

석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구*

서울대학교 보건대학원

백 남 원 · 이 영 환

— Abstract —

Characterization of Worker Exposure to Airborne Asbestos in Asbestos Industry

Nam Won Paik and Young Hwan Lee

School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

This study was conducted to evaluate worker exposure to airborne asbestos fibers by industry, and to evaluate polarized-light microscopy for determining airborne asbestos fibers.

A total of 11 plants including asbestos textile, brake-lining manufacturing, slate manufacturing, and automobile maintenance shops were investigated. Results of the study are summarized as follows.

1. Worker exposure levels to airborne asbestos fibers were the highest in asbestos textile industry, followed by brake-lining manufacturing, slate manufacturing, and automobile maintenance shops, in order. In asbestos textile industry, large variation of asbestos levels was found by plants. The worst plant indicated airborne fiber concentrations in excess of 10 fibers/cc, however, the best plant showed concentrations within 0.50 fibers/cc.

2. Characterization of airborne fibers by industry indicated that fibers from asbestos textile industry were the longest with the largest aspect ratio. Fibers from automobile maintenance shops were the shortest with the smallest aspect ratio. Based on characteristics of fibers and the highest levels of concentrations, it is concluded that workers in the asbestos textile industry are exposed to the highest risk of producing asbestosis, lung cancer, and mesothelioma.

3. Results obtained using polarized-light microscopy were $43.7 \pm 12.3\%$ of the results obtained using phase contrast microscopy. This may be resulted from the worse resolution of polarized-light microscopy than that of phase contrast microscopy. Based on the results, it is recommended that polarized-light microscopy be used for mainly bulk sample analyses and further study be performed to improve the method for determining

airborne samples. However, polarized-light microscopy can be used for determining thick fibers.

Key words : airborne asbestos concentration, characterization of airborne asbestos by industry, polarized-light microscopy for airborne asbestos analysis.

I. 서 론

석면에 폭로되면 석면폐(asbestosis), 폐암(lung cancer) 및 중피종(mesothelioma) 등 불치의 질병이 유발되며 특히 폐암과 중피종은 저농도의 석면에도 장기간 폭로되면 발생할 수 있는 질병이다. 석면은 용도가 매우 다양하여 수천종의 석면제품이 생산되고 있으며 주로 석면 슬레이트, 자동차 브레이크 라이닝, 화재방지용 살포제, 파이프 보온재, 방화외복, 전기제품 절연재, 바닥용 타일 등에 사용된다. 석면은 국내에서 생산되지 않으므로 전량 수입에 의존하고 있으며 매년 약 8만톤씩 수입되고 있다.

국내의 석면 사용 사업장은 주로 슬레이트 제조업, 석면 방직업 및 자동차 브레이크 라이닝 제조업 등이며 자동차 정비업소에서는 브레이크 라이닝 교체 작업시에 근로자들이 석면에 폭로되고 있다.

석면에 의한 폐암 발생 위험도는 업종별로 차이가 있어서 석면 방직업에서 가장 높고 다음이 슬레이트 제조업 및 마찰물질 제조업 등의 순서라고 보고된 바 있다(Antman 등, 1986). Lippmann은 석면에 의한 질병 발생 위험도는 석면섬유의 형태와 밀접한 관계가 있다고 보고하였으며 석면폐와 관계있는 석면섬유는 길이가 $2\mu\text{m}$ 이상이고 직경이 $0.15\mu\text{m}$ 이상인 섬유이고 중피종과 관계있는 것은 길이가 $5\mu\text{m}$ 이상이고 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 미만인 길고 가는 섬유이고, 폐암과 관계있는 석면 섬유는 길이가 $10\mu\text{m}$ 이상이고 직경이 $0.15\mu\text{m}$ 이상인 길고 굵은 것이라고 주장하였다(Lippmann, 1987).

공기중 석면 농도의 측정방법에는 위상차 현미경법, 편광 현미경법 및 전자 현미경법 등이 있

으며 산업위생 분야에서는 위상차 현미경법이 주로 사용되고 있으나 이 방법으로는 석면 섬유와 비석면 섬유를 구별할 수 없는 단점이 있다. 그리고 전자 현미경법은 가장 정확한 방법이나 측정방법이 복잡하고 시간이 많이 소모되며 또한 기구가 고가이므로 널리 보급될 수 없는 방법이다. 그러므로 최근 미국에서는 가격이 저렴하고 조작이 비교적 간단한 편광 현미경법에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구의 목적은

- (1) 석면사업장을 대상으로 공기중 석면농도를 측정하여 근로자의 석면 폭로실태를 파악하고
- (2) 업종별로 공기중 석면의 길이와 굵기 : 직경비를 측정하여 업종에 따른 석면의 형태를 관찰하고
- (3) 현재의 편광 현미경법을 개선, 보완하여 공기중 석면을 감별 측정하고 위상차 현미경법에 의하여 측정된 총 섬유농도와 비교하여 편광현미경법을 산업위생 분야에 적용할 수 있는지의 여부를 평가하는데 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

표 1에서 보는 바와 같이 석면 방직업, 브레이크 라이닝 제조업, 석면 슬레이트 제조업 및 자동차 정비업 등 4개 업종에서 선택된 총 11개의 사업장을 대상으로 하였다.

2. 방 법

(1) 근로자의 석면 폭로실태 조사

근로자의 석면폭로 실태를 파악하기 위하여 가능한한 근로자의 호흡위치에서 개인용 시료(personal samples)를 채취하였고 채취시간은 가능한

*이 논문은 1990년도 문교부 학술연구조성비에 의한 자유공모과제로 선정되어 연구되었음.

Table 1. Number of plants surveyed by industry

Type of industry	Number of plants
Asbestos textile	4
Brake-lining manufacturing	3
Asbestos slate manufacturing	2
Automobile maintenance	2
Total	11

한 장시간을 택하였다. 그리고 보조적으로 작업장내 근로자의 작업위치에 고정시킨 장소 시료(area samples)도 채취하였다. 시료의 분석은 미국국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)와 노동성 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 추천하는 공정시험법인 'NIOSH 7400 방법'을 이용하여 실시하였다(NIOSH, 1984; OSHA, 1986). 시료는 직경 37mm이고 pore size $0.8\mu\text{m}$ 인 cellulose ester membrane filter에 시료채취용 펌프를 이용하여 약 2 Lpm의 유량으로 공기를 통과시켜 채취하였다. 석면시료는 acetone/triacetin 방법으로 투명화시킨 다음 Walton-Beckett graticule (계수 면적 0.00785mm^2)이 삽입된 위상차 현미경(Olympus Model BHS-313)을 이용하여 400배 배율에서 석면섬유를 계수하였으며 계수 방법은 'A 규칙'에 따랐고 길이 $5\mu\text{m}$ 이상이고 길이:직경비가 3이상인 섬유만 계수하였다. 이 방법에서는 석면 섬유뿐만 아니라 다른 종류의 섬유도 길이와 길이:직경비가 측정 범위내에 있으면 계수된다.

(2) 석면 섬유의 특성 조사

공기중 석면섬유의 길이와 길이:직경비의 분포를 업종별로 조사하였으며 'NIOSH 7400 방법'에 따라 시료를 투명화시킨 후 micrometer를 이용하여 길이 및 길이:직경비를 측정하였다.

(3) 편광 현미경법

시료를 'NIOSH 7400 방법'과 동일한 방법으로 투명화시킨 후 편광 현미경(Olympus Model BH-SP-753)으로 석면 섬유를 감별 분석하였다. 편광 현미경법은 물질시료(bulk sample)에 대해서는 널리 사용되어 왔으나 공기 시료에 대해서는 별로 사용되지 않고 있으며 공식적으로 인정된

에는 없다. 따라서 본 연구에서는 현재 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서 물질시료에 대하여 잠정적으로 추천하고 있는 방법(EPA, 1982)과 공기중 석면농도 측정을 위하여 연구된 Spooner (1982)의 방법 및 미국 Clayton 환경연구소(1985)에서 잠정적으로 이용하고 있는 방법을 종합하고 보완 개선하여 석면 섬유 농도를 측정하였다. 본 연구 대상 사업장에서는 chrysotile(백석면)만 사용하였으므로 chrysotile의 감별 분석을 실시하였으며 분석법을 요약하면 다음과 같다.

(i) 현미경의 stage를 회전하며 섬유가 NE-SW(북동-남서) 방향을 가리킬 때 섬유의 색이 청색이 되고 다시 stage를 90° 회전했을 때 황색이 나타나면 그 섬유는 sign of elongation 양성이고 석면일 가능성이 있으므로 다음 (ii)로 가서 계속 분석한다. 만약 섬유가 NE-SW 방향에서 황색이 나타나고 90° 회전시 청색이 나타나면 그 섬유는 sign of elongation 음성이고 석면이 아니다.

(ii) Red I retardation plate를 현미경에서 제거후 stage를 회전한다. 만약 섬유가 밝게 빛나면 석면일 가능성이 있으므로 (iii)으로 간다. 그러나 회전시 모든 방향에서 섬유의 빛이 나타나지 않고 암흑상태에 있으면 이는 석면이 아니다.

(iii) 하부의 polarizer 진동방향과 나란히 섬유를 놓았을 때(Olympus 현미경에서는 N/S 방향) 섬유가 어두워지면 석면일 가능성이 있으므로(amosite일 경우 stage를 $\pm 2^\circ$ 회전할 것) (iv)로 간다. 이는 parallel extinction을 보이기 때문이다. 만약 섬유가 밝은 빛을 계속 나타내면(백색 또는 회색) 부분적인 extinction을 보이므로 석면이 아니다.

(iv) Red I retardation plate를 현미경에서 제거한 상태로 섬유의 색을 관찰한다. 만약 섬유의 색이 회색이면 낮은 birefringence를 나타내며 이는 석면일 가능성이 있고 (v)로 간다. 만약 섬유의 색이 황색, 청색, 적색 또는 녹색이면 birefringence가 높은 것을 말하며 이는 석면이 아니다.

(v) 섬유의 refractive index와 투명화를 위해 사용된 용액의 refractive index를 비교한다. 섬유에 초점을 맞춘 후 stage를 천천히 아래로 내린

다. 만약 Becke line(섬유를 둘러싼 'halo')이 섬유의 중앙을 향해서 움직이면 석면일 가능성이 있고, Becke line이 섬유의 중앙으로부터 밖으로 움직이면 석면이 아니다.

이상의 5단계에서 모두 석면일 가능성이 증명되면 그 섬유는 chrysotile 석면이라고 판단한다.

III. 결과 및 고찰

1. 공기중 석면농도의 허용기준

우리나라의 노동부(1991)와 미국정부산업위생 전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, 1990)에서는 동일한 값을 허용기준으로 설정하고 있으며 석면의 종류에 따라 1일 8시간 평균치로서 다음과 같이 정하였다.

Chrysotile : 2 개/cc

Amosite : 0.5 개/cc

Crocidolite : 0.2 개/cc

한편 미국 연방정부의 산업안전보건청에서는 모든 종류의 석면에 대하여 1일 8시간 평균치로서 0.2 개/cc를 허용기준으로 정하였고 감시농도

(action limit)로서 0.1 개/cc를 정하였다(OSHA, 1986).

2. 업종별 공기중 석면농도

업종별로 본 공기중 석면농도는 Table 2-Table 5 및 Fig. 1과 같다. 공기중 석면 섬유 농도가 가장 높은 업종은 석면 방직업으로서 평균 3.11 개/cc였고 범위는 0.10-17.30 개/cc였다. 따라서 평균농도가 우리나라의 허용 농도를 초과하고 있으며 단위 공장별로 보면 A공장에서 농도가 가장 낮아서 전체적으로 0.5 개/cc 미만이었 고 D공장에서 가장 높아서 농도가 10 개/cc이상 이었다(Table 2 참조). A공장은 국내의 석면 방직업소 중 작업환경 관리를 가장 철저히 실시하는 사업장으로 알려져 있으므로 국내의 다른 방직업체들도 이 공장을 본받아 작업환경 관리를 철저히 하면 석면농도가 낮아지리라 생각된다. 다음으로 석면농도가 높은 업종은 브레이크 라이닝 제조업이었고 전체 평균치는 0.68 개/cc로서 우리나라의 허용농도에는 미치지 않았으나 미국 연방정부의 허용농도인 0.2 개/cc를 초과하였다 (Table 3 참조). 슬레이트 제조업의 공기중 석면

Table 2. Airborne fiber concentrations by process in asbestos textile industry

Process	Average fiber concentration by plant, f/cc					
	Plant A	Plant B	Plant C	Plant D	Geometric mean	Range
Carding	0.38	0.55	8.70	17.30	4.63	0.38-17.30
Spinning	0.26	4.04	6.76	15.00	5.40	0.26-15.00
Twisting	0.10	1.30	6.65	12.60	3.98	0.10-12.60
Weaving	0.28	1.26	2.18	17.20	1.72	0.28-17.20
Total	0.10-0.38	0.55-4.04	2.18-8.70	12.60-17.30	3.11	0.10-17.30

Table 3. Airborne fiber concentrations by process in brake-lining manufacturing industry

Process	Average fiber concentration by plant, f/cc				
	Plant G	Plant H	Plant I	Geometric mean	Range
Mixing	0.15	0.46-3.08	0.44	0.45	0.15-3.08
Preliminary press	0.33	0.12-1.41	1.30	0.82	0.12-1.41
Hot press	0.75	0.51	0.90	0.75	0.51-0.90
Grinding	0.08	0.33-0.98	0.55	0.44	0.08-0.98
Drilling	0.10	0.26-0.94	0.99	0.60	0.10-0.99
Boxing	0.82	0.84	0.84	0.83	0.82-0.84
Total	0.08-0.82	0.12-3.08	0.44-1.30	0.68	0.08-3.08

Table 4. Airborne fiber concentrations by process in slate manufacturing industry

Process	No. of samples	Airborne fiber concentration, f/cc	
		Geometric mean	Range
Mixing	34	0.34	0.05-2.90
Forming	4	0.15	0.04-0.29
Sanding	5	0.76	0.35-2.60
Cutting	7	0.98	0.53-4.75
Packing/piling	4	0.51	0.12-3.22
Crushing	4	0.53	0.28-1.60
Total	58	0.52	0.04-4.75

Table 5. Airborne fiber concentrations by process in automobile maintenance shop

Process	No. of samples	Airborne fiber concentration, f/cc	
		Geometric mean	Range
Grinding brake-lining	16	0.28	0.04-2.51
Assembling brake-lining	7	0.40	0.03-3.04
Changing brake-lining	8	0.02	0.01-0.13
Brushing brake-lining	12	0.26	0.08-0.62
Cleaning dusts with compressed air	5	4.26	0.11-7.28
Brake-lining test	3	0.06	0.04-0.09
Total	51	0.27	0.01-7.28

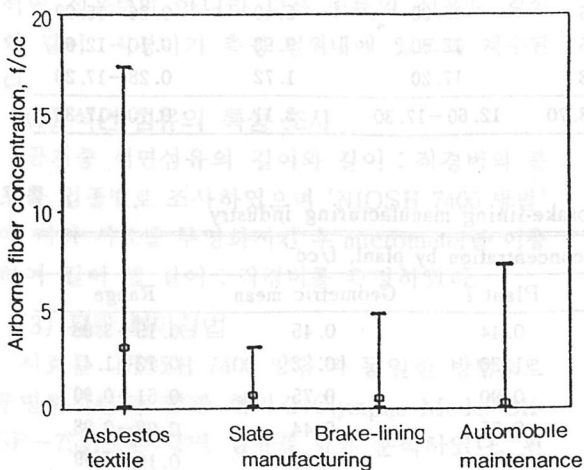


Fig. 1. Airborne fiber concentrations by industry.

농도는 평균 0.52 개/cc로서 우리나라의 허용농도에는 미치지 않았으나 미국 연방정부의 허용농도는 초과하고 있었다. 슬레이트의 제조방법은 습식이므로 배합공정과 성형공정에서는 비교적 낮은 농도를 보였고 절단, sanding, 포장 및 가공공정에서 오히려 높은 농도를 보였다(Table 4 참조).

자동차 정비업소에서는 브레이크 라이닝의 교체, 연마, 솔질 및 압축공기를 이용한 청소등을 실시할 때 공기중으로 석면이 비산되며 석면농도는 비교적 낮아서 전체 평균치는 0.27 개/cc였으며 다만 압축공기로 석면을 불어서 청소할 때 최고농도인 7.28 개/cc까지 도달하였다. 그러므로 브레이크 라이닝을 청소할 때 압축공기를 사용하지 않는 것이 바람직하다고 본다.

3. 공기중 석면의 특성

Table 6. Distribution of asbestos fibers by size and aspect ratio in asbestos textile industry (fiberizing, carding, spinning and weaving processes)

Aspect ratio	No. of fibers by size, μm							Total		
	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	>50	N	%	Cumulative %
<3	1	1	—	—	—	—	—	2	0	0
3-5	17	6	4	—	—	—	—	27	3	3
5-10	27	17	8	2	1	—	1	56	7	10
10-15	29	15	1	5	7	1	—	58	8	18
15-20	36	12	9	10	1	2	—	70	9	27
>20	100	99	89	106	48	30	97	569	73	100
Total	N	210	150	111	123	57	33	98	782	100
	%	27	19	14	16	7	4	13	100	
Cumulative %		27	46	60	76	83	87	100		

Table 7. Distribution of asbestos fibers by size and aspect ratio in brake-lining manufacturing industry (weighing and press processes)

Aspect ratio	No. of fibers by size, μm							Total		
	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	>50	N	%	Cumulative %
<3	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0
3-5	3	—	—	—	—	—	—	3	4	4
5-10	1	2	2	—	—	—	—	5	6	10
10-15	5	4	1	2	—	—	—	12	14	24
15-20	8	9	2	1	—	1	—	21	24	48
>20	7	9	12	12	1	1	3	45	52	100
Total	N	24	24	17	15	1	2	3	86	100
	%	28	28	20	17	1	2	4	100	
Cumulative %		28	56	76	93	94	96	100		

Table 8. Distribution of asbestos fibers by size and aspect ratio in slate manufacturing industry (mixing process)

Aspect ratio	No. of fibers by size, μm							Total		
	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	>50	N	%	Cumulative %
>3	1	—	—	—	—	—	—	1	1	1
3-5	4	—	1	1	—	—	—	6	8	9
5-10	5	2	8	1	—	—	—	16	22	31
10-15	3	3	1	2	—	—	—	9	12	43
15-20	6	4	2	3	—	—	—	15	20	63
>20	6	4	1	6	1	2	7	27	37	100
Total	N	25	13	13	13	1	2	7	74	100
	%	34	18	18	17	1	3	9	100	
Cumulative %		34	52	70	87	88	91	100		

Table 9. Distribution of asbestos fibers by size and aspect ratio in automobile maintenance shop (brushing process of brake-lining)

Aspect ratio	No. of fibers by size, μm							Total		
	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	>50	N	%	Cumulative %
<3	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0
3-5	5	—	—	—	—	—	—	5	9	9
5-10	3	3	2	—	—	—	—	8	14	23
10-15	8	2	4	—	—	—	—	14	25	48
15-20	5	5	2	3	2	—	2	19	33	81
>20	1	4	2	1	—	—	3	11	19	100
N	22	14	10	4	2	0	5	57	100	
Total %	39	25	17	7	3	0	9	100		
Cumulative %	39	64	81	88	91	91	100			

공기중 석면 섬유 길이와 길이 : 직경비의 분포를 업종별로 본 결과는 Table 6—Table 9와 같다.

(1) 섬유의 길이 분포

섬유 길이의 분포상태를 검정하기 위하여 대수 정규분포 그래프에 넣어본 결과 Fig. 2와 같이 업종별로 각각 직선을 나타냈다. 따라서 공기중 석면 섬유의 길이는 대수 정규 분포를 한다는 사실을 알 수 있었으며 대표치로서 기하평균치(geometric mean, GM)와 기하표준편차(geometric standard deviation)를 산출한 결과 Table 10과 같았다. 업종별로 석면 방직업에서 발생하는 석면 섬유의 길이가 가장 길었고 자동차 정비소에서 브레이크 라이닝을 청소할 때 발생하는 석면 섬유가 가장 짧았다. 이는 자동차 브레이크 라이닝의 석면은 자동차가 정차할 때마다 마모되므로 길이가 짧아진 것으로 추측된다. 브레이크 라이닝 제조업과 슬레이트 제조업에서 발생하는 석면 섬유의 평균 길이는 동일하였으며 분포에는 차이가 있었다. 석면 섬유의 길이 분포가 업종별로 유의한 차이가 있는지의 여부를 확인하기 위하여 통계학적으로 가장 적절한 방법이라고 판단되는 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 적합도 검정법(이승욱, 1990)을 적용하여 검정해 본 결과 석면 방직업의 석면은 브레이크 라이닝 제조업 및 자동차 정비업의 석면과 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다($p < 0.05$). 즉 석면 방직업에서 발생하는 석면 섬유가 브레이크 라이닝 제조업이나 자동차 정

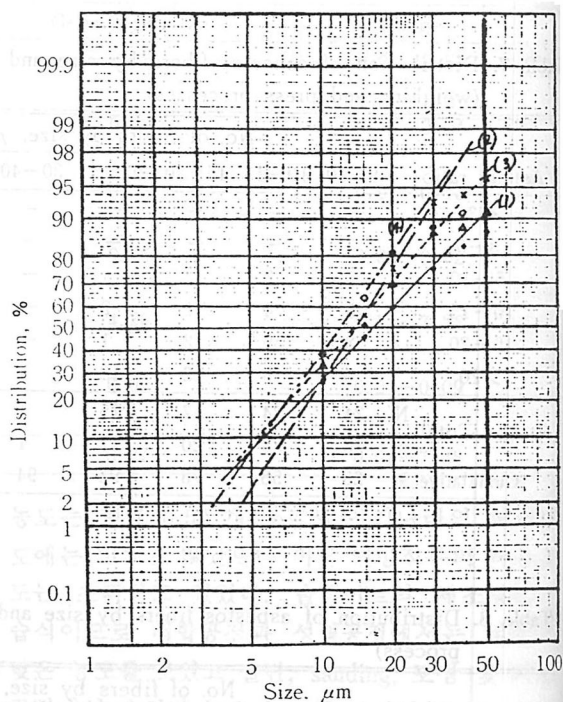


Fig. 2. Distribution of fiber size by industry.

●: Textile (1), x: Brake-lining (2), △: Slate (3), ○: Automobile (4).

비소에서 발생하는 석면 섬유보다 길었다.

(2) 섬유의 길이 : 직경비의 분포

길이 : 직경비의 분포는 Table 6—Table 9에 나타나 있고 이를 요약하면 Table 11과 같다. 표에서 보는 바와 같이 석면 방직업에서 발생하는 석면 섬유의 73%가 길이 : 직경비 20 이상임을 보였고 브레이크 라이닝 제조업, 슬레이트 제조업

Table 10. Geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD) of asbestos fiber size by industry

Industry	GM, μm	84th Percentile, μm	GSD
Asbestos textile manufacturing	16.2	36.5	2.25
Brake-lining manufacturing	13.8	23.0	1.67
Slate manufacturing	13.8	27.5	1.99
Automobile maintenance	11.8	21.0	1.78

Table 11. Distribution of aspect ratio by industry

Aspect Ratio	Distribution by Industry							
	Textile		Brake-lining		Slate		Automobile	
	Cumulative		Cumulative		Cumulative		Cumulative	
	%	%	%	%	%	%	%	%
<3	0	0	0	0	1	1	0	0
3-5	3	3	4	4	8	9	9	9
5-10	7	10	6	10	22	31	14	23
10-15	8	18	14	24	12	43	25	48
15-20	9	27	24	48	20	63	33	81
>20	73	100	52	100	37	100	19	100

및 자동차 정비업등에서 발생하는 석면으로서 길이 : 직경비 20 이상인 석면은 각각 52%, 37%, 및 19%였다. 길이 : 직경비의 분포를 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 적합도 검정법을 이용하여 통계 처리한 결과 석면 방직업에서 발생하는 석면은 다른 3개 업종에서 발생하는 석면과 길이 : 직경비의 분포에 있어서 유의하게 차이가 있음이 확인되었다($p < 0.01$). 또한 자동차 정비업에서 발생하는 석면은 브레이크 라이닝 제조업에서 발생하는 석면과도 유의한 차이가 있음이 확인되었다($p < 0.01$). 즉 자동차 정비업에서 발생하는 석면은 길이 : 직경비가 유의하게 낮았다.

이상의 결과를 요약하면 석면 방직업에서 발생하는 석면은 타 업종의 석면에 비해 길이가 가장 길고 길이 : 직경비가 가장 높았으며, 반대로 자동차 정비업의 자동차 브레이크 라이닝에서 발생하는 석면분진은 길이가 가장 짧고 길이 : 직경비는 가장 낮았음이 확인되었다. 이는 석면에 의한 질병 발생의 위험도를 예측할 수 있는 좋은 자료라고 생각된다.

4. 편광 현미경법을 이용한 공기중 석면분석법

‘NIOSH 7400방법’은 위상차 현미경법으로서 공기중에 존재하는 모든 섬유(길이 $5\mu\text{m}$ 이상이고

길이 : 직경비 3 이상인 섬유)를 계수하므로 석면이 아닌 섬유도 포함되어 있다. 석면섬유만 감별 측정하는 방법으로는 전자 현미경법이 이용되고 있으나 시간이 많이 소모되고 장비가 고가이므로 산업위생분야에서 항상 사용하기에는 곤란하다. 그러므로 비교적 간편한 편광 현미경법이 개발되어 왔으나 아직 공정시험법으로 인정받지 못하고 있다.

본 연구에서는 동일한 시료에 대하여 위상차 현미경법과 편광 현미경법을 적용하여 측정하였으며 그 결과는 Table 12에 나타나 있다. 표에서 보는 바와 같이 위상차 현미경법에 의해 측정된 총 섬유에 대한 편광 현미경법에 의해 측정된 석면 섬유의 비율은 $43.7 \pm 12.3\%$ 였고 범위는 29-71%였다. 본 조사대상 사업장은 석면을 취급하는 사업장으로서 공기중 섬유의 대부분이 석면 섬유일 것으로 추측되므로 편광 현미경법에 의한 결과는 실제 존재하는 석면섬유 농도를 과소 평가한 것으로 추정된다. 이는 편광 현미경법에서의 시야의 선명도가 위상차 현미경의 선명도보다 약하기 때문에 편광 현미경으로 측정할 수 없는 매우 미세한 섬유도 위상차 현미경으로는 측정이 가능하기 때문인 것으로 추측된다. 따라서 편광 현미경법은 물질시료에 대해서는 매우 적절하나

Table 12. Comparison of analytical results using phase contrast microscopy (PCM) and polarized-light microscopy (PLM)

Source of sample	Total fibers by PCM (A)	Asbestos fibers by PLM (B)	Ratio, % (B/A × 100)
Textile :			
Fiberizing 1	227,600	144,000	63
Fiberizing 2	184,000	71,200	39
Carding 1	65,100	29,700	46
Carding 2	88,700	42,500	48
Carding 3	171,700	121,500	71
Spinning 1	65,600	26,100	40
Spinning 2	280,300	105,100	37
Weaving 1	95,300	33,800	35
Weaving 2	135,000	47,200	35
Brake-lining manufacturing :			
Weighing	25,100	11,300	45
Hot press	65,100	23,600	36
Grinding of brake-lining	85,100	25,100	29
Mean			43.7 ± 12.3
Range			29 - 71

공기중 석면 농도 측정에는 결함이 있음을 알 수 있고 앞으로 계속 연구가 필요하다고 판단된다.

IV. 결 론

석면 방직업, 브레이크 라이닝 제조업, 슬레이트 제조업 및 자동차 정비업 등 4개 업종에서 총 11개의 석면 사업장을 대상으로 근로자의 석면 폭로실태, 업종별 석면의 특성 및 편광 현미경법에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 근로자의 석면폭로실태를 업종별로 본 결과 석면 방직업에서 가장 높았고 자동차 정비업에서 가장 낮았다. 브레이크 라이닝 제조업과 슬레이트 제조업에서는 평균농도가 우리나라의 허용농도 미만이었으나 미국 연방정부의 허용농도는 초과하고 있었다. 석면 방직업에서는 사업장에 따라 차이가 많았고 가장 농도가 낮은 사업장의 평균 석면농도는 0.50 개/cc미만이었으나 열악한 사업장의 평균농도는 10 개/cc를 초과하였다.

2. 공기중 석면의 특성은 업종별로 차이가 있

었으며 석면 방직업에서 발생하는 석면은 길이가 가장 길고 길이 : 직경비가 가장 높았다. 자동차 정비시 자동차 브레이크 라이닝에서 발생하는 석면은 길이가 가장 짧고 길이 : 직경비가 가장 낮았다. 따라서 길이가 가장 긴 석면이 발생하는 석면 방직업에서 폐암, 중피종 및 석면폐의 발생 위험도가 가장 높을 것으로 판단된다.

3. 편광 현미경법을 이용하여 공기중 석면 농도를 측정한 결과 위상차 현미경법에 의한 측정치의 $43.7 \pm 12.3\%$ 로서 석면 농도를 과소평가 할 우려가 있는 것으로 판단된다. 이는 편광 현미경에 의한 선명도가 위상차 현미경에 의한 선명도보다 낮기 때문이라 생각된다. 따라서 편광 현미경법은 물질시료의 분석에는 적절하나 공기시료 분석에는 부적절하다고 판단된다. 다만 직경이 큰 석면 섬유에 대해서는 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : TLVs® Threshold Limit Value

- es and Biological Exposure Indices for 1990-1991. ACGIH, Cincinnati, Ohio 1990.
- Antman K. and Aisner J. (ed): *Asbestos-Related Malignancy*, New York, Grune & Stratton, Inc., 1986.
- Clayton Environmental Consultants, Inc.: *Asbestos fibers: polarized light-phase contrast microscopy (PLM-PCM)*. Clayton Environmental Consultants, Inc. Novi, Michigan, 1985.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA): *Test method: Interim method for the determination of asbestos in bulk insulation samples*. EPA-600/M4-82-020, 1982.
- Lippmann M.: *Review: Asbestos exposure indices. Presented at the Eighth Annual Scientific Meeting, Universities Occupational Safety and Health Educational Resource Center, New York, April 2, 1987*.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): *Fibers, Method 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods*. 3rd ed., DHHS (NIOSH) Publication No. 84-100, Cincinnati, Ohio, 1984.
- U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (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.
- Spooner C. M.: *A polarized light-phase contrast microscopic method for the identification of asbestos in membrane filter samples-A workshop*, IBM Corporation, March 23, 1982.
- 노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제91-21호, 노동부, 1991.
- 이승욱(편저): 통계학의 이해-보건학·의학·생물학관련 자료 중심, 자유아카데미, 1990, pp.578-585.