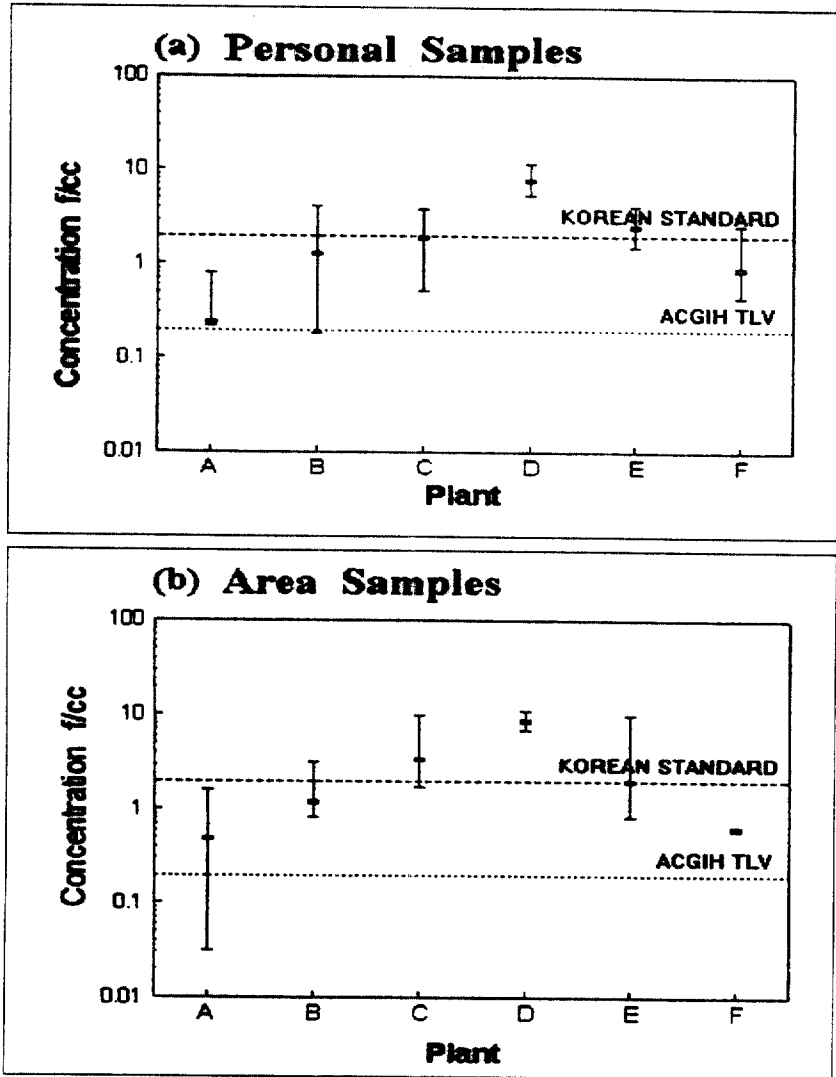


Fig. 4. Asbestos Concentrations by Plant :
(a) Personal Samples, (b) Area Samples.

구분하여 노동부 허용기준 및 ACGIH 권고기준을 초과하는 시료수를 각 사업장에 따라 나타낸 것이다.

다음 장의 표 8에서 볼 수 있는 바처럼 A 사업장을 제외한 다른 사업장은 우리나라 노동부 허용기준을 넘는 농도를 상당수 나타냈다. 특히 D 사업장은 모든 시료가 허용기준을 초과하였다. 이를 그림으로 나타내면 다음 그림 5와 같다.

표 8에 나타난 바와 같이 전체 시료 56개 중 22개 (39%)가 노동부 허용기준을 초과하였고, 53개 (95%)가 ACGIH TLV를 초과하였다. D 사업장의 시료는 모두 노동부 허용기준을 초과하였으며 다음이

C 사업장으로 78%의 시료가 허용기준을 초과하였다. A 사업장은 모든 시료가 허용기준 미만이었다.

개인시료 총 32개 중 노동부 허용기준을 초과하는 것은 15개 (47%), ACGIH TLV를 초과하는 것은 30개 (94%)였다. A 사업장과 B 사업장을 제외한 사업장의 모든 시료가 ACGIH TLV를 초과하였으며, 사업장별로 D 사업장이 6개 (100%) 모두 노동부 허용기준을 초과하였고, A 사업장은 하나도 초과하지 않았다.

장소시료는 사무실에서 측정한 시료를 제외하면 총 24개로 노동부 허용기준을 초과하는 것은 7개

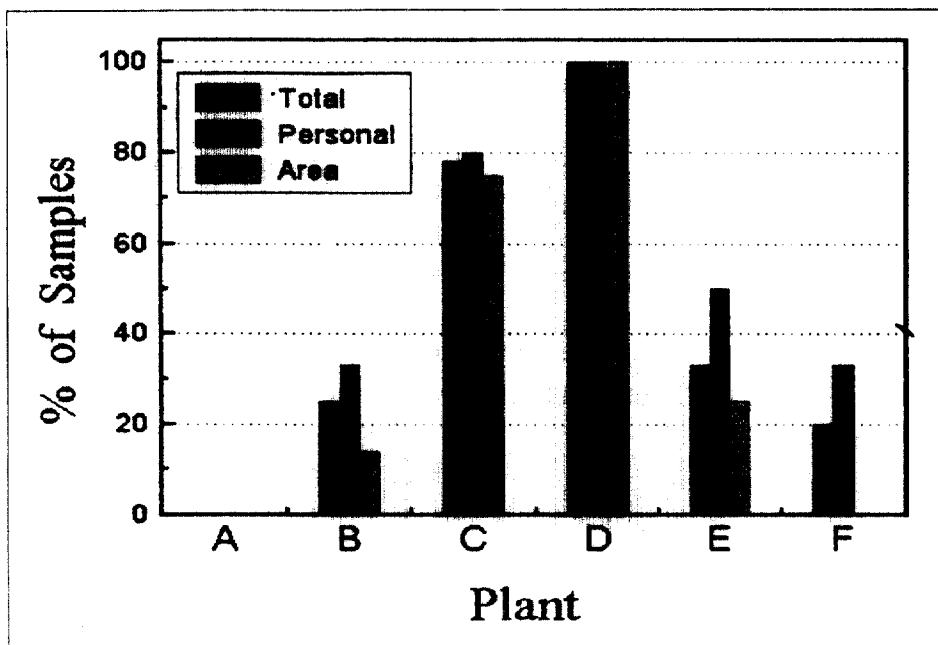


Fig. 5. Percent of Samples Exceeding the Korean Standard by Plant.

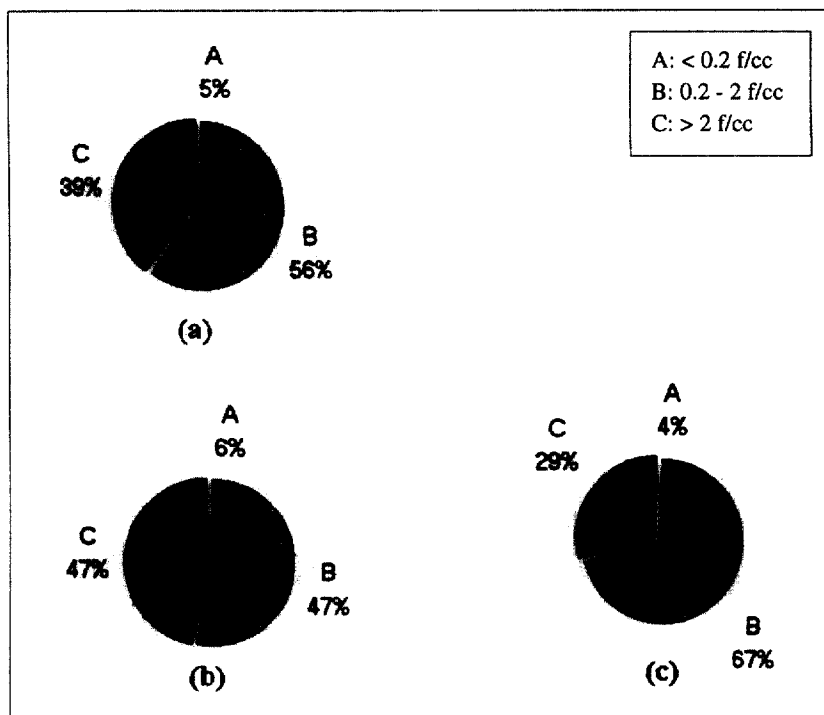


Fig. 6. Distribution of Asbestos Concentrations Classified by the Korean Standard(2 f/cc) and ACGIH TLV(0.2 f/cc),
 (a) Total Samples, (b) Personal Samples, (c) Area Samples

(29%), ACGIH 기준을 초과하는 것은 23개 (96%)였다. 사업장별로는 개인시료와 마찬가지로 D 사업장이 측정값 모두 노동부 허용기준을 초과하였으며, A 사업장은 하나도 초과하지 않았다.

우리나라 노동부 허용기준과 ACGIH TLV를 기준으로 사업장 구분없이 전체 시료의 분포를 그림으로 나타내면 다음 그림 6과 같다.

그림 6에 따르면 전체적으로 95% 정도의 시료가 ACGIH TLV를 초과하고 있고, 개인시료의 47%가 우리나라 허용기준을 초과하는 등 현재 석면방직 사업장의 작업환경이 근로자 건강을 보호하기에는 많이 미흡한 것으로 나타났다.

2) 공정별 석면노출농도

혼면공정(Mixing)은 먼저 포대에 봉쳐져 있던 석면섬유를 원래 형태로 부풀리기 위한 공정, 즉 개면(Fiberizing)을 거친 석면과 합성섬유를 일정한 비율로 혼합하는 공정이다. 석면방직업의 초창기에는 작업장 바닥에 석면과 합성섬유를 부어 놓고 쇠상으로 뒤적여 섞었다고 한다. 현재 우리나라 석면방직 사업장에서는 콘베이어에 석면과 합성섬유를 올려놓아 혼면기로 들어가도록 설계된 장치를 사용하고 있는데 이 공정에서의 분진발생이 다른 공정에 비해 심각한 것으로 알려져있다.

소면공정(Carding)은 합성섬유와 혼합된 석면을 소면기를 통해 일정한 방향으로 빗질(Carding)하여

소면(Sliver)으로 만드는 공정으로, 빗질하는 부분과 소면이 감기는 부분에서 분진이 발생한다. 조사한 바에 따르면 hopper에 혼합된 석면을 공급하는 과정이 밀폐되어 있지 않고 근로자가 직접 바구니에 담아 원료를 붓는 방식을 A 사업장을 제외한 모든 사업장에서 채택하고 있는데 이 과정에서 단시간에 많은 양의 석면분진에 노출되는 것으로 나타났다.

정방공정(Spinning)은 소면공정을 거쳐 나온 소면을 잡아 늘리고 약간 꼬아서 강도를 증가시켜 실타 형태로 만드는 공정으로, 정방기의 여러 지지대를 지나면서 마찰이 생기고 실타에 감기는 과정에서 분진이 발생된다. 정방공정상 실타는 부서지기 쉬운 상태여서 분진발생 억제에 효율적인 습식방법을 적용할 수 없고 정방기 구조상 국소배기시설을 설치하기가 곤란하여 관리가 어렵다(Cralley, L. V. 와

Table 9. Asbestos Concentrations by Process

Process	No. of Samples	Asbestos Concentrations(f/cc)		GSD
		GM	Range	
Mixing	3	0.48	0.22 - 1.20	2.35
Carding	10	1.98	0.23 - 10.93	4.53
Spinning	13	2.22	0.41 - 8.93	2.37
Twisting	11	1.65	0.21 - 9.83	2.83
Weaving	5	4.29	2.61 - 11.58	1.96
Total	42	1.72	0.21 - 11.58	2.22

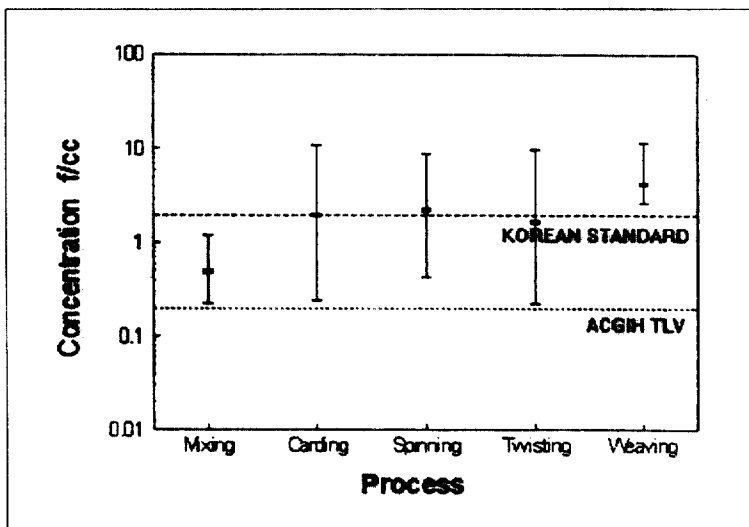


Fig. 7. Asbestos Concentrations by Process.

Cralley L. J., 1989).

연사공정(Twisting)은 정방공정을 거쳐 만들어진 실을 여러 가닥 합쳐서 완전하게 꼬아 직조에 적합하게 만들거나 금속선을 함께 꼬아 석면사 제품과 편조제품에 응용할 수 있게 하는 공정이다. 연사공정의 실은 잘 부서지지 않는 형태를 띠고 있고, 습식법을 적용할 수 있어 석면방직공정에서 분진발생이 가장 적은 공정이다(Cralley, L. V.와 Cralley L. J., 1989). 본 연구에 따르면 A 사업장에서 연사기 위에 가습기를 설치하여 분진발생을 크게 감소시킨 것으로 나타났다.

직조공정(Weaving)은 연사공정을 거친 실을 씨실과 날실로 하여 천이나 테이프를 만드는 공정이다. 씨실과 날실이 교차되면서 마찰을 일으키므로 많은 양의 분진이 발생한다. 작업자의 위치가 바로 분진이 발생하는 위치이므로 근로자 노출 정도가 심한 공정 중의 하나이다.

이 외에 사업장에 따라 편조나 정경, 권사 등의 공정이 있기도 하나 본 연구에서는 석면방직업의 기본적인 공정인 혼면, 소면, 정방, 연사, 직조 공정을 중심으로 조사하였다.

각 공정별 석면농도의 분포는 다음 표 9, 그림 7과 같다.

오 등이 공정별로 석면노출농도를 연구한 바에 의하면 혼면공정의 농도가 가장 높았고 다음이 직조, 연사, 소면, 정방의 순으로 낮은 농도 수준을 보였다(오세민 등, 1993). 본 연구에서는 직조공정이 평균 4.29 개/cc, 범위 2.61-11.58 개/cc로 가장 높은 수준이었고 다음이 정방(평균 2.22 개/cc, 범위 0.41-8.93 개/cc), 소면(평균 1.98 개/cc, 범위

0.23-10.93 개/cc), 연사(평균 1.65 개/cc, 범위 0.21-9.83 개/cc), 혼면(평균 0.48 개/cc, 범위 0.22-1.20 개/cc) 순으로 나타났다. 혼면공정의 농도가 가장 낮게 나온 것은 연구대상 사업장 중 가장 작업환경이 깨끗한 사업장과 비교적 우수한 사업장에서만 시료를 채취할 수 있었기 때문인 것으로 여겨진다.

또한 대부분의 사업장이 여러 공정을 한 공간에 두고 있기 때문에 한 공정에서 발생한 분진이 작업장 전체에 확산되고 회석된다. 따라서 공정별로 분류한 시료가 해당 공정에서만 발생한 분진의 정도를 반영한다고 보기는 어려우며, 실제로 각 공정별 농도는 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 조사 당시 대부분의 작업장에 대형 선풍기가 가동중이었던 것도 공정별 분진발생의 정도를 파악하는 데에 방해가 되었다.

각 공정별로 측정한 개인시료와 장소시료의 석면농도 분포는 다음 표 10, 그림 8과 같다. 표 10에서 보듯이 혼면, 정방, 직조공정에서는 개인시료의 농도가 장소시료의 농도보다 높은 값을 나타냈고, 소면과 연사공정에서는 장소시료가 더 높았다. 공정별 개인시료의 농도는 직조가 평균 4.74 개/cc, 범위 2.61-11.58 개/cc로 가장 높았고, 정방(평균 2.71 개/cc, 범위 0.41-8.93 개/cc), 연사(평균 1.48 개/cc, 범위 0.21-9.83 개/cc), 소면(평균 1.32 개/cc, 범위 0.23-9.24 개/cc), 혼면(평균 0.51 개/cc, 범위 0.22 -1.20 개/cc)의 순서였다. 혼면의 개인시료농도가 가장 낮게 나타난 것은 혼면작업이 작업시간 동안 계속 있는 것이 아니고 한 회에 20-30분 정도씩 필요할 때마다 간헐적으로 이루어지기

Table 10. Asbestos Concentrations by Process : Personal and Area Samples

Process	No. of Samples	Personal Samples			No. of Samples	Area Samples		
		Concentrations(f/cc)		GSD		Concentrations(f/cc)		GSD
		GM	Range			GM*	Range	
Mixing	2	0.51	0.22 - 1.20	3.32	1	0.42		
Carding	4	1.32	0.23 - 9.24	5.35	6	2.98	0.61 - 10.93	4.21
Spinning	8	2.71	0.41 - 8.93	2.95	5	1.73	0.78 - 3.65	1.67
Twisting	6	1.48	0.21 - 9.83	4.28	5	1.85	1.01 - 9.66	1.84
Weaving	4	4.74	2.61 - 11.58	2.20	1	3.18		
Total	32	1.67	0.21 - 11.28	2.31	18	1.66	0.61 - 10.93	2.26

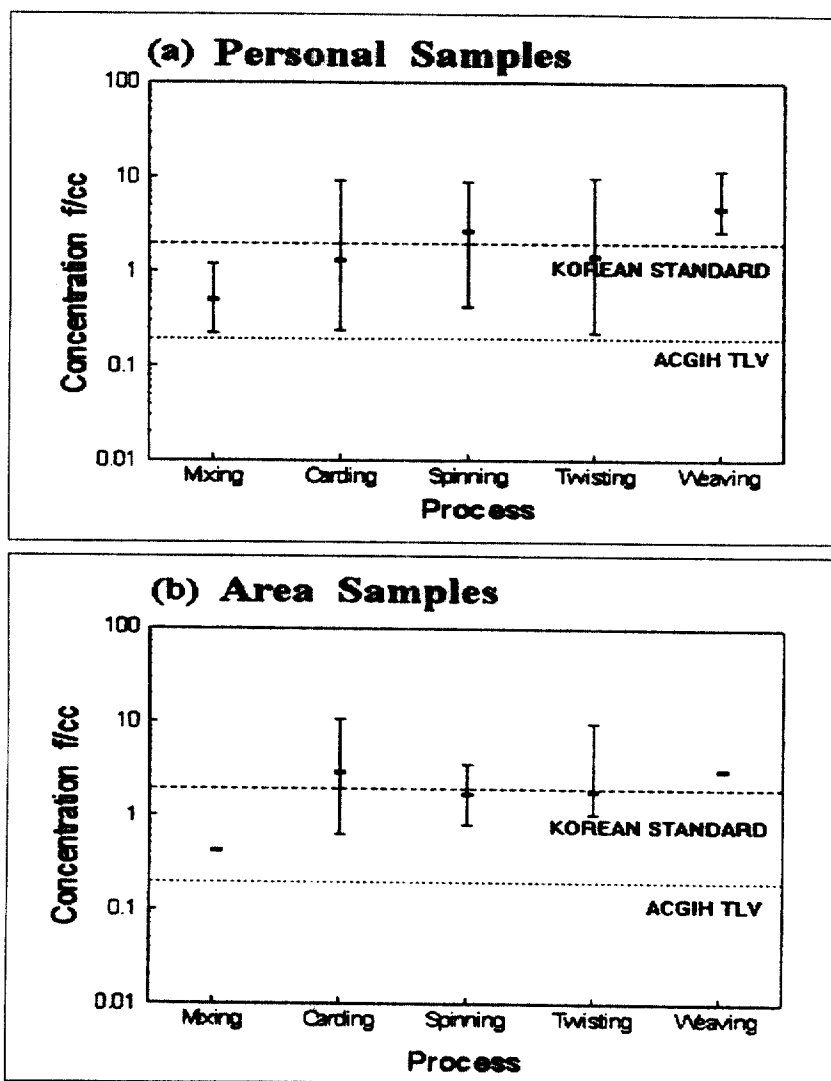


Fig. 8. Asbestos Concentrations by Process :
(a) Personal Samples, (b) Area Samples.

때문일 것이다. 소면 작업자는 소면기 작업이 이루어지는 동안 많은 시간을 소면기에서 멀리 떨어져 있어 개인노출정도를 감소시킬 수 있었다. 소면공정이 개인시료보다 장소시료의 농도수준이 2.3배 높아 공정중 가장 큰 차이를 나타냈다. 공정별 장소시료의 농도는 개인시료와 마찬가지로 직조가 3.18 개/cc로 가장 높았고, 소면(평균 2.98 개/cc, 범위 0.61-10.93 개/cc), 연사(평균 1.85 개/cc, 범위 1.01-9.66 개/cc), 정방(평균 1.73 개/cc, 범위

0.78-3.65 개/cc), 혼면(0.42 개/cc)의 순서였다.

표 11은 공정별 시료를 개인시료와 장소시료로 구분하여 노동부 허용기준 및 ACGIH 권고기준을 초과하는 시료수를 각 공정에 따라 나타낸 것이다.

석면방직 사업장의 기본적인 공정에서 채취한 시료는 모두 ACGIH의 권고기준을 초과하였다.

기본적인 공정에서 채취한 전체 42개 시료 중 19개 (45%)가 우리나라 허용기준을 초과했으며, 개인시료는 24개 중 14개 (58%)가, 장소시료는 18개

중 5개 (28%)가 초과하였다. 공정별로는 직조의 모든 시료가 허용기준을 초과하였고 다음이 정방(54%), 소면(40%), 연사(27%) 순이었다. 혼면공정의 농도가 모두 허용기준 이하인 것은 조사 당시 작업이 있었던 사업장이 가장 작업환경이 좋은 곳이었기 때문이다.

그림 9는 공정별로 허용기준을 초과한 비율을 개인시료와 장소시료로 나누어 나타낸 것이다.

모든 공정에서 우리나라 허용농도를 초과하는 시

료가 상당수 있었으며, 전반적으로 개인시료의 초과율이 장소시료의 초과율보다 높은 것으로 나타났다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 석면방직 공정에서 가장 문제가 되는 공정은 직조공정이다. 공학적인 관리와 함께 습식법의 적용을 고려할 만하며, 다른 공정과 분리시키는 것이 작업장의 전체 환경을 고려할 때 효율적일 것이다.

우리나라 노동부 허용기준과 ACGIH TLV를 기준으로 석면방직업의 주요공정 전체에서의 노출수준

Table 11. Distribution of Asbestos Concentrations Classified by the Korean Standard(2 f/cc) and ACGIH TLV(0.2 f/cc), Unit: No. of Samples(%)

Process	Total Samples				Personal Sample				Area Samples			
	Total	<0.2	0.2-2.0	2.0<	Total	< 0.2	0.2-2.0	2.0 <	Total	< 0.2	0.2-2.0	2.0 <
Mixing	3(100)		3(100)		2(100)		2(100)		1(100)		1(100)	
Carding	10(100)		6(60)	4(40)	4(100)		2(50)	2(50)	6(100)		4(67)	2(33)
Spinning	13(100)		6(46)	7(54)	8(100)		2(25)	6(75)	5(100)		4(80)	1(20)
Twisting	11(100)		8(73)	3(27)	6(100)		4(67)	2(33)	5(100)		4(80)	1(20)
Weaving	5(100)			5(100)	4(100)			4(100)	1(100)			1(100)
Total	42(100)		23(55)	19(45)	24(100)		10(42)	14(58)	18(100)		13(72)	5(28)

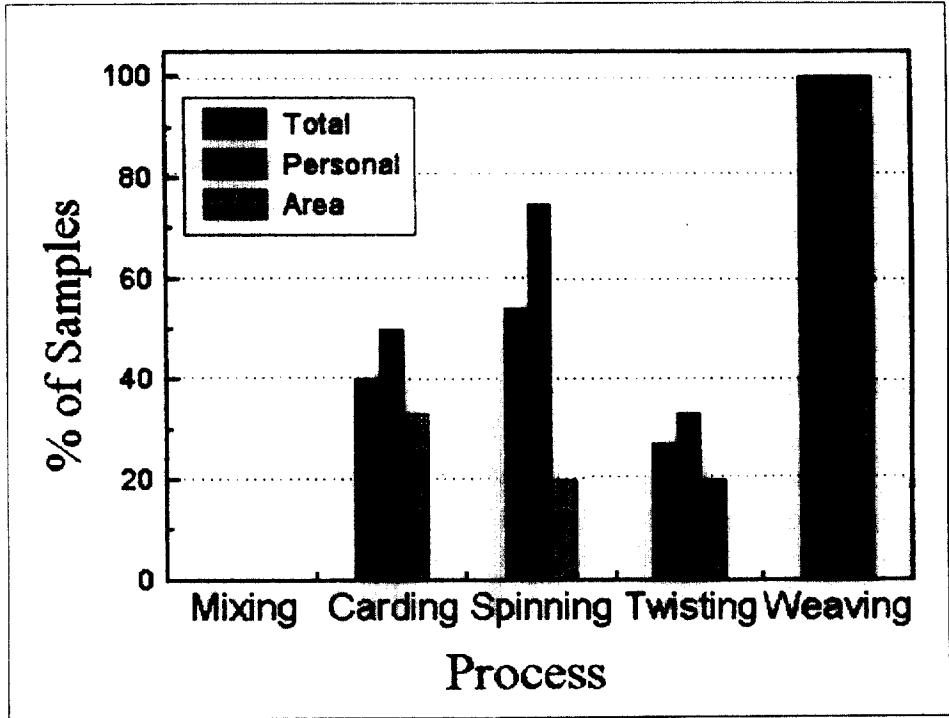


Fig. 9. Percent of Samples Exceeding Korean Standard by Process.

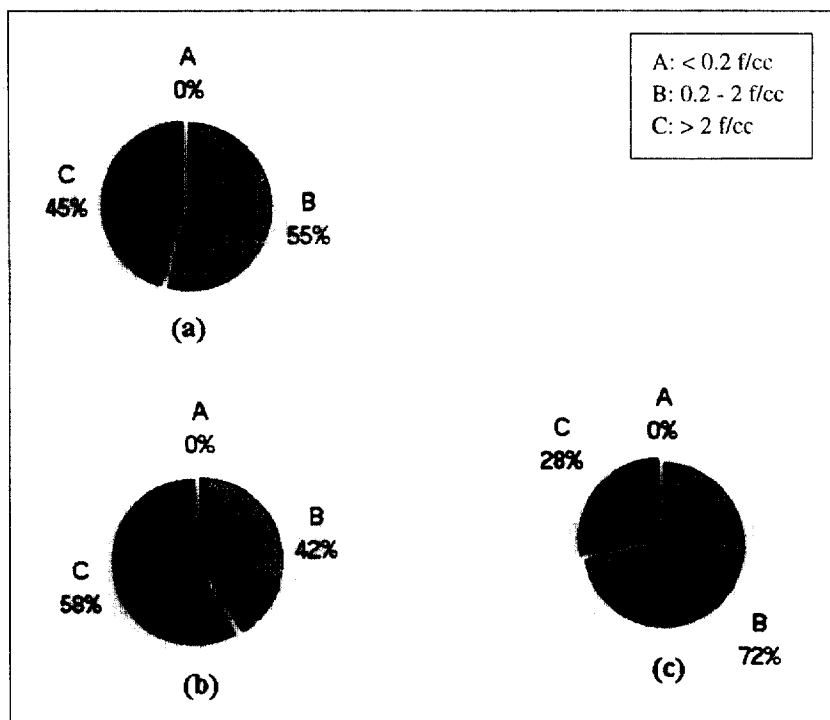


Fig. 10. Distribution of Asbestos Concentrations Classified by the Korean Standard(2 f/cc) and ACGIH TLV(0.2 f/cc):
(a) total samples, (b)personal samples, and (c) area samples.

분포를 보면 다음 그림 10과 같다.

그림 10에 따르면 석면방직 주요공정에서 ACGIH TLV를 만족하는 시료는 하나도 없으며 시료의 45% 이상이 우리나라 허용기준을 초과하고 있고, 개인시료는 58%가 초과하고 있음을 알 수 있다. 앞서 그림 6에서 나타낸 전체 사업장에서의 초과율 39%, 47%에 비하여 높은 수준을 나타내고 있는데, 이로써 석면방직 사업장의 석면노출 관리는 주요공정에 대해 더 적극적으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

3) 연도별 석면노출농도

1984년 국립노동과학연구소에서 처음으로 석면방직사업장의 공기 중 석면을 측정 한 이후 현재까지의 공기 중 석면농도의 추이를 보면 다음 표 12, 그림 11과 같다.

표 12(국립노동과학연구소, 1984; 박두용, 1988; 백남원과 이영환, 1991; 오세민 등, 1993)와 그림 11은 석면방직사업장의 공기 중 석면의 농도는 점점 감소하고 있음을 보이고 있다.

Table 12. Annual Trend of Airborne Asbestos Concentration

Year	No. of Plants Surveyed	Asbestos Concentrations, f/cc	
		GM	Range
1984	6	6.28	0.62 - 30.73
1987	7	5.01	0.20 - 81.70
1991	4	3.11	0.10 - 17.30
1993	7	1.42	0.07 - 6.10
1994	6	1.72	0.21 - 11.58

석면방직 사업장의 연도별 공기 중 석면의 농도 추이를 공정별로 나누어 보면 다음 표 13, 그림 12와 같다.

표 13, 그림 12에 따르면 모든 공정에서 전반적으로 농도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 공기 중 석면농도의 농도별 분포를 연도별로 나타내면 다음 표 14, 그림 13과 같다.

그림 13에 의하면 80년대에는 허용농도를 초과하

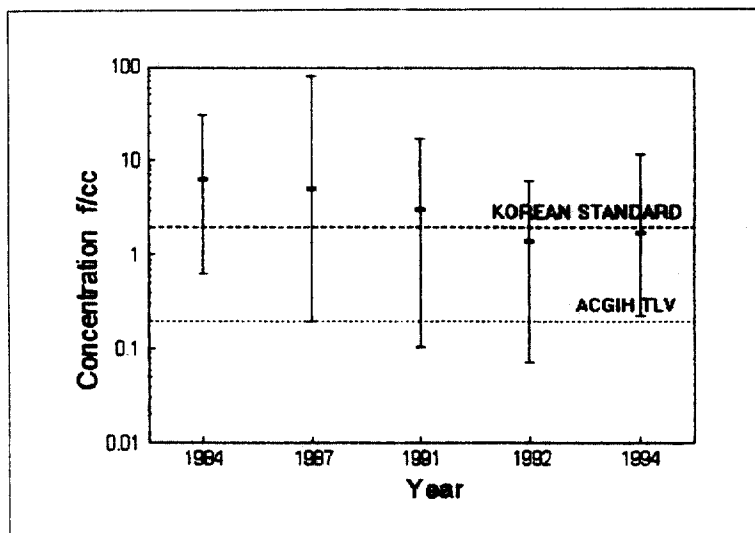


Fig. 11. Asbestos Concentrations of Asbestos Textile Plants by Year.

Table 13. Annual Trends of Airborne Asbestos Concentrations by Process Unit : f/cc (Range)

Year	Mixing	Carding	Spinning	Twisting	Weaving	
1984	9.71 (0.62-24.80)		3.46 (0.65-7.85)	5.29 (0.89-16.82)	6.28 (0.95-12.80)	8.77 (1.17-30.73)
1987	6.26 (1.2 - 31.1)		5.07 (1.0- 81.7)	6.08 (1.0 - 18.9)	5.00 (0.4 - 28.1)	5.15 (0.3 - 36.9)
1991	- (0.38-17.3)		4.63 (0.26-15.00)	5.40 (0.10-12.60)	3.92 (0.28-17.20)	1.72
1992	6.10 (6.10)		0.91 (0.08-4.71)	0.85 (0.11- 2.41)	0.94 (0.12- 4.98)	1.33 (0.07- 2.80)
1994	0.48 (0.22- 1.20)		1.98 (0.23-10.93)	2.22 (0.41- 8.93)	1.65 (0.21- 9.83)	4.29 (2.61-11.58)

는 비율이 70-80%에 이르고 있어으나 90년대에 이르러 점차 감소하는 경향을 보여 50% 미만인 것으로 나타났다. 전반적으로 작업장 환경이 개선되어 왔다는 증거이기는 하나 아직도 반 수의 근로자가 허용농도를 초과하는 작업환경 중에 노출되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 ACGIH 권고기준은 시기에 관계없이 모두 초과하고 있는 것으로 나타나 우리나라 작업환경은 개선의 여지가 많음을 알 수 있다.

3. 석면방직업의 과거농도 추정

유해물질의 과거 노출을 정량적으로 추정하는 것은 산업위생 분야에서 어려운 문제 중의 하나이다. 건강에 만성적으로 영향을 미치는 물질과 그로 인한

질병의 역학 연구에서 장기간에 걸친 노출 정도는 개인의 직업력에 기반하여 근로자 각각에 대해 추정되어야 한다. 현실적인 제약으로 직업분류나 근무년수 등으로 대체해 온 실정이지만 직업과 근무년수를 노출 추정치, 즉 특정 성분에 대한 강도(intensity)로 전환하는 것이 필요하다. 경험이 많은 산업위생전문가들은 과거농도를 주관적으로 추정하여 왔는데 이것은 절대적이지는 않으나 상당 부분 역학 연구에 기여를 했다(Schneider 등, 1991). 최근에는 좀더 근거있는 자료를 이용하여 객관적으로 과거농도를 평가할 수 있는 여러가지 방법이 제안되고 있는데 직업적인 노출에 대한 과거노출 수준을 추정하는 것은 다음 몇가지 이유로 어려움이 있다(Smith

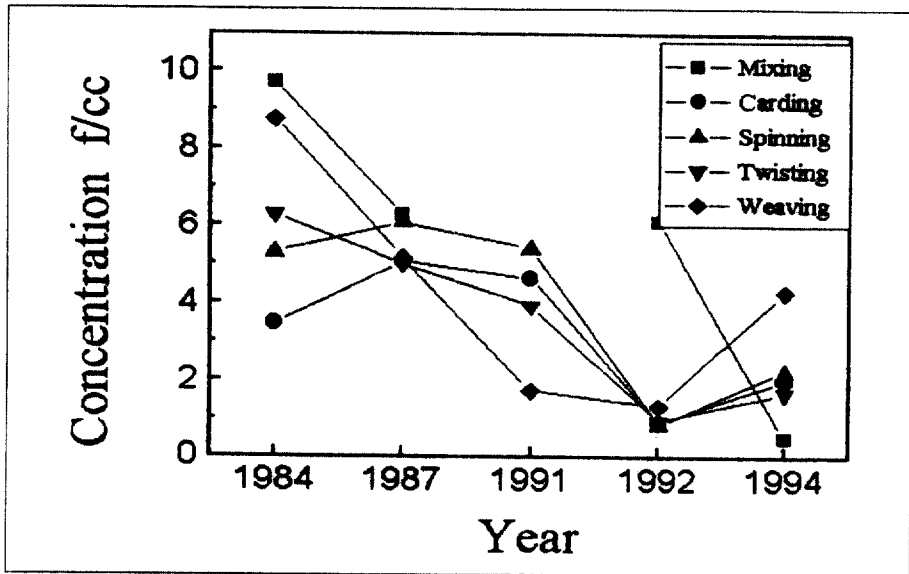


Fig. 12. Annual Trends of Airborne Asbestos Concentrations by Process.

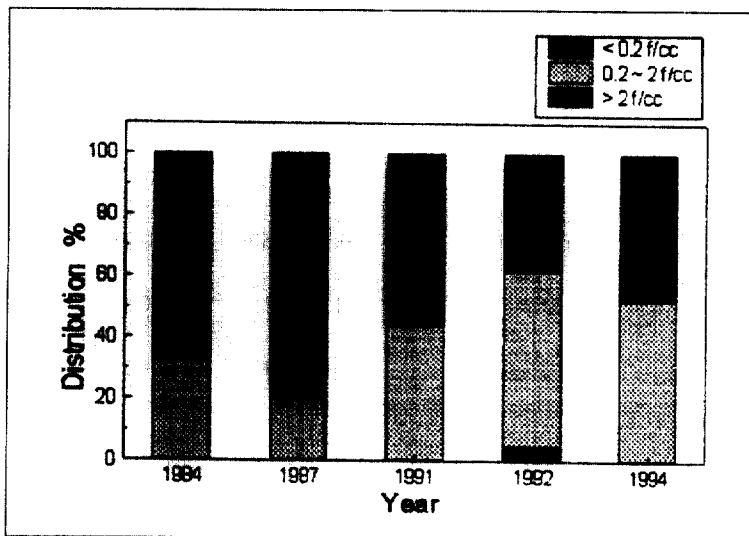


Fig. 13. Distributions of Asbestos Concentrations by Year.

Table 14. Distributions of Asbestos Concentrations by Year (Unit: No. of Samples (%))

Concentration	1984	1987	1991	1992	1994
< 0.2 f/cc	0(0)	0(0)	0(0)	1(5)	0(0)
0.2 - 2 f/cc	15(32)	22(17)	7(44)	12(57)	22(52)
> 2 f/cc	32(68)	108(83)	9(56)	8(38)	20(48)
Total	47(100)	130(100)	16(100)	21(100)	42(100)

등, 1991).

① 노출에 대한 정량적인 기록이 최근 것만 있거나 유용하다.

② 노출자료가 대개 고품로군에 제한되어 있다.

③ 작업공정이 대부분 변화한다.

주로 시도되는 모형은 통계적 모형 (Statistical Model)과 수학적 모형 (Mathematical Model)이다. 통계적인 모형 중에 다중선형회귀모형 (Multiple Linear Regression Model)은 주로 손실된 기록을

추정하는데 유용한 방법이다. 이 방법은 연도별 기록이 어느 정도 존재할 때 이를 나열하여 농도와 연도 사이에 선형의 관계를 가정하여 내삽하거나 외삽하여 농도를 구하는 것이다.

그러나 현재의 노출 수준과 변수를 고려하여 전혀 기록이 없는 과거의 노출 수준을 추정하는 데는 합당하지 않다. 왜냐하면 한 사업장의 노출 수준이 시간이 흐른다고 해서 무조건 감소하는 것은 아니기 때문이다. 따라서 농도의 변화와 그의 원인에 대한 고려가 동시에 이루어지는 수학적 모형이 실제 사업장의 농도를 더 잘 반영하는 것으로 알려져 있다 (Rong 등, 1990).

수학적 모형은

- ① 원인변수(cause variables)의 선정이 합리적이다.
 - ② 원인-결과 모형(cause-effect model)이다.
 - ③ 노출평가의 객관성이 높다.
 - ④ 원인변수와 농도기록을 모두 이용하여 유도되었다.
 - ⑤ 노출수준의 변화를 기술하는데 실제적이다.
 - ⑥ 가정이 논리적이다.
- 라는 장점이 있다.
- 반면
- ① 현재 존재하는 산업위생기록만을 사용한다.
 - ② 추정된 값의 정확성을 확인하기 어렵다.
 - ③ 유용한 자료가 부족할 때 불가피하게 전문가의 판단(professional judgement)에 의존할 수 밖에 없다.
 - ④ 추정방법이 복잡하다.

라는 제한점이 있다.

1) 현재 공기 중 석면농도

다음 표 15는 1987년 박 등이 연구한 결과(박두용, 1988)와 본 연구 결과를 작업환경이 가장 좋은 것으로 평가된 A 사업장과 과거농도 추정 대상인 B 사업장의 공정별 농도를 정리한 것이다.

표 15를 토대로 하여 1987년 연구결과와 본 연구에서의 조사결과를 비교해보면 다음과 같은 그림 14, 15를 얻을 수 있다.

그림 14에서 보는 바와 같이 1987년에 비하여 두 사업장 모두 농도수준이 전반적으로 감소하였음을 알 수 있다. 두 사업장의 1987년과 1994년의 농도를 공정에 따라 비율로 도시하면 그림 15와 같다. 1987년의 농도에 대한 1994년의 농도의 비(Ratio 94/87)가 거의 모든 공정에서 1 이하의 값을 보이고 있다. 이것은 두 사업장의 평균 농도의 감소가 전 공정에 걸쳐 이루어졌음을 보이는 것으로써, 분진관리 기술이나 생산기술이 개선되어 왔음을 나타내는 것이다.

과거농도를 추정하기 위하여 먼저 현재 농도를 가장 잘 반영하는 자료를 이용하여 과거농도 추정의 출발점으로 삼아야 한다.

본 연구에서는 ① 현재 우리나라 석면방직 사업장의 평균 석면농도와 가장 비슷하고 ② 석면방직업의 기본 공정인 혼면, 소면, 정방, 연사, 직조 공정이 모두 가동되고 있으며 ③ 현재까지 남아있는 석면방직 사업장 중 가장 오래된 사업장인 B 사업장의 과거농도를 추정하고자 한다.

Table 15. Asbestos Concentration by Process in 1987 and 1994

Year	1987				1994			
	A		B		A		B	
	p*	a**	p	a	p	a	p	a
Mixing	1.2	4.2	4.3	7.5	0.22	0.42	1.20	
Carding	1.0	1.1	3.4	6.2	0.23	0.94	0.49	0.79
Spinning	1.8	2.2	7.6	10.4	0.42	1.63	4.15	1.20
Twisting	2.2	1.1	0.9	6.2	0.21	1.01	1.61	1.62
Weaving	2.9	0.6	6.3	7.5	3.53	3.18		
GM	1.7	1.5	3.6	7.4	0.26	0.90	1.69	1.49

P*: personal sample, a**: area sample

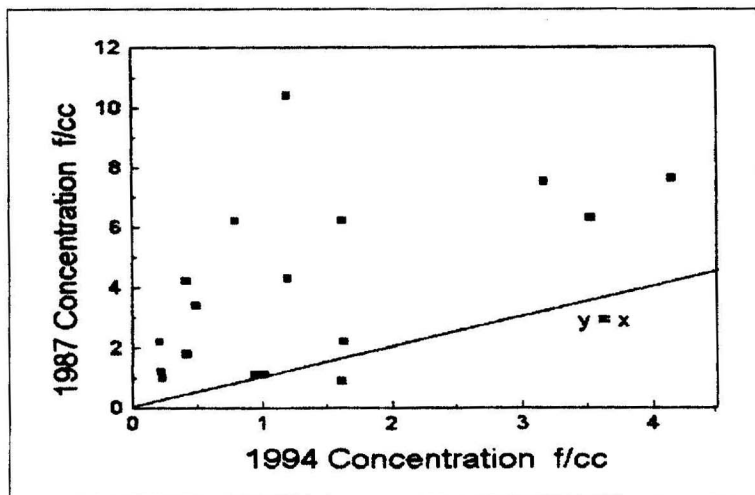


Fig. 14. Comparison of Airborne Fiber Concentrations in 1987 and 1994.

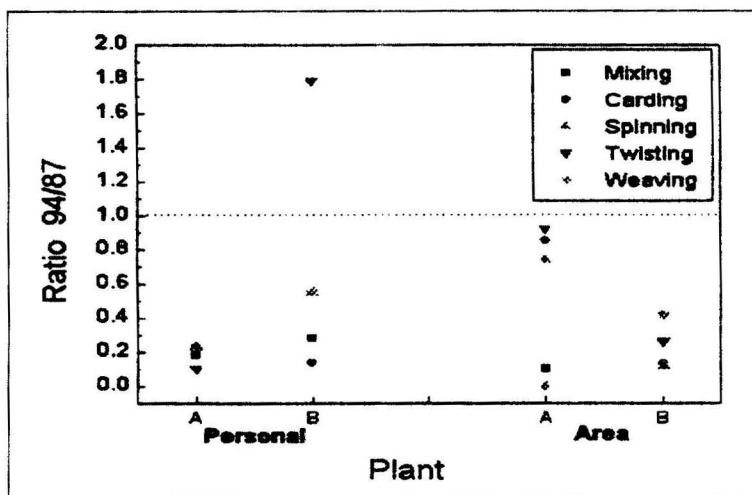


Fig. 15. Ratio of Airborne Fiber Concentration 1994/1987 by Plant.

표 15에 의하면 기본공정에 대한 B 사업장의 공기 중 석면농도의 기하평균은 개인시료인 경우 1.69 개/cc, 장소시료인 경우 1.49 개/cc이다. 앞의 분석결과 개인시료와 장소시료의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 있었으므로($p < 0.05$) 시료의 형태를 구분하여 이용하는 것이 바람직하다. 근로자의 노출수준을 더 잘 반영하는 것이 개인시료이므로 본 연구에서는 개인시료의 기하평균을 추정의 출발점으로 삼을 것이다. 출발점을 결정할 때 방직사업장의 기본 공정만을 대상으로 계산하였으므로 추정에서도 기본 공정 이외의 다른 공정은 고려하지 않을 것이다.

2) 모형유도

현재 여러 사업장의 농도수준을 분석하여 수학적 모형(Mathematical Model)에 적용함으로써 본 연구에서는 과거 농도를 추정할 것이다. 이 모형을 적용하기 위하여 “공기중 석면농도에 영향을 미치는 각 요인들은 독립적으로 그리고 선형의 관계를 가지고 농도에 기여할 것이다”라고 가정한다. 이 가정은 이전에 수행된 Dodgson 등의 연구에서도 명시된 것이다(Dodgson 등, 1987).

Cherrie등이 man-made mineral fiber(MMMF) 제조 사업장에서 공기 중 섬유 농도를 조사한 바에 따르면 고품 생산품에서 섬유의 길이, 결합제 및 oil

의 함량, 작업공정, 공장건물의 크기, 생산율, 환기 시설, 보호구의 착용, 작업장의 청소상태, 그외의 다른 공정 등이 공기 중 섬유농도에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Cherrie와 Dodgson, 1986).

1987년의 농도 수준과 현재의 농도수준의 차이를 생기게 한 요인은 공정상의 변화, 국소배기시설의 설치 및 개선, 공장가동율의 변화, 작업방식의 변화, 작업장의 청소방법과 청소상태, 측정 당시의 계절적인 요인 등이 있다. 이들 요인들의 변화 시점을 결정하기 위하여 대상 사업장의 연혁을 과거기록과 관리자와의 면접을 통하여 가능한 한 상세하고 정확하게 얻어내는 것이 중요하다.

3) 각 요인의 기여도(Multiplier) 유도

공기 중 농도에 영향을 미치는 요인들의 기여도는 전문가의 판단(professional judgement)에 의하거나 제한된 실험실 조건에서 실험값을 구하는 방법 등을 이용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 문헌에서 제시하고 있는 값과 산업위생 전문가의 판단에 따라 기여도를 가정하되, 기여도에 범위를 두어 추정값을 상한값(upper bound)과 하한값(lower bound)으로 구한 것이다. 만약 어떤 요인이 농도 변화에 영향을 미치지 않을 수도 있는 경우 기여도의 하한값은 1로 가정한다.

① 환기 : 사업장의 공기 중 유해물질을 관리하는 가장 중요하고 효과적인 방법은 국소환기시설을 갖추는 것이다. Dodgson 등은 국소배기시설을 도입할 경우의 기여도로 2를 제시한다(ACGIH, 1989). 또한 Thomas 등은 전체환기의 기여도로 10을 제시하고 있다(Schneider 등, 1991). 본 연구에서는 조사 당시 국소배기시설이나 전체환기시설이 적절히 가동되고 있지 않았음을 고려하여 기여도의 범위를 설정하였다.

② 공장가동율 : 어떤 한 공정에서 다른 모든 조건

이 동일하다면 생산율(Production Rate)은 근로자의 노출정도에 영향을 끼친다(Esmen, 1979; Kalliokoski, 1990). 본 연구에서는 생산율의 대리자로 공장가동율의 기여도를 적용한다. 공장가동율 대신에 석면사용량을 대신 사용하여도 무방할 것이다. Dodgson 등의 연구 결과에 MMMF 사업장에서 생산율에 따른 기여도의 변화가 제시되어 있는데, 그것들은 다음과 같다(Dodgson 등, 1987).

본 연구에서는 Dodgson 등이 제시한 값을 인용하여 추정에 사용하고자 한다.

③ 습식법 : 습식법은 분진의 발생과 재비산을 억제하는 효과적인 방법이다. 백 등의 연구에 의하면 건물의 방화물질을 칠할 때 습식법을 적용함으로써 작업장 내 석면분진농도를 건식법으로 했을 때의 3% 수준으로 감소시킬 수 있었다(Paik 등, 1983). 석면방직업에서는 원료에 직접 수분을 가하는 작업이 불가능하므로 그 정도는 미약할 것이다. 그러나 작업장 바닥에 물을 뿌려준다면 분진의 재비산으로 인한 공기 중 농도의 증가는 억제할 수 있을 것이다. B 사업장과 D 사업장의 정방공정은 후드 형태와 제어속도가 같았고, 연사공정은 두 곳 모두 국소배기시설이 없었다(표 4). 조사 당시 두 사업장 모두 창문을 열어놓고 작업하고 있었고 두 공정에서의 기계가동율도 역시 50 %로 같았다(표 2). 공기 중 석면 농도에 영향을 미치는 주요한 요인들이 같은 조건에서 B, D 두 사업장의 두 공정에서의 농도 차이는 작업 중에 바닥에 물을 뿌린 것과 아닌 것의 차이에 기인할 것이다. 두 사업장의 두 공정에서 개인시료 농도의 관계를 나타내면 다음 표 17과 같다.

Table 17. Relationship of Asbestos Concentration for Spinning and Twisting Process at Plants B and D

	Asbestos Concentration, f/cc		Ratio(D/B)
	B	D	
Spinning	4.15	6.77	1.63
Twisting	1.61	7.04	4.37

④ 이 외에 작업환경의 점진적인 개선, 청소상태 개선, 근로자 수의 변화 등 대상 사업장에서 얻을 수 있는 정보들을 가능한 한 모형에 적용시킬 수 있다

Table 16. Model Multipliers for Varying Rates of Production

Percentage of production of Capacity	Multiplier
75	0.9
50	0.8
25	0.6
10	0.5

록 할 것이다.

4) 공기 중 농도의 모형을 통한 추정

B 사업장을 대상으로 하여 과거농도 추정모형을 구성하기 위하여 먼저 면접을 통해 얻은 사업장의 연혁과 각 요인별로 설정한 기여도를 정리하면 다음 표 18과 같다.

표 18에서 제시한 기여도를 출발농도에서 시작하여 시간에 따라 적용하면 다음 그림 16과 같은 과거 농도 모형을 얻을 수 있다.

표 18을 토대로 작성한 그림 16에서 의하면 B 사업장의 1975년 설립당시 공기 중 석면농도는 11.0 개/cc와 92.4 개/cc 사이였을 것으로 추정된다.

Dement 등이 석면방직사업장에서 1930년과 1975년 사이의 공기 중 석면 농도를 추정한 연구에

Table 18. Data Used to Estimate Past Asbestos Concentration at Plant B

Date	Variant affecting airborne fiber levels	Multiplier
1994	Wetting floor per 1 hour Production rate : 50%	1 - 1.5
1992	Improvement of local ventilation	1 - 2
1992	Production rate : 100%	1.3
1987	No. of Workers	1
1985	Installation of local ventilation	5 - 7
1979	No. of Workers	1
1975	Start	

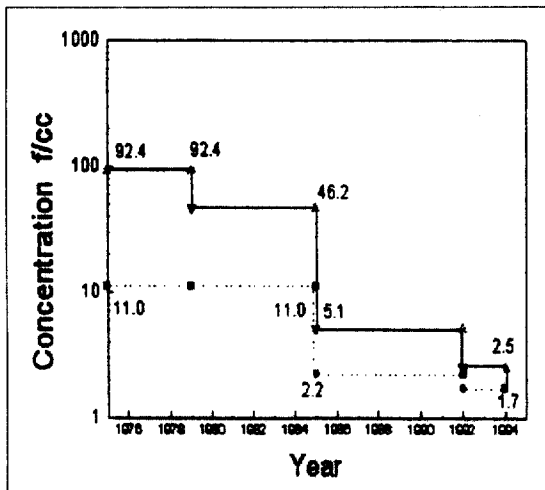


Fig. 16. Estimates of Past Asbestos Concentrations Using Mathematical Model.

의하면 사업장의 분진관리를 하기전 농도는 3-78개/cc였고, 관리 이후는 3-17 개/cc였다. 또한 이 연구에서는 Lynch와 Ayer가 1966년에 발표한 결과가 1.1-22.4 개/cc였다고 인용하고 있다(Dement 등, 1983).

이로써 연구의 결과가 다소 높은 값을 보이는 것으로 나타났으나 농도를 추정하고자 하는 시기에 석면방직업에 종사했던 근로자들의 증언과 위 연구에서 기술하고 있는 당시 작업조건이 현재의 우리나라 상태와 비슷함을 감안하면 본 연구의 추정값이 과대평가되었다고 보기는 어렵다. “비포장도로에 트럭이 지나가고 난 직후 먼지가 일듯” 이라든가, “사업장에 들어간 동료의 모습이 금새 먼지 속으로 사라졌다” 는 등의 증언이 대표적이다. 또한 이전의 작업방식이 대부분 수동식으로 이루어졌음을 고려한다면 실제 근로자들의 노출정도는 경우에 따라 추정치 이상일 수 있다.

결 론

1994년 7월 8일부터 9월 2일까지, 노동부에 등록된 9개 석면방직 사업장 중 6개 사업장을 대상으로 현재 석면방직업 근로자의 석면노출실태를 사업장별, 작업공정별로 파악하고 노출정도에 영향을 미치는 요인들과의 관계를 조사하였다. 석면방직사업장의 과거 석면노출농도에 관한 자료를 정리하여 노출정도의 변화를 보았고, 현재 노출농도와 사업장의 기록을 토대로 수학적 모형을 이용하여 과거의 노출정도를 추정하였다.

이 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1. 전체 석면방직 사업장의 평균농도는 1.54 개/cc, 범위는 0.03-11.58 개/cc 였다. 평균농도가 가장 낮은 사업장은 0.32 개/cc 였고, 가장 높은 사업장은 허용기준을 4배 이상 초과하는 8.04 개/cc 였다. 이로써 사업장에 따라 근로자 노출 수준에 25배 이상 차이가 있음을 알 수 있다. 연구대상 6개 사업장 중 절반인 3개 사업장의 평균농도가 노동부 허용기준을 초과하였고, 모든 사업장의 평균농도가 ACGIH TLV를 초과한 것으로 나타났다.

2. 전체 시료 56개 중 22개 (39%)가 노동부 허용기준을 초과하였고, 53개 (95%)가 ACGIH TLV를 초과하였다. 개인시료 총 32개 중 노동부 허용기준

을 초과하는 것은 15개(47%), ACGIH TLV를 초과하는 것은 30개(94%)였다. 장소시료는 사무실에서 측정된 시료를 제외하면 총 24개로 노동부 허용기준을 초과하는 것은 7개(29%), ACGIH 기준을 초과하는 것은 23개(96%)였다.

3. 공정별 농도의 분포를 보면 직조공정이 평균 4.29 개/cc, 범위 2.61-11.58 개/cc로 가장 높은 수준이었고 다음이 정방(평균 2.22 개/cc, 범위 0.41-8.93 개/cc), 소면(평균 1.98 개/cc, 범위 0.23-10.93 개/cc), 연사(평균 1.65 개/cc, 범위 0.21-9.83 개/cc), 혼면(평균 0.48 개/cc, 범위 0.22-1.20 개/cc) 순으로 나타났다.

4. 석면방직 사업장의 기본적인 공정에서 채취한 시료는 모두 ACGIH의 권고기준을 초과하였다. 기본적인 공정에서 채취한 전체 42개 시료 중 19개(45%)가 우리나라 허용기준을 초과했으며, 개인시료는 24개 중 14개(58%)가, 장소시료는 18개 중 5개(28%)가 초과하였다. 공정별로는 직조가 모든 시료가 허용기준을 초과하였고 다음이 정방(54%), 소면(40%), 연사(27%)의 순이었다.

5. 석면방직사업장의 공기 중 석면의 농도는 모든 공정에서 감소하고 있으므로 분진관리기술과 생산기술이 개선되어 왔음을 알 수 있다.

6. 석면방직사업장의 현재 농도 수준을 분석하여 수학적 모형에 적용한 결과 1975년의 농도수준은 11.0-92.4 개/cc로 추정되었다.

REFERENCES

- 노동부 : 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제 91-21호, 1991
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH : *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1993-1994*, ACGIH, 1994
- 박두용 : 석면 슬레이트 제조 및 석면 방직 사업장 근로자의 석면분진 폭로, 서울, 서울대학교 보건대학원 석사논문, 1988
- 오세민, 신용철, 박두용, 박동욱, 정규철 : 일부석면 취급 사업장의 석면폭로 농도 및 작업환경 관리기준에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993; 3(1) : 100-109
- Paik NW, Walcott RJ, Brogan PA : *Worker Exposure to Asbestos During Removal of Sprayed Material and Renovation Activities in Buildings Containing Sprayed Material*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1983;44(6):428-432
- 국립노동과학연구소 : 사업장유해환경실태조사-석면취급사업장, 서울, 노동부, 1984
- NIOSH : *Fibers, Method No. 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd Ed.*, DHHS(NIOSH) Publication No. 84-100, Cincinnati, OH, 1984
- Rong CY, Tan WY, Andjelkovich DAA, Levine RJ : *A Deterministic Mathematical Model for Quantitative Estimation of Historical Exposure*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1990;51(4):194-201
- Bragg GM : *The Basics of Asbestos Dust Control, 3rd Ed.*, The Asbestos Institute, 1990
- Eisen EA, Smith TJ, Wegman DH : *Estimation of Long-Term Dust Exposures in Vermont Granite Sheds*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1984;45:89-94
- ACGIH : *Industrial Ventilation, 21th. Ed.*, ACGIH, 1992
- ACGIH : *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants, 7th Ed.*, ACGIH, 1989
- Cralley LV, Cralley LJ : *In-Plant Practices for Job Related Health Hazards Control; Vol.1 Production Processes*, John Wiley and Sons, 1989
- 백남원, 이영환 : 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 폭력에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1991;1(2):144-153
- Schneider T, Olsen I, Jorgensen O, Lauersen B : *Evaluation of Exposure Information*. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1991;6(6):475-481
- Smith TJ, Hammond SK, Hallick M, Woskie SR : *Exposure Assessment for Epidemiology: Characteristics of Exposure*. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1991;6(6):441-447
- Dodgson J, Cherrie J, Groat S : *Estimation of Past Exposure to Respirable Man-Made Mineral Fibers in the European Insulation Wool Industry*. Ann. Occup. Hyg. 1987;31(48):567-582
- Cherrie J, Dodgson J : *Past Exposure to Airborne Fibers and Other Potential Risk Factors in the European Man-Made Mineral Fiber Production Industry*. Scand. J. Work. Environ. Health 1986;12(Suppl. 1):26-33
- Esmen N : *Retrospective Industrial Hygiene Surveys*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1979;40(1):58-65
- Kalliokoski P : *Estimating Long-Term Exposure Levels in Process-Type Industries Using Production Rates*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1990;51(6):310-312
- Dement JM, Harris RL, Symons MJ, Shy CM : *Exposures and Mortality Among Chrysotile Asbestos workers Part I: Exposure Estimates*. Am. J. Ind. Med. 1983;4:399-419