

보건분야·연구자료
연구원 99-40-110
H-RD-I-99-40-110

유해인자 취급 사업장 작업환경개선연구

인조광물섬유 제조 및 취급 업체의 공기중 섬유농도,
섬유크기 특성 및 작업환경 개선 방안에 관한 연구



한국산업안전공단
산업안전보건연구원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 문헌고찰	3
1) 인조광물섬유의 종류 및 물리화학적 특성	3
2) 인조광물섬유 생산량 및 수입량	10
3) 인조광물섬유의 용도	12
4) 인조광물섬유 노출 직업	13
5) 작업장 공기중 인조광물섬유 농도	14
6) 생체내 침착, 정화, 잔류 및 지속성	15
7) 동물에 미치는 영향	15
8) 인체에 미치는 영향	17
9) 직업적으로 노출되는 근로자에 대한 건강위험 평가	19
10) 인조광물섬유 측정 방법	20
3. 연구목적	23
1) 궁극적 목적	23
2) 구체적 목적	23
II. 대상 및 방법	24
1. 대상	24
1) 조사대상 업체 현황	24
2) 공정	26

2. 방법	31
1) 공기중 총분진 및 섬유 농도 측정	31
2) 중량분석법과 계수 분석법간의 상관관계	31
3) A 규칙 및 B 규칙에 의한 결과 비교	32
4) 공기중 섬유의 크기 측정	32
5) 근로자의 공기중 총분진 및 섬유 노출농도 평가	32
 III. 결과 및 고찰	 34
1. 공기중 인조광물섬유 측정방법 비교	34
1) 중량분석법과 섬유계수법 비교	34
2) 섬유 계수규칙간 비교	39
 2. 공기중 섬유의 크기 특성	 52
1) 총섬유중 호흡성 섬유의 비율	52
2) 공기중 섬유의 길이 및 직경 분포	55
3) 제품의 섬유직경과 공기중 섬유 직경 비교	68
4) 고찰	69
 3. 공기중 분진 및 섬유 농도	 72
1) 유리섬유 및 유리섬유제품 제조업	72
2) 암면 및 암면 제품 제조업	77
3) 세라믹 제조 및 단열재 제조업	81
4) 장유리섬유 제조 및 관련제품 제조업	86
5) 단열재 시공 및 사상 작업	88
6) 업종간 섬유 농도 비교	89
7) 고찰	93
 4. 관리방안에 대한 제안	 95
1) 공학적 관리	95
2) 공정변경	96
3) 호흡보호구 착용	96

4) 피부접촉 방지	96
5) 눈 접촉 방지	97
6) 누출 및 청소	97
7) 작업환경측정 및 평가	98
8) 인조광물섬유에 대한 노출기준 개정	98
9) 충분진에 의한 섬유노출 평가 및 관리	101
 IV. 요약 및 결론	 106
 참고문헌	 112

인조광물섬유 제조 및 취급업체의 공기중 섬유 농도, 섬유 크기 특성 및 작업환경 개선 방안에 관한 연구

신용철·이광용

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

Characterization of Airborne Fiber Concentration and Dimension, and Control Practices in the Processes of Manufacturing and Processing Man-Made Mineral Fibers

Yong Chul Shin and Gwang Yong Yi

Industrial Safety and Health Research Institute, Korea Industrial Safety
Corporation

ABSTRACT

This study was conducted to determine the size and concentration of airborne fibers in some factories producing and processing man-made mineral fibers (glass wool, rock wool, ceramic wool, and continuous glass filament fibers), and to evaluate the workers' exposure in these industries. In addition, this study's goal was to determine the correlation of fiber concentrations to dust concentrations, and to compare two fiber counting rules. It was found that the diameter of ceramic fibers was smaller than those of any other type of fibers, and that workers in the production and processing of ceramic fibers and in the installation of insulation were exposed to relatively high fiber concentrations. The correlation between dust and fiber concentrations in air samples from ceramic fiber factory was weak ($r=0.45$). The results of A counting rules and those of B counting rules were highly correlated ($r=0.93$), but significantly different ($p<0.05$).

I. 서 론

1. 연구배경 및 필요성

인조광물섬유(man-made mineral fibers, synthetic fibers, MMMF)는 유리면, 장유리섬유(continuous filament glass fibers), 암면섬유(rock wool fibers), 슬래그울(slag wool fibers), 내화성 세라믹섬유(refractory ceramic fiber), 실리콘 카바이드(silicon carbide) 등이 대표적인 종류이며 이들은 다양한 용도로 사용되고 있다.⁽¹⁾ 석면(asbestos)의 경우 이미 그 유해성이 널리 알려져 있어 이의 사용이 금지되거나 엄격하게 관리되고 있는 반면, MMMF의 경우 그 유해성이 약한 것으로 인식되어 지금까지 우리 나라에서 MMMF에 폭로되는 업종의 근로자의 섬유폭로 수준과 특성에 대해 보고된 자료가 거의 없으며 노출방지를 위한 관리가 소홀하였다. 우리 나라의 경우 현재 MMMF를 일반 분진(nuisance particulate)으로 인식하고 분진과 동일하게 취급하고 있다. 그러나 일부 MMMF의 유해성은 계속 비교적 크다고 알려져 있다. 우리 나라에서도 최근 유리섬유 보온재 제조공장 주변의 주민에게 종양이 발생하여 사회적인 문제가 되었는데, 이 질환은 식수로 오염된 지하수를 응용함으로써 체내 유입된 유리섬유에 의해 유발되었다는 주장이 제기된 바 있다.⁽²⁾

가장 일반적으로 알려진 MMMF의 건강 영향은 자극(irritation) 작용이며, 섬유에 노출되었을 때 나타나는 일반적인 증상은 가려움증이다. 또한 섬유 노출에 의해 피부 창상이 발생될 수 있으며 작은 홍반이 수반되나 노출이 중단되면 사라지는 일시적 증상이다.^(1,3) 유리섬유는 피부에 만성적인 건강장해를 유발하지 않는 것으로 알려져 있다. 피부자극은 섬유의 직경과 관련되며 직경이 4 μ m보다 큰 섬유의 경우 자극 반응을 잘 일으키며 1 μ m 이하의 섬유는 이러한 작용을 하지 않는 것으로 알려져 있다. 유리섬유는 피부뿐 만 아니라 눈, 상기도에도 자극을 유발할 수 있다.^(3,4) 유리섬유, 암면, 슬래그 면에 폭로된 근로자를 대상으로 실시된 여러 역학 연구에서 근로자의 호흡기 관련 암 사망률

률이 유의하게 증가되었다는 부분적인 증거가 있으나 명확하고 일관성 있는 양-반응 관련성은 부족하다.^(4,5,6) 늑막 내에 유리섬유를 주사한 동물에게서 암이 유발되었으며 독성의 크기는 섬유의 길이가 길수록 그리고 직경이 작을수록 증가하는 것으로 알려져 있다.⁽⁷⁻¹⁰⁾ 그러나 여러 연구자들이 동물에 대해서 흡입에 따른 발암성은 증명하지 못했다.^(7,8,11)

많은 동물실험 연구에서 유리섬유와 광물섬유에 의해 폐암(lung cancer), 중피종(mesothelioma) 및 육종(sarcoma)이 유발된다는 것을 증명하였으나, 아직까지 이들 섬유에 노출된 근로자에 대한 발암 가능성은 의심되나 확정되지는 않았다.⁽¹²⁾ National Toxicology Program(NTP)은 유리섬유를 "reasonably anticipate to be a carcinogen"으로 분류하였다.⁽¹³⁾ 그러나 현재까지 이들 섬유에 대한 역학 연구자료는 일관성 있는 양-반응 관련성이 없으며, 정확한 노출력에 대한 정보나 내재된 혼란변수로 인해 명확한 결론을 이끌어 내는 것은 제한점이 있다.⁽⁴⁾

따라서 미국의 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)에서는 유리섬유와 암면을 각각 "possible human carcinogen(Group C)" 및 "probable human carcinogen(Group B1)"으로,⁽¹⁵⁾ International Agency for Research on Cancer(IARC)에서는 각각 "possible human carcinogen(Group 2B)"으로 분류하고 있으며 인체에 암을 일으킨다는 사실을 지지할 수 있는 과학적인 증거는 아직까지 불충분하다는 결론을 내리고 있다.⁽¹²⁾ American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)에서는 유리면 섬유, 암면섬유, 슬래그울 섬유 및 특수목적 유리섬유는 동물발암물질(confirmed animal carcinogen, A3), 그리고 장유리섬유는 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질(not classifiable as a human carcinogen, A4)로 규정하고 있다. 특히 세라믹섬유는 인체발암의심물질(suspected human carcinogen, A2)로 규정하고자 현재 개정공고(notice of intended changes) 목록에 수록되어 있다.⁽¹⁵⁾

세라믹섬유의 경우 동물에 흡입한 결과 폐종양 발생률이 유의하게 증가하였다는 보고들이 있다.⁽¹²⁾ 세라믹섬유는 다른 인조광물섬유에 비해 체내에서 오

래 동안 지속되며, 어떤 연구에서는 쥐의 복막내 세라믹섬유를 주사하였을 때 중피종이 발생하였다고⁽¹⁶⁾ 보고하였다. 다른 MMMF의 경우와 마찬가지로 세라믹섬유 노출에 다른 근로자의 건강장애와 관련하여 의미 있는 역학자료가 아직 부족한 상태이나 동물에게는 발암성이 있다는 강한 증거를 제시하는 연구 결과들이 있으며 석면과 같은 수준으로 호흡성 섬유에 근거한 허용기준을 설정해야 한다는 주장이 제기되고 있다. EPA는⁽¹⁷⁾ 내화성 세라믹섬유는 사람에게 심각한 발암위험이 있다는 결론을 내렸다.

이와 같이 세라믹섬유를 비롯한 MMMF는 일반 분진의 유해성과는 차이가 있으며, 따라서 근로자의 건강을 보호하기 위해 근로자의 노출량을 가능한 한 낮게 관리할 필요가 있다. 그러나 우리 나라에서는 MMMF를 일반 분진과 동일하게 고려하고 있고 대부분 근로자의 노출 평가는 중량법에 의한 총분진 농도에 근거하고 있다. MMMF에 의한 건강장애는 섬유상의 분진에 의해 영향을 받기 때문에 일반 분진으로 근로자의 노출을 평가하는 것이 부적절하다고 알려져 있으며, 또한 섬유의 유해성은 크기 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되어 있기 때문에 작업환경에서 발생하는 섬유의 크기에 대한 특성에 대한 정보는 MMMF 노출에 따른 근로자의 건강위험도(health risk)를 평가하는 것은 물론 추후 근로자의 직업병 발생 가능성을 예측하고 이에 대한 개선대책을 수립하는데 필수적인 요소이다. 또한, 현재 우리 나라에서는 MMMF 제조 및 취급하는 작업환경의 근로자 노출 실태, 작업환경관리의 문제점 및 개선방안 등 향후 MMMF에 의한 잠재적인 직업병을 예방하는데 활용하기 위한 자료가 부족한 실정이다.

2. 문헌고찰

1) 인조 광물섬유의 종류 및 물리화학적 특성

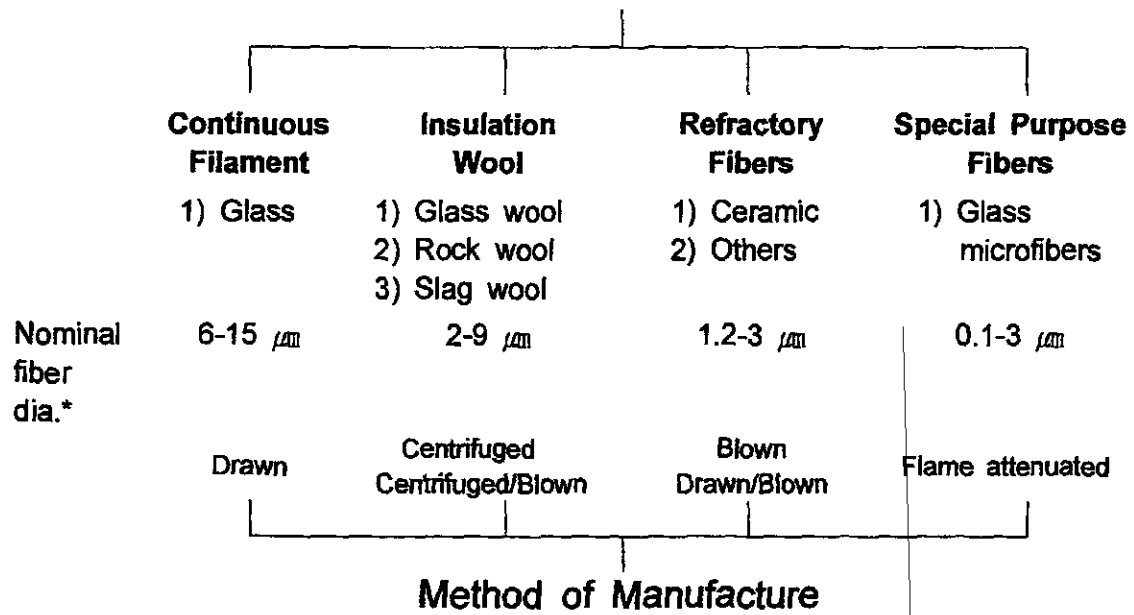
가. 인조 광물섬유의 종류

대부분의 MMMF는 인조 유리섬유(man-made vitreous fibers, MMVF)로

언급되고 있으며 유리, 암석, 기타 광물로부터 제조되는 비결정성의 규산 화합물(silicates)이다. 일반적으로 분류되고 있는 MMMF의 종류, 각 섬유의 명목 직경 및 제조방식은 그림 1에 나타나 있다. MMMF는 제조 원료에 따라 분류되며 일반적으로 유리면(glass wool), 암면(rock wool), 슬래그울(slag wool)과 같은 보온면(insulation wool), 장유리섬유(continuous filament glass fiber), 세라믹섬유(ceramic fibers)와 같은 내열섬유(refractory fibers) 및 특수목적 섬유(special purpose fibers) 등 크게 4군으로 분류된다. International Programme on Chemical Safety(IPCS)와 International Labor Organization(ILO)은 유리섬유를 연속상의 장유리섬유(continuous filament glass fiber), 보온면(wool : glass wool, rock wool, slag wool) 및 특수 섬유(special purpose fibers, SPF) 세 가지 종류로 분류하고 있다.^(1,18) IARC에서는 유리섬유를 연속상의 장유리섬유(continuous glass filament 또는 textile)와 유리면(glass wool) 등 두 군으로 분류하고 있다.⁽¹²⁾ 북미에서는 슬래그울과 암면을 종종 "mineral wool"로 명칭하고 유럽과 아시아에서는 유리면도 "mineral wool"에 포함시킨다.⁽¹⁾

"면(wool)"은 뒤엀킨 섬유 덩어리를 말한다.

Man-Made Mineral Fibers



* approximate range of mean diameters

Fig. 1. Classification, methods of manufacture, and nominal diameters of MMMF.⁽¹⁹⁾

Table 1. Synonyms and Trade Names of Ceramic Fibers by Manufacturer

KR*	SW*	Reference ⁽¹⁾
Kaowool [®] Bulk Fiber	BULK	Refractory fibers
Kaowool [®] Paper	Cerakwool [®] 1300 Bulk Fiber	Fibrous ceramic aluminum silicate glass
Kaowool [®] Blanket	Cerakwool [®] HTZ Bulk Fiber	Ceramic wool
MAFTEC [®] Blanket	BLANKET	Calcium silicate
Cerafelt [®] & Cerachrome [®] Felt	Cerakwool [®] 1300 Blanket	Calcium-alumino-silicate
Kaowool [®] Wet Felt	FELT	Refractory ceramic fiber
Ceraboard [®] 85, 100 & 115	Cerakwool [®] 1100 Felt	Alumina and Zirconia fiber
Kaowool [®] Board	BOARD	Zirconia
Kaowool [®] Shapes	Cerakwool [®] Hard Board	Feeling ceramic
Pyro-Bloc [®]	BLOCKS	Stafili [®] alumina oxide
Kaowool [®] Fold Modules	Cerakwool [®] K-Module	Fiberfrax [®]
Pyro-Log [®]	Cerakwool [®] CM-Module	Owens-Corning Beta [®]
Kaowool [®] Veneering Modules	Cerakwool [®] Veneer Module	Nextel [®] ceramic fiber
Kaowool [®] Veneering Cement	TEXTILE	Fibermak [®]
Kaowool [®] Unikote Coating	Cerakwool [®] Cloth	Unifelt [®]
Kaowool [®] Cement	Cerakwool [®] Tape	ODESED798
Kaowool [®] Hardner(Rigidizer)	Cerakwool [®] Yarn	
Kaowool [®] Moldable	Cerakwool [®] Rope	
BTU-Block [®] & Thinsulite [®]		
TEXTILE	OTHERS	
Kao-Tex [®] 2000, Cloth	Vacuum formed products	
Kao-Tex [®] 2000, Tape	Moldable	
Kao-Tex [®] 2000, Rope	Cerakwool [®] Paper	
Kao-Tex [®] 2000, Yarn	Cerakwool [®] Bond	
	Cerakwool [®] Coating Cement	
	Cerakwool [®] Rigidizer	
	Stud Pin	
	Washer nut	
	Speed Dip	
	Twist Pin	
	Lock Washer	
	Cup Lock	
	KH Anchor Set	
	Pin Set	
	CM Stud Runner	

*Names of companies investigated in this study

나. 물리화학적 특성⁽¹⁾

슬래그울, 암면, 유리면 및 장유리섬유는 각각 슬래그, 천연 암석 및 유리로 부터 제조된다. 세라믹섬유 등의 내열섬유(refractory fibers)는 강한 내열성을 지니고 있으며 대부분 비결정형으로 구성되어 있지만 일부는 결정형의 섬유를 포함하고 있다. 세라믹섬유는 고령토(kaoline clay)로부터, 알루미나(alumina), 실리콘(silicon) 또는 기타 금속의 산화화합물로부터, 그리고 드물지만 실리콘 카바이드(silicon carbide) 또는 실리콘 나이트라이드(silicon nitride)와 같은 비 산화화합물로부터 제조되기도 한다. 산업장에서 유리섬유를 제조하기 위해 규사, 가리장석, 백운석, 소다회, 결정 붕사, 석회석, 질산소다, 파유리 등의 원료가 사용된다.

천연 섬유는 결정성인 반면에 대부분의 MMMF는 비결정성형의 규산이다. 다만, 대부분의 세라믹(aluminosilicate) 섬유는 제조 단계에서는 비결정형이나 고온(>1000 °C)에서는 일부 결정형의 물질(cristobalite, mullite)로 변성될 수 있다.

여러 종류의 MMMF의 화학적 조성은 표 2 ~ 3에 제시되어있다. MMMF의 구성성분은 실리카(silica), 알루미늄(aluminum) 및 붕소(boron) 산화물, 알카리토 및 알카리 금속의 산화물(Al_2O_3 , Fe_2O_3)로 구성되어있다.

MMMF는 대개 분진억제를 위한 결합제와 오일을 함유하고있다. 장유리섬유에는 광택을 위한 사이징 물질(sizing agent)이 포함되기도 한다. 어떤 MMMF에는 분진발생 억제제로 오일만 첨가되며 특수목적 섬유의 경우 첨가물 없이 제조될 수 있다. 표 4에는 바인더로 사용되는 화학물질을 보여주고 있다.

각 MMMF의 제조 방법은 그림 1에서 보는 바와 같다. MMMF는 1000 ~ 1500 °C에서 슬래그, 천연암석, 유리, 점토 등을 용해하여 제조된다.

Table 2. Examples of the Composition of Continuous Glass Filament, Glass Wool, Rock Wool, and Slag Wool (% by weight)⁽¹⁾

Component	Continuous Glass Filament	Glass Wool	Rock Wool	Slag Wool
SiO ₂	52 - 56	63	47.0 - 53.0	40.0 - 45.0
CaO	16 - 25	7	16.0 - 30.0	10.0 - 38.0
Al ₂ O ₃	12 - 16	(+Fe ₂ O ₃) 6	6.0 - 13.0	11.5 - 13.5
B ₂ O ₃	8 - 13	6	-	-
MgO	0 - 6	3	-	-
Na ₂ O	0 - 3	14	2.3 - 2.5	1.4 - 2.5
K ₂ O	0 - 3	1	1.0 - 1.6	0.3 - 1.4
TiO ₂	0 - 0.4	-	0.5 - 1.5	0.4 - 2.0
Fe ₂ O ₃	0.05 - 0.4	-	0.5 - 1.5	8.2
F ₂	-	0.7	-	-

Table 3. Composition of Some Commercial Ceramic Fibers (% by weight)⁽¹⁾

Component	Fiber- frax ^R bulk	Fiber- frax ^R long staple	Fiber- max Tm bulk	Fiber- frax ^R HSA	Alumina bulk(SA- FFIL ^R)	Zirconi a bulk	Fireline ceramic	Nextel ^R ceramic fibre 312
Al ₂ O ₃	49.2	44	72	43.4	95	-	95-97.25	62
SiO ₂	50.5	51	27	53.9	5	<0.3	95-97.25	24
ZrO ₂	-	5	0	0	0	92	-	-
Fe ₂ O ₃	0.06	0	0.02	0.8	-	-	0.97-0.53	-
TiO ₂	0.02	0	0.001	1.6	-	-	1.27-0.70	-
K ₂ O	0.03	-	-	0.1	-	-	-	-
Na ₂ O	0.20	-	0.10	0.1	-	-	0.15-0.08	-
CaO	-	-	0.05	-	-	-	0.07-0.04	-
MgO	-	-	0.05	-	-	-	trace	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	8	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0.06-0.03	14
Leachable chlorides	<10 ppm	<10 ppm	11 ppm	<10 ppm	-	-	-	-
Organics	-	-	-	-	-	-	2.47-1.36	-

Table 4. Binders for MMMFs and Chemicals in Binders

Resin	Other Chemicals
Phenol formaldehyde resin	Polyvinyl acetate
Urea formaldehyde resin	Urea
Melamine formaldehyde resin	Silicones
Vinsol resin	Dyes
Epoxy resins	Ammonium sulfate
Pseudo-epoxy resins	Ammonium hydroxide
	Starch
	Carbon pigment
	Bitumens

섬유형성(fiberizing)은 업체에 따라 공법의 발전에 따라 차이는 있지만 기본적으로 기계적 사출(mechanical drawing), 고열가스 분사(blowing with hot gas), 원심분리 방식에 의해 이루어진다. 때때로 이 방법들을 조합한 방법(사출/분사, 분사/분사, 원심분리/분사)이 이용되기도 한다. 직물 및 강화플라스틱에 이용되는 장유리섬유는 사출방식에 의해 생산되며 섬유의 명목직경(nominal diameter 또는 median length-weighted diameter로 시료에 있는 모든 섬유는 직경이 커지는 순서대로 서로 결합되어 있으며 긴 섬유의 중간에 있는 부위에서의 직경)은 6 ~ 15 μm 로 호흡성 섬유는 거의 없다. 보온면은 원심분리, 분사 또는 원심/분사 조합방식에 의해 생산되며 섬유의 명목직경은 약 4 또는 5 μm 이다. 이 방식에 의해 생성되는 섬유는 호흡성 섬유의 비율이 높으며 직경분포의 폭이 넓다. 청력보호와 같은 특정 목적으로 제조되는 섬유의 경우 명목직경은 1 ~ 2 μm 정도로 작다. 세계 생산량의 약 1% 정도인 특수목적 섬유는 여과지, 항공기와 우주선의 보온재 등 특수한 용도로 사용된다. 이들 특수 섬유의 대부분은 직경이 1 μm 보다 작다. 보온면은 암석과 슬래그로부터 제조될 수 있는 반면, 장유리섬유와 특수섬유는 전적으로 유리로만 제조된다.

이와 같이 이러한 MMMF의 명목직경(nominal diameter)은 보온면 2 ~ 9 μm , 장유리섬유 6 ~ 15 μm , 세라믹섬유 1.2 ~ 3.5 μm , 특수목적섬유 0.1 ~ 3 μm 으로 MMMF의 종류에 따라 차이가 있다. MMMF는 종축으로 분열되지 않

기 때문에 물리적인 힘에 의해 직경이 작은 섬유로 나뉘어지지 않지만 보다 횡축으로 깨어지므로 보다 작은 조각으로 나뉘어질 수 있다. 그러므로 근로자가 노출되는 섬유의 직경은 제조될 때의 직경에 좌우될 것이나 길이는 제조 후 파쇄되는 정도에 따라 변할 것이다.

MMMF의 화학적 조성은 다양한 용액에서의 용해도, 화학적 내성 등을 결정짓는 주요 요인이고, 열전도는 섬유직경과도 관련이 있으며 직경이 작을수록 열전도도가 낮다. 총 산성산화물을 총 양성 및 염기성 산화물로 나눈 값은 화학적 내성의 크기를 결정하며 이 값은 슬래그울의 경우 0.50 ~ 0.65, 암면 0.80 ~ 1.10, 유리면 1.55 ~ 2.50이다. 수용액 및 생리용액(physiologic solution)에서의 용해도는 화학적 조성과 섬유 크기분포에 의해 결정된다. 용해도는 다른 성분에 비해 알칼리 함량이 높아질수록 증가하고, 미세한 섬유가 굵은 섬유보다 급속히 분해된다. 세라믹섬유는 내열성이 강해 고온 조건하에서 주로 사용되는 데 외국에서 생산되는 8종의 제품의 경우 용융점이 1,700 ~ 2,600 °C로 보고되었다.

2) 인조광물섬유 생산량 및 수입량

국내 MMMF 생산량 및 소비량은 표 5에 제시되어 있다. 국내 MMMF의 생산량은 단유리섬유(glass staple fibers) 및 장유리섬유에 대해 제시되어 있으며 암면, 슬래그울, 세라믹섬유에 대한 자료가 따로 제시되어 있지 않다. 암면이나 슬래그울도 유리섬유의 일종이며 그 길이가 짧기 때문에 단유리섬유 자료에 포함된 것으로 추정된다. 우리 나라의 단유리섬유 및 장유리섬유의 생산량 및 사용량은 1996년까지 계속 증가하고 있는 추세였고 매년 생산 및 소비량은 거의 동일하였다. 1996년 현재 단유리섬유 생산량은 53.8톤이었고 장유리섬유 생산량은 59.1톤이었다.⁽²⁰⁾ 암면과 세라믹섬유의 개별 생산량은 따로 제시되어 있지 않기 때문에 연간 생산 추이를 알 수 없다. 그러나 국내 암면 제조업체 수는 1998년 현재 3개 업체(KKEY, BSND, SA 사)이고 세라믹섬유 제조

업체는 2개 업체(SWKK, KR)로 업체수가 많지 않기 때문에 각 사에서 입수한 1997년도 생산현황을 표 5에 제시하였다. 이 자료에 근거했을 때 1997년도 국내 암면 및 생산량은 각각 4,500톤 및 502톤이다. 1998년 현재 국제통화기금(IMF) 관리체제하로 경기가 침체되어 있는 상태이기 때문에 예년에 비해 생산량이 감소했을 것으로 추정된다.

Table 5. Domestic Production and Consumption of MMMF⁽²⁰⁾

Year	Type of MMMF			
	Glass(Staple) Fiber, Ton	Continuous Filament, Ton	Rock Wool, Ton	Ceramic Fiber, Ton
1993	36,100 ^A / 36,200 ^B	21,800 / 23,300		
1994	43,700 / 42,600	48,200 / 44,200		
1995	50,100 / 51,700	56,300 / 53,700		
1996	53,800 / 53,100	59,100 / 59,100		
1997			4500.7	502.3

^A Production, ^B Consumption

표 6의 자료는 1997년 외국으로부터 암면, 슬래그울, 세라믹섬유 수입량이며 암면 약 1,200톤, 슬래그울 약 200톤, 세라믹섬유 약 1,300톤, 기타 1,500톤이었다.⁽²¹⁾ 이 통계자료에 의하면 유리면의 경우 외국에서 수입되지 않으나 암면, 슬래그울, 세라믹섬유의 수입량은 국내 유리면 생산량에 비해 훨씬 많음을 알 수 있다.

Table 6. Import of MMMF in 1997⁽²¹⁾

Type of MMMF	Amount, Ton
Rock wool	1,277.8
Slag wool	219.2
Ceramic fiber	1,274.6
Others	1,526.4

MMMF의 세계 생산량은 1985년 6 ~ 6.5백만 톤이었고, 이중 보온면 약 5백만 톤, 장유리섬유 1 ~ 1.5백만 톤으로 추정되고 있다. 1970년대 말 미국의 연간 생산량은 유리면 120만 톤, 장유리섬유 37만 톤, mineral wool(암면 및 슬래그울) 20만 톤, 세라믹섬유 2만 1천 톤으로 추산되고 있다⁽¹⁾

3) 인조광물섬유의 용도

다양한 MMMF의 용도는 그림 2에서 보는 바와 같다. 미국의 경우 MMMF 생산량의 약 80%는 유리면이며 유리면 약 80%가 보온 및 방음용으로 사용된다. 보온면은 일반적으로 솜(bats), 보드(board), 블랭킷(balnket), 시트(sheet) 등으로 압축되거나 건축 구조물 살포용으로 루스울(loose wool) 상태로 포장된다. 이 섬유로 생산되는 보온 제품은 파이프 보온재, 덕트 보온재, 천장 보온재 또는 흡음재, 자동차, 주방기구 및 냉장고 등 각종 설비의 보온재 또는 흡음재 등을 들 수 있다. 미국에서 전체 MMMF 생산량의 5 ~ 10%에 달하는 장유리섬유는 수지성 물질(차체, 보트선체, 요트선체, 항공기 동체 등), 종이 및 고무제품의 강화제나 직물로 이용되며 절연체, 밧줄 생산에 이용되기도 한다. 유리섬유 생산량의 1% 미만은 미세 섬유 형태로 생산되며 고효율 여과지, 항공기 및 우주선 보온재와 같이 특수 용도로 사용되고 있다.⁽¹⁾

암면, 슬래그울은 미국의 전체 MMMF 생산량의 10 ~ 15%에 이르고 주로 산업장 빌딩 및 설비(공정)의 보온 단열재 및 방음재로 사용된다. 유럽에서는

유리면과 암면의 생산량은 비슷하며 암면과 슬래그울은 가정용 단열재로도 사용된다.⁽¹⁾

내화성의 세라믹섬유의 전체 MMMF의 1 ~ 2% 정도로 산업장 용해로와 같은 고온 조건하에서의 단열재(thermal blanket)나 연결 조인트의 충전재로 사용되고 있다.⁽⁴⁾

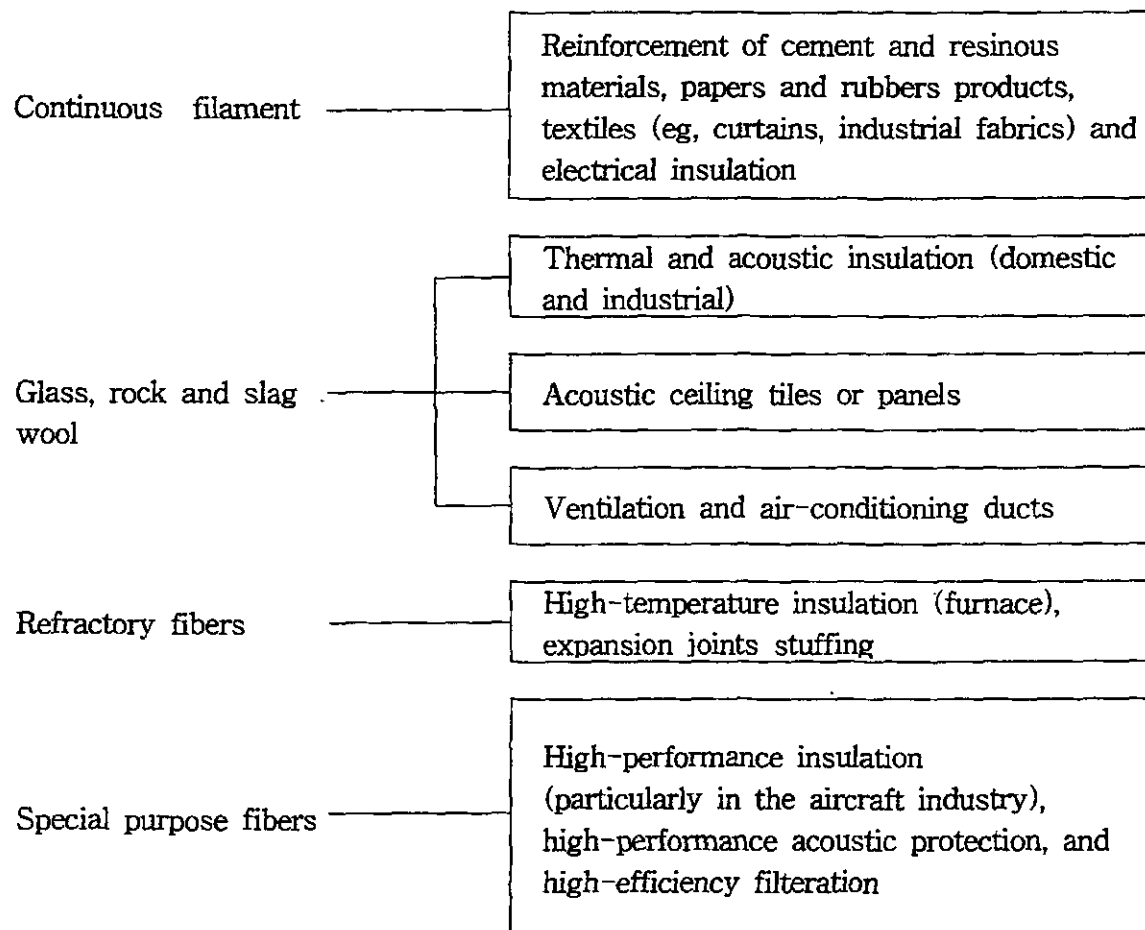


Fig. 2. Uses of MMMF.⁽¹⁾

4) 인조광물섬유 노출 직업

MMMF 제조 및 제품 제조업에서 이들 제품의 생산에 관련하는 근로자와 인조

광물섬유 제품을 가공하는 업종의 근로자가 이들 섬유에 노출될 수 있다.⁽¹⁾ 주로 건설업에서 방음 및 보온단열재를 시공하는 근로자의 규모가 크리라 추정되나 현재 정확한 사업체와 근로자수에 대해 보고된 바 없다. 또한 이러한 단열재 시공 사업체의 경우 대부분 5인 미만의 영세업체로 예상되어 관리가 미흡하리라 판단된다. 미국의 경우 전체 MMMF 생산량의 80%가 유리면이고 이중 80%가 방음 및 보온 단열재로 사용되며, 전체 MMMF 생산량의 10 ~ 15%를 차지하는 압면 또는 슬래그울 제품도 대부분 방음 및 보온단열재로 사용되고 있어,⁽¹⁾ MMMF 취급업종 중 방음 및 보온단열재 시공업에 종사하는 근로자의 규모가 가장 크다고 볼 수 있다.

세라믹섬유에 노출될 수 있는 주요 직업은 세라믹섬유 제조업체 근로자, 이를 가공하여 내열성의 설비 부품을 제조하는 업체의 근로자, 용해로와 같은 고온 설비에 처음으로 세라믹섬유 단열재를 설치하거나 정기적인 점검 및 단열재 교체에 종사하는 근로자를 들 수 있다. 단열재를 취급하는 직업과 관련된 업종은 용해로를 보유하고 있는 제철산업, 금속가공산업, 주물산업 등과 같은 특정 업종에 종사하는 근로자가 세라믹섬유에 노출될 수 있다.⁽⁴⁾ 국내 세라믹섬유와 이와 관련된 제품을 동시에 생산하는 업체 수는 2개 업체로 파악되고 있다. 세라믹섬유를 가공하여 다른 제품을 생산하는 업체의 정확한 현황은 보고된 바 없다.

5) 작업장 공기중 인조광물섬유의 농도⁽¹⁾

지금까지 보고된 연구결과에 따르면 유리면 보온재 제조업체의 평균 농도는 0.01 ~ 0.05 f/cc로 보고되고 있다. 장유리섬유 제조업체의 섬유농도는 광물섬유 제조업체보다 10배 이상 낮은 것으로 보고되고 있다. 미국의 경우 광물섬유(압면, 슬래그울) 제조업체의 공기중 섬유농도는 0.032 ~ 0.72 f/cc로 유리면 제조업체보다 높은 수준을 보이고 있다. 비슷한 조건의 세라믹섬유 제조업 사업장의 평균 섬유농도는 0.0082 ~ 7.6 f/cc로 광물섬유 사업장보다 4배 이상 높은 수준이었고 특수섬유 제조업체의 경우 평균 섬유농도는 1 ~ 2 f/cc로 보고하였다.

일반적으로 MMMF 함유한 단열제품을 설치하는 작업에서 공기중 섬유 농도의 평균 농도는 제조업체의 수준과 비슷하거나 낮은 수준으로 보고되고 있다. 그러나 밀폐된 공간에서는 단열재를 살포 또는 분무 방식에 의해 시공할 때 섬유 농도는 제조업체보다 높아 이와 같은 조건에서 유리섬유 및 암면 설치작업 시 평균 섬유농도가 각각 1.8 f/cc 및 4.2 f/cc까지 이르렀고 밀폐된 공간에서 루스울(loose wool)을 시공할 때 평균 섬유농도가 8.2 f/cc까지 이르렀다고 보고되었다.

6) 생체내 침착(deposition), 정화(clearance), 잔류(retention) 및 지속성(durability)⁽¹⁾

폐포내 섬유의 침착은 섬유 크기에 의해 기본적으로 결정된다. 섬유길이가 증가할수록 폐포내 침착률은 감소한다. 라트에서는 직경이 1 μm 보다 큰 섬유의 경우 호흡성은 급격히 감소하며 인체내 호흡성 섬유의 추정 한계를 3.5 μm 라고 보고하였다. 짧은 길이(<5 μm)의 MMMF는 폐포 대식세포에 의해 효과적으로 제거되나 10 μm 이상의 섬유는 효과적으로 제거되지 않는다. 현재까지의 자료로는 MMMF와 천연 광물섬유의 생체내 상대적인 지속성(durability)에 대해 명확한 결론을 내릴 수 없다. 직경이 작은 섬유의 경우 길이가 짧은 섬유보다는 긴 섬유가 폐조직에서 잘 용해된다.

폐에 침착된 섬유가 다른 기관 또는 조직으로 전이에 관한 자료는 제한되어 있다. 지금까지 보고된 연구결과에 따르면 섬유의 전이는 섬유 크기와 지속성에 영향을 받으며 긴 섬유보다는 짧은 섬유가 다른 조직에서 많이 발견된다.

7) 동물에 미치는 영향⁽¹⁾

대부분의 흡입독성 연구에서 여러 가지 MMMF에 100 mg/m³까지 달하는 농도에 2일에서 24개월 동안 노출된 동물에게서 폐섬유화에 대한 증거가 거의

없다. 대부분의 연구에서 조직반응은 섬유를 포위한 폐 대식세포의 축적에 국한되어 있다. 유리섬유 노출에 따른 동물 조직 반응의 강도는 동일량에 백석면이나 청석면에 노출된 조직의 반응보다 훨씬 작았다.

대부분의 유리섬유나 암면에 흡입 노출된 동물에게서 폐종양(lung tumor)이 통계적으로 유의하게 증가하지 않았다. 그러나 몇 개 연구에서 노출된 동물에서는 폐종양이 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았다고 보고하였다. 지금까지 수행된 발암성 연구에서 비슷한 질량 농도수준에서 백석면은 명백한 폐종양을 유발한 반면 청석면은 폐종양을 유발하지 않았던 것으로 보고되었다. 그러나 대부분의 연구에서 실제 노출량(호흡성 섬유의 수)을 평가하지 않았기 때문에 섬유에 따른 상대적인 발암강도에 관한 결론은 내리기에는 자료가 불충분하다.

유리규산 4%가 함유되어 있는 aluminum oxide refractory fiber를 흡입 또는 흉막내 투여한 쥐에게서 미소한 폐 반응이 유발되었으나 폐종양(neoplasm)은 유발되지는 않았다. ceramic aluminum silicate fiber에 노출된 동물의 간질성 섬유화(interstitial fibrosis) 및 폐종양 발병률은 백석면의 경우와 유사하였으나 종양이 유발된 동물의 반은 석면에 노출된 동물에게서 발견되는 전형적인 종양은 아니었다.

다양한 종에게서 유리섬유의 기관내 투여에 따른 폐섬유화에 대한 일부 증거가 있었다. 그러나 대부분의 경우 조직반응은 염증 반응에 국한되어 있다. 같은 연구에서 미세 유리섬유(glass microfiber)를 기관내 투여한 2종에게서 폐종양이 유발된 보고가 있으나 다른 연구자들에 의해서는 확인되지 않았다.

MMMMF의 동물의 흉막(intrapleural) 및 복막내(intraperitoneal) 투여에 따른 중피종(mesothelioma)의 발생 확률은 직경이 $0.25\ \mu\text{m}$ 보다 작고 길이가 $8\ \mu\text{m}$ 보다 작은 섬유와 높은 상관성이 있으며, 직경이 $1.5\ \mu\text{m}$ 보다 작고 길이가 $4\ \mu\text{m}$ 보다 큰 섬유의 경우 중피종 발생 확률이 비교적 높다고 보고되었다. 섬유의 발암강도는 섬유의 직경, 길이 및 안정성(stability)에 대한 연속적인 함수관계에 있다는 모델이 제안되었다. 석면이 동일한 양의 유리섬유보다 흉막 투여에 따른 종양 발생 가능성이 높다. 그러나 어떤 종류의 세라믹섬유는 복막내 투여에 따른 중피종 유발에 있어 동량의 청석면의 강도와 동일하다고 보고되었다. 악티노라이트(actinolite, 길이 $5\ \mu\text{m}$),

바살트울(basalt wool), 세라믹울(ceramic wool)은 복막내 투여시 유사한 종양 반응이 유도되었다고 보고되었다.

in vitro 연구결과에서는 세포독성과 세포변성은 섬유 크기 특성에 대한 함수였다. 길이가 길고(일반적으로 $>10\ \mu\text{m}$) 직경이 작은(일반적으로 $<1\ \mu\text{m}$) 섬유일수록 독성이 강하다. 일반적으로 직경이 큰($>5\ \mu\text{m}$) 유리섬유는 백석면이나 청석면보다 작은 세포 독성을 가진다. 단일종의 세라믹섬유의 세포독성 또한 낮았다. 그러나 미세 유리섬유의 세포독성과 세포변성 잠재성은 석면과 유사하였다. 유전독성연구에서 유리섬유는 세균에게서 점 돌연변이(point mutation)를 유발하지 않았다고 보고되었다. 포유동물 세포에서 유리섬유에 의해 유사분열지연, 염색체 이상이 유발되었으나 자매염색체 교환(sister chromatid exchange)은 유발되지 않았다. 유리섬유 외에 다른 MMMF에 대한 in vitro 독성 연구결과는 거의 없다.

8) 인체에 미치는 영향⁽¹⁾

유리섬유 및 암면(주로 직경 $4.5 \sim 5\ \mu\text{m}$)은 피부에 미세한 홍반과 가려움증을 동반하는 기계적인 자극작용을 일으키나 노출이 중단되면 이 증상은 사라지게 된다. 그러나 MMMF에 노출된 근로자의 피부 염증의 유발에 관한 신뢰할 만한 자료는 거의 없다. 작업장에서 눈 자극이 MMMF 노출과 관련이 있다는 보고가 있다.

초기에는 상기도 자극 및 기관지확장증(bronchiectasis), 폐렴(pneumonia), 만성기관지염(pneumonia), 천식(asthma)과 같은 심한 폐질환이 MMMF 노출에 의해 유발될 있다는 보고되었다. 그러나 초기에 보고된 대부분의 연구결과는 최근의 연구에서는 일관성 있는 결과가 나타나지 않으므로 원인 연관적(causal related)에 의한 결과가 아니라 우연히 일어난 결과라고 보인다.

일부 단면 역학연구에서는 MMMF 노출은 호흡기능에 영향을 미친다고 보고하였으나 이와 다른 연구에서는 이러한 영향이 없다고 보고하였다. 규모가 크고 설계가 잘된 한 연구에서는 흡연자의 가슴 방사선 사진(radiography)에서

MMMF 제조업에서 종사한 기간이 증가할수록 음영의 발생률(prevalence)이 증가하였다고 보고하였다. 그러나 지금까지 수행된 많은 다른 연구들에서 MMMF와 연관된 비종양성의 호흡기관 영향은 일관성이 있는 양상이 나타나지 않았다. 지금까지 수행된 많은 분석역학연구에서 MMMF에 노출된 근로자에게서 비종양 호흡기질환에 의한 사망률 증가되었다는 증거는 거의 없다.

지금까지 수행된 많은 연구에서 MMMF 노출과 복막 또는 흉막 종피종이 관련이 있다는 증거가 없었다.

유럽과 미국에서 수행된 암면 및 슬래그울 제조 종사들에 대한 대규모 역학조사에서 폐암에 의한 초과 사망률이 관찰되었으나 유리면 또는 장유리섬유 제조업 종사들에 대해서는 관찰되지 않았다. 암면 및 슬래그울 제조산업에서의 초과 사망률은 지역 또는 전국 사망률과 비교하였을 때 높았다(미국 자료에서는 둘 다 통계적으로 유의하였으나 유럽자료에서는 유의하지 않았음). 유럽 조사자료에서는 통계적으로 유의하지 않았지만 사망률과 초기노출 후 시간과의 상관성이 있었으나, 미국 조사자료에서는 연관성이 없는 것으로 나타났다. 사망률은 근무기간 또는 공기중 추정 섬유농도와는 연관성이 없었다. 유럽연구에서는 최근의 노출수준보다 높으리라 추정되는 초기 기술단계에서 종사한 근로자들의 초과 폐암 발생률은 통계적으로 유의하였다. 이 연구에서는 초기 노출 후 20년 후 폐암 사망률의 유의한 증가는 슬래그의 사용과 관련 있는 것으로 추정되었다. 분진 발생 억제물질이 완전히 도입되어 공기중 섬유 농도가 낮을 것으로 생각되는 후기 기술단계에서 종사한 근로자들의 폐암에 의한 사망률은 증가하지 않았다.

유리면 제조업 근로자들을 대상으로 실시한 대규모 미국 및 영국 역학연구에서 폐암에 의한 사망률을 지역 사망률(local rate)과 비교했을 때 유의한 증가가 없었으나 국가 사망률(national rate)에 대해서는 유의한 증가가 있었다. 두 연구에서는 폐암 사망률은 처음 노출 후 시간에 따라 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 호흡기계 암 사망률은 근무기간과 누적 노출량과 관련이 없었다. 미국의 코호트 연구에서 작은 직경($<3 \mu\text{m}$)의 유리섬유 제조업 근로

자의 호흡기계 암 사망률(Standardized mortality rate, SMR)은 이 제조업에서의 비폭로군에 비교해서 증가하였다. 이 근로자들의 사망률 증가는 처음 폭로 후 시간과 관련이 있었으나 전체적인 증가 추이와 시간에 따른 추이는 통계적으로 유의하지 않았다. 캐나다에서 유리섬유 제조업체 근로자들을 대상으로 실시된 작은 코호트 연구에서 관찰된 유의한 폐암 증가는 처음 노출 후 시간 또는 근무기간과 관련이 있었다.

장유리섬유 제조업 근로자들 지금까지 실시된 역학연구에서 폐암 사망률이 증가한 보고는 없었다. MMMF 제조 근로자들에게서 폐 외의 다른 기관(후두, 구강, 인두, 방광)에서 암 발생 증가에 대한 증거가 일부 있으나, 대부분의 경우 일관성이 없었으며 처음 폭로 후 시간, 근무기간과 연관성이 없었으며, 더욱이 지금까지 수행된 연구에서는 혼란변수에 대해 고려하지 않았다.

단열 세라믹섬유 종사자들을 대상으로 한 암 사망률이나 발생률에 대한 역학 연구가 없다. 가정이나 사무실 환경에서 MMMF 노출에 따른 호흡기 증상이나 피부염에 대한 사례보고가 있으나 결론을 내릴만한 역학연구 자료가 불충분하다.

9) 직업적으로 노출되는 근로자에 대한 건강위험 평가

MMMF에 노출되는 근로자의 피부염, 눈 자극에 대한 양-반응 연관성(dose-response relationship)을 확정하기 위한 자료는 충분하지 않다. MMMF에 노출된 근로자의 비종양성 호흡기 질환에 대한 일부 증거가 있으나 일관성 있는 양상이 없기 때문에 현재로서는 위험(hazard)의 본질과 정도에 대한 결론을 내리기는 불가능하다.

다양한 MMMF를 생산하는 산업에서 MMMF 노출과 흉막 및 복막 중피종의 연관성에 대한 증거는 없으나, 예전에 암면/슬래그울 제조업체에서 종사한 근로자에 대한 주요 역학연구에서 폐암이 증가하였다는 연구결과를 보고하였다. 공기중 섬유농도가 폐암 위험을 결정하는 가장 중요한 요소라고 하는 가설과 일관되는 연구자료가 있다.

세라믹섬유나 미세섬유 제조, 밀폐된 공간에서 보온단열재 시공 등 특정 업종에서 섬유노출 근로자에 대한 보호대책이 없다면 이 업종에 종사하는 일부 근로자의 폐암 위험은 증가될 수 있는 잠재성이 있다.

10) 인조광물섬유 측정 방법

우리 나라 노동부에서는 유리섬유에 대한 노출기준만 설정하고 있으나 암면, 슬래그울 및 세라믹섬유 등 다른 광물섬유에 대한 노출기준은 설정하고 있지 않다.⁽²²⁾ 노동부에서는 유리섬유 노출기준을 충분진으로 규정하고 있어⁽²²⁾ 산업장에서 근로자의 유리섬유 노출은 대부분 충분진 농도로 평가하고 있다. 따라서 우리 나라에서는 유리섬유 농도를 측정하기 위해 중량분석법을 주로 사용하고 있다.

미국 등 외국의 경우 일부 광물성섬유에 대한 공기중 노출기준을 섬유농도로 규정하고 있으며 유리섬유, 암면, 세라믹섬유 노출 평가를 섬유계수법에 의한 섬유농도에 근거하여 실시하고 있다. 공기중 섬유농도 측정은 주로 위상차 현미경법(phase contrast microscopy)을 이용하여 측정하고 있다. 섬유는 길이 5 μm 초과, 길이 대 두께 비가 3:1 이상인 섬유상 물질로 정의하고 있으므로 이 기준에 맞는 분진을 계수한다.^(1,22)

공기중 섬유의 측정은 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) 공정시험법인 NIOSH Method 7400⁽²³⁾ 방법이 국제적으로 널리 이용되고있다. 이 방법에 따르면 섬유가 존재하는 공기중 입자상 물질을 25-mm cellulose ester membrane filter(공극 0.8 μm)에 포집한다. 이 여과지를 일부 잘라 아세톤 증기로 투명화시키고 트리아세틴으로 고정시킨 후 Walton-Beckett Graticule을 삽입한 위상차 현미경으로 400배의 배율에서 섬유를 계수한다. 섬유 계수규칙은 A 규칙과 B 규칙이 있는데 이들 규칙의 차이는 표 7에 제시된 바와 같다.

Table 7. Comparison of the "A" and "B" Counting Rules

A Rules	B Rules
1. Count only fibers $\geq 5 \mu\text{m}$ in length.	1. Count only ends of fibers $\geq 5 \mu\text{m}$ in length and $\leq 3 \mu\text{m}$ in diameter. 1
2. Count only fiber with a length-to-width ratio $\geq 3:1$	2. Count only fiber with a length-to-width ratio $\geq 5:1$
3. For fibers that cross the boundary of the graticule field area and meet the criteria of rules 1 and 2 a. Count any fiber with only one end lying within the graticule area as one half. b. Do not count any fiber that crosses the graticule boundary more than once.	3. For fibers that cross the boundary of the graticule field area and meet the criteria of rules 1 and 2 a. Count each fiber end that lies within the graticule area as one end. Add split ends to the count if the split meets the criteria of rules 1 and 2 b. Count visible ends when the fiber appears to be attached to another particle, regardless of the size of the particle. Count the end of a fiber obscured by another particle if the particle covering the fiber is less than $3 \mu\text{m}$ in diameter.
4. Count bundles of fiber unless the individual fibers can be identified, observing both ends and meeting the criteria of rules 1 and 2	4. Count free ends of the fibers from large clumps and bundles up to a maximum of ten ends, provided that each segment meets the criteria of rules 1 and 2
5. Count enough graticule fields to yield 100 fibers. Count a minimum of 20 fields. Stop at 100 graticule fields regardless of the count.	5. Count enough graticule fields to yield 200 ends. Count a minimum of 20 fields. Stop at 100 graticule fields regardless of the count. Divide the total count by 2.

초기의 NIOSH 방법에는 A 규칙에서만 포함되어 있었으며 이것은 공기중 석면을 A 규칙을 이용해서 분석해야 한다는 Occupational safety and Health Administration(OSHA)의 결정에 근거하였다. A 규칙은 주로 석면계수에 이용되며 길이 $5 \mu\text{m}$ 초과, 길이 대 두께 비가 3:1 이상인 섬유를 계수하며 두께에 대한 제한은 없다.

1987년에 NIOSH 방법에 유리섬유와 같은 인조광물섬유의 분석을 위해 B 규칙을 도입하였다. B 규칙은 영국 Institute of Occupational Medicine(IOM)에 의한 연구결과로 채택되었으며 유리섬유와 같은 특정 비석면섬유 계수에 보다 적절한 방법이며 비흉곽성 섬유 또는 비호흡성(non-thoracic fiber 또는 non-respirable fiber)의 배제하기 위해 두께를 제한하고 있다.⁽²⁴⁾ B 규칙은 길이 5 μm 초과, 직경 3 μm 미만, 길이 대 직경 비가 5:1 이상인 섬유를 계수하도록 정하고 있다.

WHO에서는 길이 5 μm 이상, 길이 대 직경 비가 3:1 이상인 섬유중 호흡성 섬유(직경 $\leq 3 \mu\text{m}$)를 측정하도록 권고하고 있다.⁽²⁵⁾ NIOSH fibrous glass criteria document method⁽²⁶⁾에서는 직경 3.5 μm 이하인 섬유를 계수하도록 권고하였다.

호흡성 섬유 측정을 위한 계수방법은 NIOSH Method 7400, 인조광물섬유 분석을 위한 WHO method, NIOSH fibrous glass criteria document method에 포함되어 있지만 이들 방법에 제시하고 있는 길이 대 직경 비는 일치하지 않는다. 그러나 NIOSH에서는 계수 규칙을 혼합해서 사용하는 것을 금지하고 있으며 어느 한 규칙을 적용해서 얻은 결과만 보고하라고 권고하고 있다.⁽²⁵⁾

3. 연구목적

1) 궁극적 목적

본 연구의 궁극적 목적은 MMMF 제조 및 취급업체 종사자의 MMMF에 의한 건강 위험성을 파악하고 적절한 개선방안을 제시함으로써 근로자의 건강장해를 예방하는 데 있다.

2) 구체적 목적

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, MMMF 제조 및 취급 근로자에 대한 섬유분진을 노출평가 방법인 섬유계수법과 중량 분석법에 의한 결과간의 상관 관계를 파악하였다.

둘째, MMMF 종류별로 섬유계수 규칙인 A 규칙과 B 규칙간의 상관 관계를 분석하고 두 규칙간 분석자간 분석변이 및 분석자내 분석변이를 비교하였다.

셋째, MMMF 종류 및 공정별 섬유의 크기 특성을 파악하였다.

넷째, MMMF 제조 및 취급 업체에서 종사하는 근로자의 공기중 섬유 노출수준을 평가하였다.

다섯째, 광물섬유 제조 및 취급 업체의 작업환경관리 실태의 문제점과 그 개선방안을 제시하였다.

여섯째, 현재 우리 나라의 MMMF 노출기준에 대한 타당성에 대해 검토하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

1) 조사대상 업체 현황

조사 대상업체의 근로자 수, 생산제품, 생산량 등 일반적 현황은 표 8에서 보는 바와 같다. 표 9에는 MMMF 종류별 및 생산 제품 종류별 조사대상 업체 수가 제시되어 있다.

조사대상 업체중 유리면 제품을 생산하는 업체 수는 3개소였고, 1개 업체는 다른 라인에서 세라믹섬유도 생산하고 있다. 이중 1개 업체는 유리면을 생산하지 않고 생산업체로부터 구매한 유리면을 가공하여 자동차 소음기를 생산하는 업체였다. 유리면을 생산하는 업체는 근로자 규모가 큰 사업장으로 다른 라인에 생산된 유리섬유를 가공하여 보온재 등의 관련 제품을 함께 생산하고 있었으며 주요 생산 제품은 건물 단열재인 보드 또는 파이프의 보온재인 파이프 커버였다.

대상 세라믹섬유 제품제조업체는 총 2개소로 1개 업체는 세라믹섬유 제품만을 생산하고 있었다. 세라믹섬유를 가공하여 생산하는 제품은 보드, 모듈 등이었다.

장유리섬유 제품을 생산하거나 취급하는 업체 수는 4개소로 1개 업체는 장유리섬유를 생산하고 있었고 다른 3개 업체는 장유리섬유를 가공하여 자동차 브레이크 라이닝 강화 섬유, 매트, 기판 등을 생산하고 있었다.

암면 및 관련 제품을 생산하는 업체는 2개소였고 이들 업체에서는 루스울, 보드, 펠트, 바닥 타일 등 다양한 관련 제품을 생산하고 있었으며 주요 제품은 건물의 단열재인 보드 및 루스울이었다.

Table 8. General Characteristics of Companies Investigated

Company	Category	No. of Total Employee	No. of Possibly Exposed - Worker	Products	Production	Nominal Dia.
Glass Wool						
BSKN	glass wool production/processing	57	35 (2 shift)	glass wool, mat board, pipe cover	9413.2 ton/yr	5.5-6.5(Board) ; 4.5-5.5(P/C)
HANI	glass wool production/processing			glass wool, mat board, pipe cover		
SWOO	glass wool processing(insulator, noise absorber)			bonnet, muffler, engine cover		
Glass Wool and Ceramic Fiber						
SWKK	glass and ceramic fiber production/ processing		12 19	ceramic fiber blanket/board glass wool/ insulator		3.0±0.56
Ceramic Fiber						
KR	ceramic fiber production/processing	17	13	bulk ceramic, ceramic paper, blanket, board, module(pyro-bloc), etc.	400 ton/yr	3
Continuous Glass filament						
HKFI	glass filament production/processing	312	180	glass filament roving		
OCHN	glass filament processing		179	mat, etc		
HKCB	glass filament processing		138	laminate, electronic base;etc		
WOOS	glass filament fiber processing	18		brake lining- enforcing fibers	40 ton/ month	
Rock Wool						
KKEY	rock wool production/processing	211		rock wool, board		5-7
BSND	rock wool production/processing	42	21(2 shift)	rock wool, board, blanket, felt, floor tile(PDF)	1,236 ton	4
Installation						
DD	insulator installation					

Table 9. Number of Investigated Factories by Product

Category	Product	No. of Factories	Factory Name
Glass wool production/processing	Glass wool/Blanket	3	SWKK,BSKN,HANI
	Board	2	SWKK, HANI
	Pipe cover	2	BSKN, HANI
	Muffler	1	SAMW
Glass wool insulator installation	Cabin insulation	2	DDJS, DSJS
Rock wool Production/processing	Rock wool/Blanket	2	KKUY, BSND
	board	2	KKUY, BSND
Rock wool insulator installation	Cabin insulation	1	DDSH
Ceramic fiber production/processing	Ceramic fiber/Blanket	2	SWKK, KR
	Ceramic board	1	SWKK
	Module	1	KR
Glass filament production/processing	Glass filament/Strand	2	HKFI
Glass filament processing	Mat	2	OKCH
	Electronic base, bow, etc.	1	HKCA
	Brake lining enforcer	1	WOOS

2) 공정

유리면 또는 암면의 경우 제품의 종류에 따라 공정에 있어 차이가 있으며 주요 제품인 매트, 보드 및 파이프 커버의 제조 공정 흐름도는 그림 3에서 보는 바와 같다.

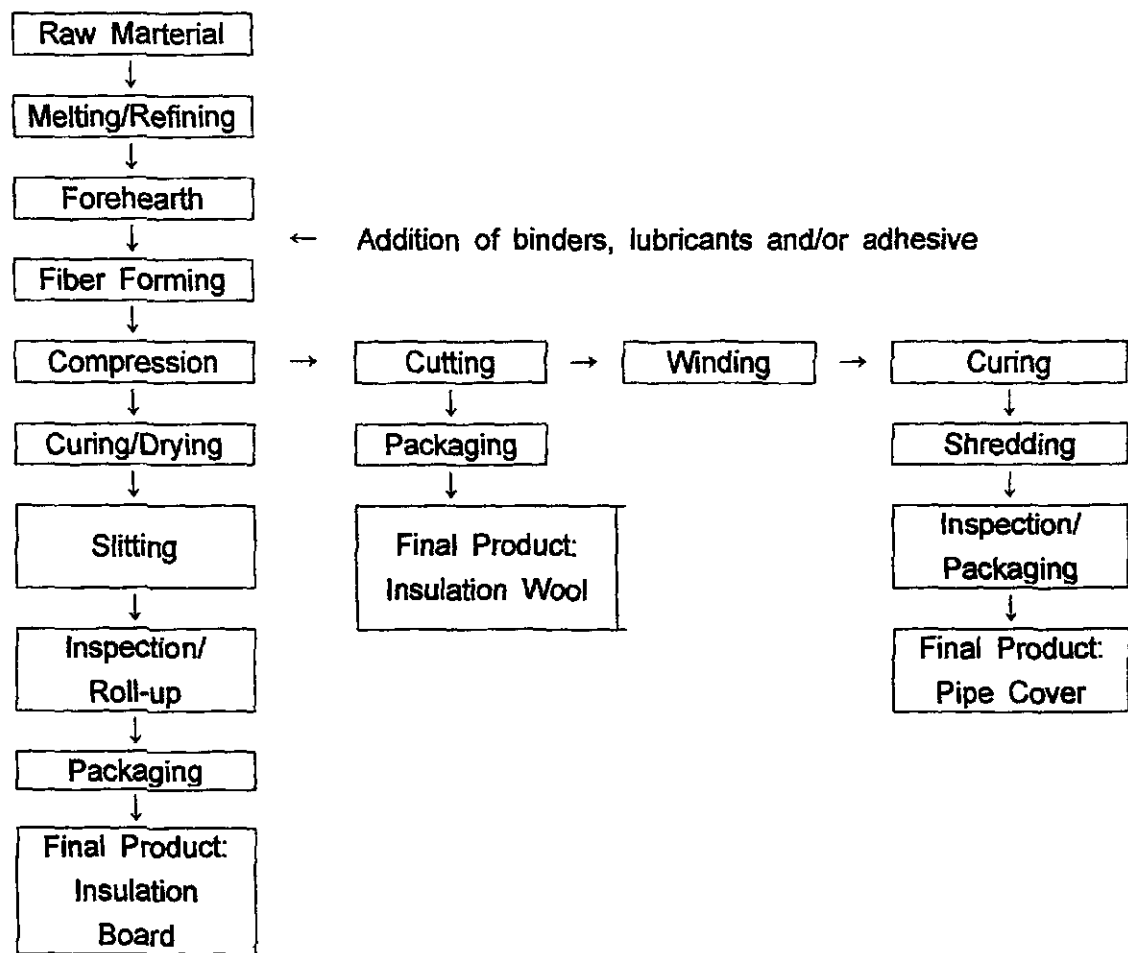


Fig. 3. Simplified flowchart for glass wool and insulations production.

유리면 또는 암면 제품은 섬유 형성과정에 결합제 등을 첨가하며, 생성된 유리 원면에 일정한 압력을 가하고 일정한 크기로 절단한 형태의 유리면(매트)을 생산하거나 또한 유리 원면을 가공하여 건물 등의 설비를 단열하기 위한 보드 제품, 파이프의 보온하기 위한 파이프 커버(pipe cover)로 생산된다. 유리면 및 암면 제조 공정중 섬유형성 설비에서 섬유가 방출되는 부위에서는 섬유분진이 다량 발생되고 있었다. 사용되고 있는 바인더는 phenol-formaldehyde 또는 urea-formaldehyde 수지였으며 제품의 촉감 향상과 분진의 비산을 억제하기 위해 oil emulsion이 살포되고 있었다.

한편, 경화된 제품을 회전톱이나, 수직 절단기가 설치되어 있는 설비와 근로자가 제품을 포장하는 작업중에 섬유분진이 주로 발생되고 있었다. 이외에 제품 제조라인에서 중간 제품을 운반하는 과정에서 제품에 충격이 가해지는 경우에 분진이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 대부분의 제조 공정은 자동화가 많이 되어 있었으며 근로자는 제어실(control room)에서 용해로 및 섬유형성 설비를 제어하는 업무, 생산라인에서 설비의 제어판을 조정 및 관리하는 업무, 그리고 완성된 제품을 검사하거나 포장하는 업무, 포장된 제품을 직접 또는 지게차(fork lift)를 사용해서 운반하는 작업등에 종사하고 있었다.

세라믹 울 및 매트 제조 공정은 그림 4와 같고 장유리섬유 제조공정은 그림 5와 같다. 세라믹 제조공정은 유리면 또는 암면의 경우와 유사하나, 다만 세라믹 울에는 바인더를 첨가하지 않고 니들링 머신으로 재단을 함으로써 울이 압축된 상태로 유지되게 하였다. 니들링 된 세라믹 울을 건조기를 통과시킨 다음 양 가장 자리를 회전날로 절단하였다. 다음으로 수직 절단기로 일정한 길이로 자르고 근로자는 이를 감아 포장을 하였다. 근로자는 용해로 설비를 포함 한 제조 설비를 점검하거나 포장 작업에 주로 종사하였다. 간헐적으로 제품품질에 이상이 있으면 중간단계에서 제품을 제거하는 과정에서 다량의 섬유가 발생되고 있었다.

한편, 생산된 세라믹 울은 모듈, 보드 등의 다른 제품으로 가공된다. 조사기간 동안 한 업체에서 모듈을, 다른 업체에서는 보드를 생산하고 있었다. 모듈은 세라믹 울을 일정한 크기로 절단하고 이를 용해로 벽에 부착시킬 수 있는 부품과 조립함으로써 생산된다. 이와 같이 조립된 중간 제품은 마무리한 후(자장 자리를 절단기로 다듬음) 근로자가 직접 포장한다. 모듈 생산 공정에서는 고농도의 분진이 발생되고 있었고 세라믹 울 포장위치와 인접에 있어 포장 작업 근로자도 모듈 생산공정에서 발생하는 섬유에 노출될 우려가 있었다. 보드는 세라믹 울(재생 울이 대부분임), 석회 등을 수용액중에서 혼합한 분산액을 이를 형틀(mold)에 넣어 성형한다. 일정한 모양으로 성형된 보드는 오븐에서 건조하고 다음으로 연마, 절단 등의 가공 공정을 거친 후 포장한다. 조사당일

가공 공정 작업이 없었다. 근로자는 혼합조에 원료를 투입하고 조정하는 작업
성형설비의 제어판을 조정하는 작업, 가공 작업, 포장 작업에 종사하고 있었다

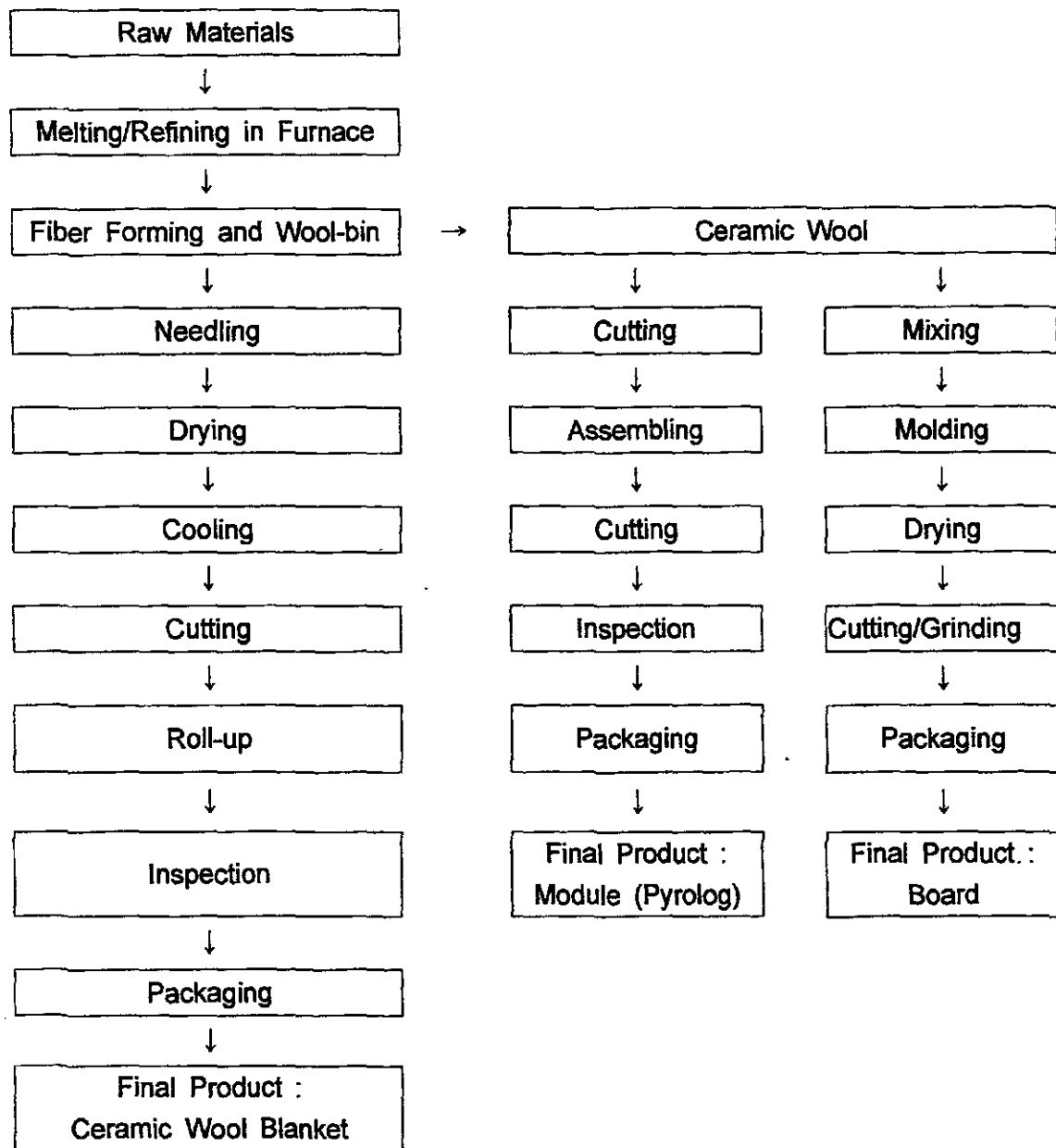


Fig. 4. Simplified flowchart for ceramic wool and insulations production.

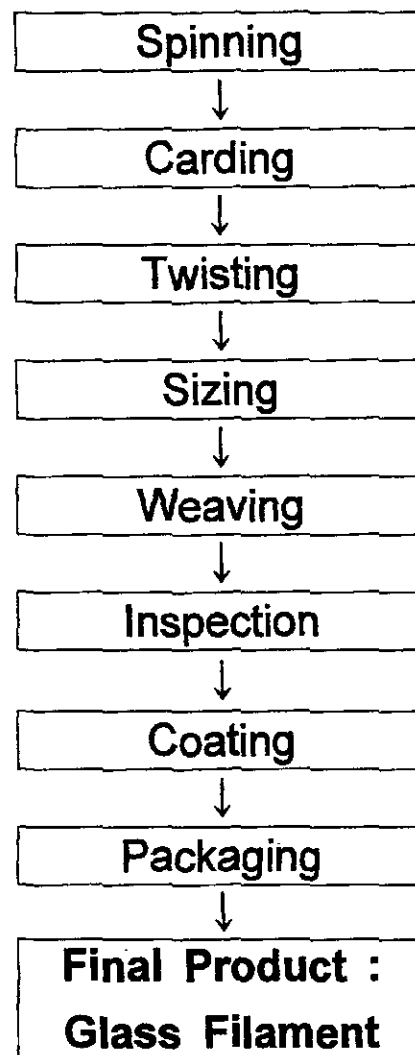


Fig. 5. Simplified flowchart for glass filament and products production.

2. 방법

1) 공기중 총분진 및 섬유 농도 측정

공기중 섬유 측정은 중량분석법 및 섬유계수법에 의해 실시하였다. 중량분석법에 의한 총분진 농도는 NIOSH의 Method 0500⁽²⁷⁾을 이용하여 측정하였으며, 다만 섬유농도를 동시에 측정하기 위해서 직경이 37mm인 cellulose ester membrane(MCE) 여과지(0.8 μ m, Millipore AA Type, Millipore Co.)에 시료를 포집하였다. MCE 여과지를 사용하여 1.5 - 2.5 L/분의 유량으로 공기중 섬유 분진을 채취한 후, 여과지 무게를 천평(Sartorius, Model 2000)으로 평량하였다. 여과지는 시료 채취 전·후 동일한 조건에서 1일 동안 건조기내에서 방치한 후 무게를 재었다. 무게를 잰 여과지 시료는 섬유 분석에 이용하였다.

섬유계수법에 의한 공기중 섬유농도는 NIOSH의 Method 7400⁽²³⁾을 이용하여 측정하였다. 여과지의 일부를 잘라 acetone/triacetin으로 투명화시킨 후, Walton-Beckett Graticule이 삽입된 위상차 현미경(Carl Zeiss, Axioskop)으로 400배의 배율에서 섬유 수를 계수하였다. 여과지상의 섬유 계수는 두 가지 계수규칙 (A 및 B 규칙) 모두 적용하여 분석하였다. A 규칙에 따라 길이가 5 μ m 이상이고 길이 대 직경비(aspect ratio)가 3:1 이상인 섬유를 계수하였으며, B 규칙에 따라 길이가 5 μ m를 초과하고 길이 대 직경의 비가 5:1 이상인 섬유 중에서 직경이 3 μ m 이하인 섬유(호흡성 섬유)만을 계수하였다.

2) 중량분석법과 계수 분석법간의 상관관계

A 규칙 및 B 규칙 의해 산출된 각각의 섬유 농도와 중량 분석법에 의한 총분진 농도간의 상관계수를 구하였으며 MMMF 종류에 따라 상관성에 차이가 있는지 파악하였다. 회기분석을 이용하여 두 규칙에 의한 값간의 상관관계 및 회기식을 구하였고 유의성을 검정하였다.

3) A 규칙 및 B 규칙에 의한 결과 비교

MMMF 종류별로 먼저 A 규칙에 따라 섬유를 계수 한 후, 다음으로 B 규칙에 따라 섬유를 계수하였다. 각 섬유계수 규칙에 따라 구한 섬유수를 시야면적(field area)으로 나누어 산출한 섬유면적 결과를 대수변환하여 Shapiro-Wilk W 통계량을 이용하여 정규분포를 검정하였고 정규분포 검정 후 각각의 대수값을 paired t-test를 이용하여 통계 검정하였다. 또한 두 규칙에 의한 결과간의 상관성을 파악하는 한편, MMMF 종류에 따라 상관성이 차이가 있는지 살펴보았다. A 규칙에 의한 값에 대한 B 규칙에 의한 값의 비를 산출하여 MMMF 종류, 업체 및 공정에 따른 섬유 크기 특성을 개략적으로 파악하는 데 이용하였다.

4) 공기중 섬유의 크기 측정

400배의 배율에서 위상차 현미경을 이용하여 섬유의 입경과 길이를 재어 보다 정확한 섬유 크기 특성을 파악하였다.

5) 근로자의 공기중 총분진 및 섬유 노출농도 평가

MMMF 종류별, 업체별 및 공정별 공기중 총분진 농도 및 섬유 농도값을 대수변환하여 Shapiro-Wilk W 통계량을 이용하여 정규분포를 검정하였다. 대수정규를 하는 자료의 경우 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)를 구하였다. 각 요인에 따른 공기중 섬유 농도차이는 일원분산분석 통계량을 이용하여 검정하였다.

근로자의 총분진 및 섬유농도 수준을 평가하기 위해 우리 나라, ACGIH 및 OSHA에서 설정하고 있는 기준과 비교하여 평가하였다. 우리 나라와 다른 기관에서 설정하고 있는 노출기준은 표 10과 같다.

우리 나라는 유리섬유에 대해서만 노출기준이 설정되어 있으며 노출기준은 충분진으로서 10 mg/m³이다.⁽²²⁾ 유리섬유의 다른 MMMF의 경우 일반적으로 유리섬유와 같이 충분진으로 평가하고 있다.

ACGIH에서는 유리면 섬유(glass wool fiber)에 대한 TLV는 1997년까지는 충분진으로서 10 mg/m³이었으나 1998년에 섬유농도인 1 f/cc로 개정하였다. 장 유리섬유, 암면, 슬래그울 및 특수 유리섬유에 대한 TLV도 유리면 섬유와 동일한 1 f/cc이다. 한편, 장유리섬유의 경우 섬유농도뿐 만 아니라 충분진으로서 5 mg/m³으로 함께 설정하고 있다. 이들 섬유에 대한 TLV는 자극에 의한 건강 영향을 예방하기 위한 기준이다. ACGIH에서는 세라믹섬유에 대한 TLV를 현재 설정하고 있지 않으나 1998년에 석면과 동일한 0.1 f/cc를 개정 고시(notice of intended change) 목록에 추가하였다.⁽¹⁵⁾

인조광물섬유에 대한 OSHA 허용기준은 없다. OSHA는 1992년에 세라믹섬유를 제외한 다른 MMMF에 대한 Permissible Exposure Limit(PEL)-8hr TWA을 1 f/cc로 제안하였다.

Table 10. Occupational Exposure Limit for Airborne Man-Made Mineral Fibers

Type of Fibers	MOL	ACGIH	OSHA
Glass wool fibers	10 mg/m ³ (total dust)	1 f/cc	1 f/cc
Continuous filament glass fibers	NE	1 f/cc 5 mg/m ³ (total dust)	1 f/cc
Rock wool fibers	NE	1 f/cc	1 f/cc
Slag wool fibers	NE	1 f/cc	1 f/cc
Special purpose glass fibers	NE	1 f/cc	1 f/cc
Ceramic fibers	NE	0.1 f/cc(proposed intended changes)	

Note: MOL = Ministry of Labor; NE = Not established

III. 결과 및 고찰

1. 공기중 인조광물섬유 측정방법 비교

1) 중량분석법과 섬유계수법 비교

우리 나라의 경우 MMMF 노출기준은 총분진 농도로 설정되어 있으며 총분진 농도를 측정하여 MMMF 노출 수준을 평가하고 있다. 분진농도로 MMMF 노출 수준을 평가하는 것은 간단하기는 하지만 이 방법이 근로자의 섬유 노출에 대한 평가방법으로 적합한가에 대해서는 연구자들이 부정적인 견해를 보이고 있다.^(3,28-31) 유리섬유를 비롯한 MMMF의 잠재적인 건강위험 평가는 총분진(total dust) 또는 공해성 분진(nuisance dust)보다는 호흡성 섬유에 근거하여야 한다.

본 연구에서는 인조광물섬유 제조 및 취급업체에서 측정한 총분진 농도와 섬유 농도의 상관관계를 살펴보았으며 그 결과는 표 11 및 그림 6 ~ 9와 같다.

섬유계수 규칙 A 규칙에 의해 산출된 섬유 농도와 총분진 농도간의 회기계수(regression coefficient, r^2)는 유리섬유 0.42, 장유리섬유 0.46, 암면 0.41, 세라믹섬유 0.19이었고 MMMF 종류에 상관없이 전체 섬유에 대해서는 0.19로 나타났다. 두 변수간의 회기식은 모든 종류의 섬유에 대해 모두 유의한 것으로 나타났다($p < 0.001$). 이와 같은 결과로 보아 유리섬유, 장유리섬유, 암면의 경우 섬유농도와 총분진 농도간의 회기계수는 0.41 - 0.46으로 총분진에 의한 섬유 농도 예측을 위한 모델에 대한 설명력이 비교적 높았으나 세라믹섬유의 경우 비교적 낮은 것으로 나타났다.

Table 11. Regression between Total Dust Concentrations and Fiber Concentrations by Type of Fibers

Type of Mineral Fibers	N ^A	Regression Equation	R ² ^B	P value
Glass wool fibers	64	$y^C = 0.112 x_A^D - 0.014$	0.42	< 0.001
	61	$y = 0.074 x_B^E - 0.006$	0.41	< 0.001
Rock wool fibers	58	$y = 0.375 x_A - 0.010$	0.41	< 0.001
	58	$y = 0.287 x_B - 0.015$	0.42	< 0.001
Continuous filament glass fiber	72	$y = 0.019 x_A - 0.014$	0.46	< 0.001
	77	$y = 0.004 x_B - 0.013$	0.19	< 0.001
Ceramic fiber	58	$y = 0.058 x_A - 0.243$	0.19	< 0.001
	69	$y = 0.048 x_B - 0.202$	0.20	< 0.001
Overall	259	$y = 0.126 x_A - 0.078$	0.19	< 0.001
	266	$y = 0.089 x_B - 0.067$	0.18	< 0.001

^AN : No. of samples

^BR² : Regression coefficient

^Cy : Total dust concentrations determined by gravimetric method, mg/m³

^Dx_A : Fiber concentrations determined by A counting rule, f/cc

^Ex_B : Fiber concentrations determined by B counting rule, f/cc

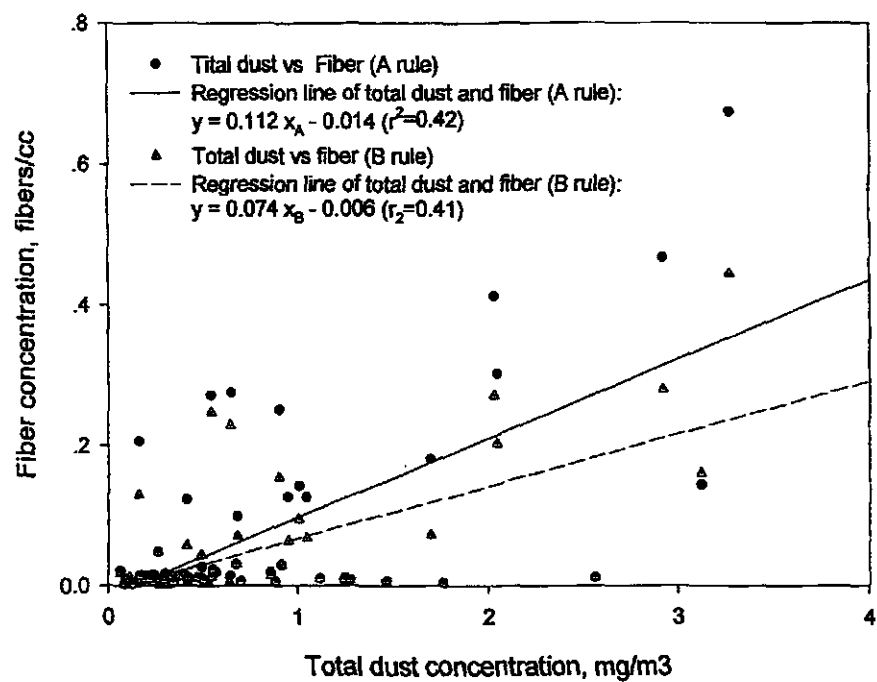


Fig. 6. Plot of total dust concentrations and fiber concentrations in air samples collected from glass wool fiber industries.

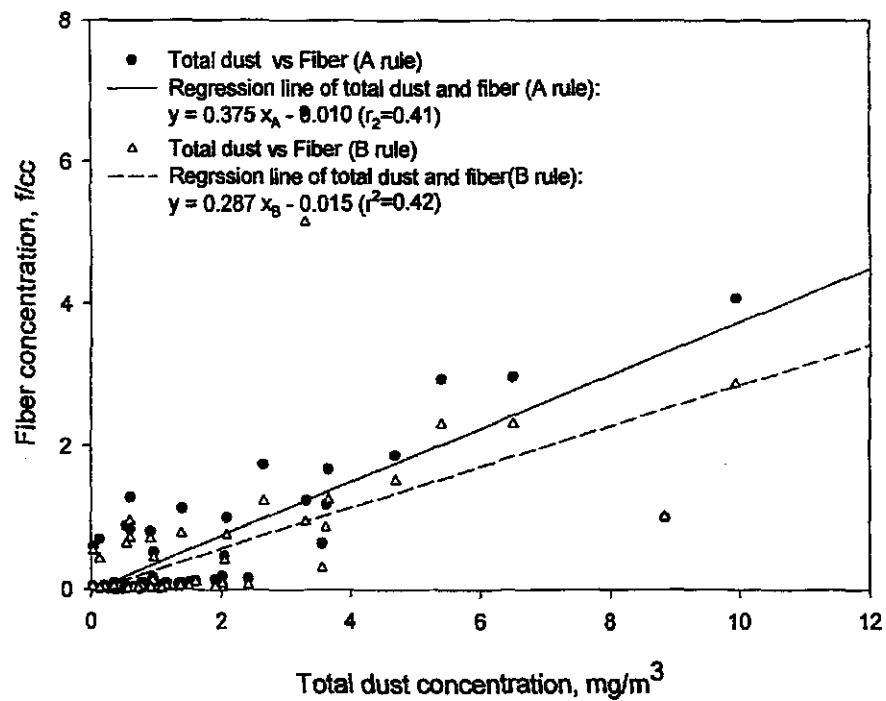


Fig. 7. Plot of total dust concentrations and fiber concentrations in air samples collected from rock wool fiber industries.

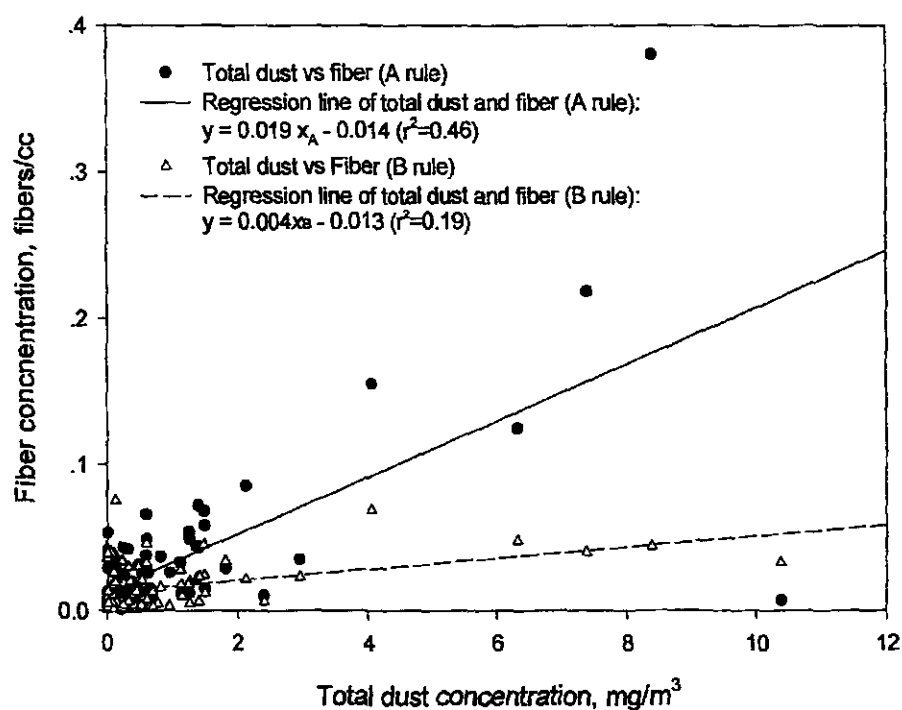


Fig. 8. Plot of total dust concentrations and fiber concentrations in air samples collected from continuous filament glass fiber industries.

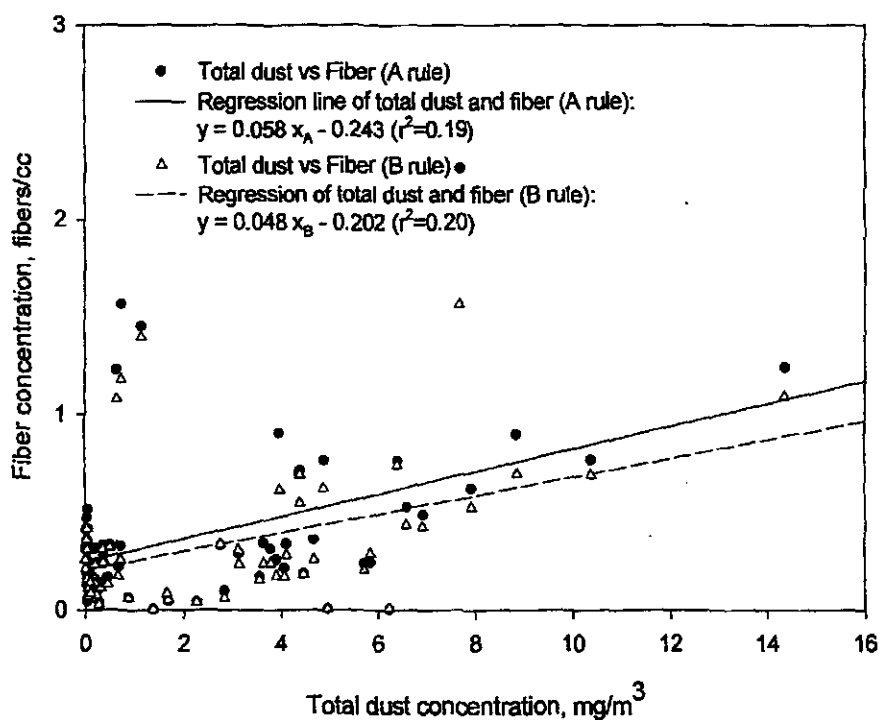


Fig. 9. Plot of total dust and fiber concentrations in air samples collected from ceramic fibers industries.

B 규칙에 의한 섬유농도와 충분진 농도의 회기계수는 유리섬유 0.41, 장유리섬유 0.19, 암면 0.42, 세라믹섬유 0.20, 전체 섬유 0.18이었고 모든 모델은 유의한 것으로 나타났다($p < 0.001$). 유리면과 암면의 경우 두 변수간의 회기계수는 비교적 높았으나 장유리섬유 및 세라믹섬유의 경우 회기계수는 비교적 낮게 나타났다.

세라믹섬유의 경우 어느 규칙과 비교해도 상관성은 가장 낮은 것으로 나타났는데 이와 같은 이유는 세라믹섬유의 경우 두께가 비교적 작아 중량을 잘 반영하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 세라믹섬유를 충분진 농도로 추정한다면 큰 오차를 유발할 수 있으며, 정확한 근로자 노출평가 결과를 얻을 수 없다. 섬유 종류에 상관없이 전체 섬유 농도와 충분진 농도의 회기계수는 0.18 ~ 0.19로 충분진 농도에 의한 섬유농도의 추정은 적합하지 못한 것으로 판단된다.

장유리섬유의 경우 B 규칙보다는 A 규칙에 의한 결과와 충분진 농도간의 상관성이 더욱 밀접한 것으로 나타났다. 다른 MMMF보다 장유리섬유는 섬유 직경이 큰 분포를 이루고 있어 B 규칙에 의한 계수과정에서 직경이 3 μm 이상의 섬유가 배제되나 충분진 농도에는 이들이 반영되기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 추정된다.

한편, 충분진 농도와 섬유농도의 관계에 영향을 미치는 요인으로서는 앞에서 언급한 MMMF 종류에 따른 섬유 크기 특성 외에 공존하는 비섬유상 분진의 존재비율을 들 수 있다. 공기중에 시료에는 섬유뿐 만 아니라 많은 수로 존재하는데 이러한 비섬유상 분진은 두 변수의 상관성을 약하게 하는 것으로 판단된다.

Corn 등⁽²⁸⁾은 섬유수는 분진농도와 연관성이 없으며 충분진으로 섬유수를 신뢰성 있는 수준으로 추정할 수 없다고 하였으며 섬유가 미세할수록 섬유 농도는 높게 산출된다고 하였다. Lees 등은⁽³²⁾ 분진 중량과 섬유수간의 상관성은 약하게 나타나 분진 농도로서 섬유 농도를 예측할 수 없으며 비섬유상의 분진에 영향을 많이 받는다고 하였다. Bender 등⁽³⁾은 유리섬유 평가할 때 중량법을

사용하면 건설업에서와 같이 비섬유상의 분진이 많이 존재하는 환경에서는 근로자의 섬유 노출수준을 과대평가 할 수 있고 1 μm 보다 작은 직경의 제품을 취급하는 작업에서는 섬유수에 비해 분진 무게는 낮은 값이 초래될 수 있다고 하였다. 한편, Berum 등⁽³³⁾ 과 Schneider 등⁽³⁴⁾은 작업환경에서는 분진 농도와 섬유농도는 상관관계가 있는 것으로 보고하고 있어 앞의 연구자들과는 다른 연구결과를 제시하였다.

본 연구결과, 섬유 및 총분진 농도간의 상관관계는 MMMF 종류에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다. 유리섬유 및 암면의 경우 총분진 농도로써 총 섬유 또는 호흡성 섬유 농도를 세라믹섬유나 장유리섬유 보다는 비교적 높은 설명력을 가지고 예측할 수 있다. 우리 나라에서는 MMMF 노출 근로자에 대한 공기중 섬유 농도 노출력에 대한 자료가 거의 없다. 따라서 본 연구에서 유리면 및 암면에 대해 구한 모델은 과거의 총분진 농도로써 섬유 농도를 추정하는데 이용할 수 있다.

세라믹섬유의 경우 총분진 농도로써 총섬유 및 호흡성 섬유 농도를 예측하는 것은 부적합하다. 장유리섬유는 총분진 농도로써 호흡성 섬유를 예측하는 것은 부적합하나 총섬유 농도에 있어서는 비교적 높은 설명력을 자지는 것으로 나타났다. 근로자의 MMMF 노출에 따른 건강 위험을 정확하게 평가하기 위해서는 MMMF 종류에 관계없이 섬유, 특히 호흡성 섬유 농도 노출수준에 근거하는 것이 바람직하다.

2) 섬유 계수규칙간 비교

가. A 및 B 계수규칙에 의한 섬유밀도간 상관관계와 차이

표 12, 그림 10 ~ 13은 MMMF 종류별로 A 규칙과 B 규칙에 의한 결과(섬유밀도)의 회기관계를 살펴본 것이다. B 규칙에 의한 섬유밀도(y)와 A 규칙에 의한 섬유밀도(x) 회기계수는 유리섬유, 암면, 장유리섬유 및 세라믹섬유 시료의 경우 각각 0.83, 0.98, 0.25 및 0.93으로 나타났다. 유리섬유, 암면, 및 세

라믹섬유의 경우 두 계수규칙간의 상관성은 매우 높았으나 장유리섬유의 경우 상관성은 비교적 낮게 나타났다. B 규칙은 두께가 3 μm 미만, 길이 대 직경의 비가 5:1 이상인 호흡성 섬유만을 계수 하도록 규정되어 있는 바, 총 섬유중 이 기준을 만족하는 섬유의 비율이 시료에 따라 변이가 큰 것으로 판단된다. 그러나 유리섬유, 암면, 세라믹섬유의 두 규칙에 의한 결과간의 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타나 총섬유중 호흡성 섬유의 분포가 시료에 따른 변이가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

현재 NIOSH에서는 석면은 A 규칙을 적용하여 계수하고 유리섬유와 같은 비석면 섬유는 B 규칙을 적용하도록 권고하고 있다.⁽²³⁾ WHO에서도 MMMF에 대한 계수규칙⁽¹⁾을 제시하고 있지만 NIOSH의 계수규칙과 정확히 일치하지 않는다. 현재 MMMF에 대한 섬유 측정시 여러 가지 계수규칙이 적용되고 있는 실정이다. 따라서 NIOSH에서는 이러한 계수규칙을 혼용하지 말고 어느 한 규칙만 적용하라고 권고하고 있다.⁽²³⁾

B 계수규칙이 제안되기 이전에는 A 규칙에 의해 주로 MMMF 분석이 이루어졌으며 현재에도 공기중 MMMF 측정시 두 계수방법이 이용될 수도 있다. 따라서 이러한 경우 근로자의 섬유 폭로력을 파악할 때 다른 계수규칙이 적용되었다면 정확한 폭로력의 변화를 파악하는데 문제가 뒤따른다. 이러한 경우 두 계수규칙에 의해 산출된 분석결과는 두 변수간의 회기식을 이용하여 한 규칙에 의한 결과로 통합할 수 있다. 본 연구결과 장유리섬유를 제외한 유리섬유, 암면, 세라믹섬유의 경우 A 규칙에 의해 산출된 총섬유 농도로써 B 규칙에 의한 호흡성 섬유를 충분한 설명력으로 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

Buchta 등⁽³⁵⁾은 7개의 공장에서 채취한 세라믹섬유 시료를 A 및 B 규칙에 의해 분석한 섬유밀도간의 상관관계(r)는 0.98로 밀접한 상관성이 있었으며 통계적으로 유의한 차이가 없었고 두 계수규칙에 의한 결과를 통합할 수 있다고 보고하였다. 한편, 세라믹섬유 단열재를 설치 및 제거하는 작업에서 채취한 시료에 대한 계수규칙에 의한 결과는 통계적으로 유의한 차이가 있었다고 보고하였다.⁽³⁶⁾

Table 12. Regression Equations between Counting Rules by Analysts

Fiber Type	Analyst	N	Regression Equation	r^2	P value
Glass wool fibers	1	64	$y^A = 0.73 x^B + 2.06$	0.95	<0.001
	2	46	$y = 0.67 x + 1.85$	0.94	<0.001
	Total		$y = 0.71 x - 2.30$	0.95	<0.01
Rock wool fibers	1	73	$y = 0.76 x + 1.02$	0.99	<0.001
	2	68	$y = 0.73 x - 6.70$	0.97	<0.001
	Total	146	$y = 0.76 x - 2.09$	0.99	<0.001
Continuous filament glass fibers	1	31	$y = 0.22 x + 4.714$	0.25	<0.01
Ceramic fibers	1	104	$y = 0.69 x + 9.25$	0.92	<0.001
	2	105	$y = 0.73 x + 6.65$	0.94	<0.001
	Total	209	$y = 0.71 x + 7.99$	0.93	<0.001
Overall	1	272	$y = 0.75 x + 0.64$	0.98	<0.001
	2	229	$y = 0.73 x + 1.26$	0.95	<0.001

^Ay = result obtained by B rule, f/mm²; ^Bx = result obtained by A rule, f/mm²

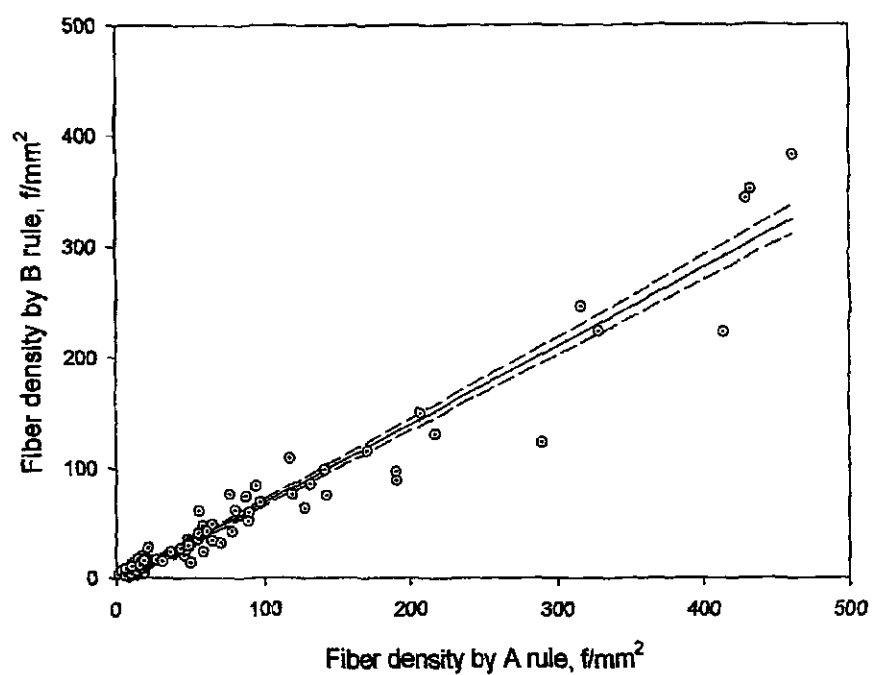


Fig 10. Plot of the fiber densities in glass wool fiber samples determined using A and B countings rules by Analyst A.

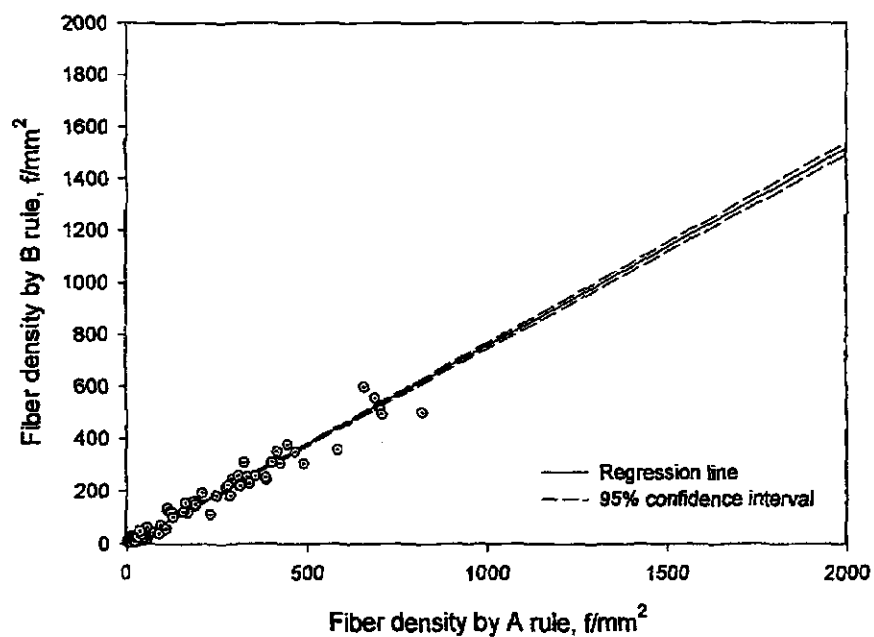


Fig 11. Plot of the fiber densities in rock wool fiber samples determined using A and B countings rules by analyst A. The regression line shown is given by $y = 0.76x - 2.09$.

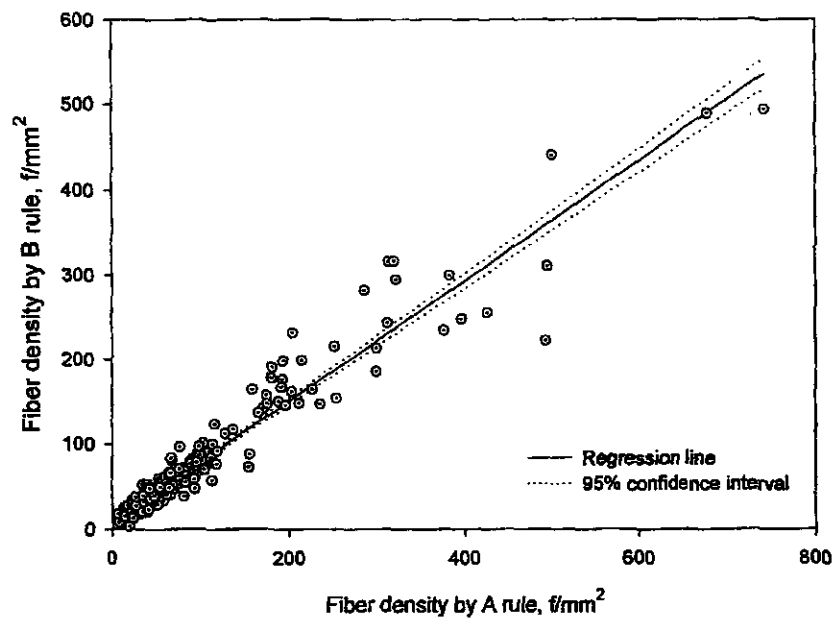


Fig. 12. Plot of the fiber densities in ceramic fiber samples determined using the A and B counting rules by analyst A.

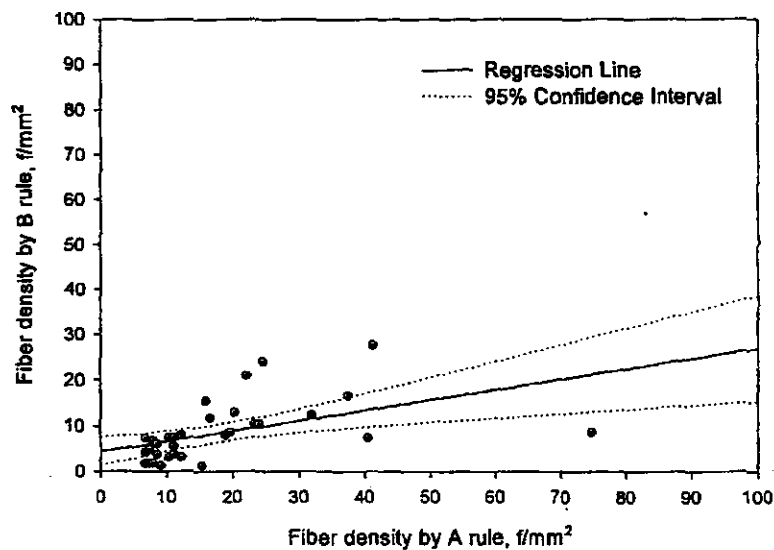


Fig 13. Plot of the fiber densities in continuous filament glass fibers determined using A and B counting rules by analyst A. The regression line shown is given by $y = 0.22x + 4.71$.

본 연구에서는 각 시료에 대한 A 규칙과 B 규칙에 의한 분석결과를 대수 변환하여 paired t-test로 통계검정한 결과 모든 섬유종류에 있어 두 값간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 세라믹섬유 시료의 경우, 두 계수규칙에 의한 섬유밀도간의 상관성은 밀접하였으나($r = 0.93$) 두 값간에는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 본 연구 대상의 MMMF 시료의 경우 다른 계수 규칙에 의한 결과를 통합하는 경우 오차가 유발될 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 두 계수규칙에 의한 결과간의 차이를 검정한 결과가 연구에 따라 차이가 있는 이유는 각 연구대상 섬유의 크기, 특히 직경 분포가 다르기 때문인 것으로 추정된다. 공기중 섬유의 직경분포가 비교적 작아 호흡성 섬유가 뚜렷하게 구분되지 않고 대부분의 섬유가 호흡성 섬유에 해당하는 경우 두 계수규칙에 의한 결과는 유의한 차이가 없게 나타날 것이다. 그러나 직경 분포가 커서 호흡성 섬유의 비율이 적은 경우 두 계수규칙에 의한 값간에는 유의한 차이가 발생할 것이다. 따라서 MMMF 종류, 제조업체 및 공정 등 여러 가지 요인에 따라 섬유의 크기 분포는 차이가 있을 수 있으므로 다른 규칙에 의해 산출된 결과를 통합하고자 하는 두 계수규칙간의 차이를 먼저 검증해 보아야 한다.

나. 분석자내 분석변이 비교

(1) 계수규칙간 비교

표 13은 A 규칙 및 B 규칙에 의한 섬유계수에 있어서 분석자내 변이(intra-counter variation)를 MMMF 종류 및 섬유 밀도별로 살펴본 결과이다. 유리섬유, 암면, 세라믹섬유 및 장유리섬유를 A 규칙으로 계수 할 때 분석자내 변이는 각각 0.084, 0.102, 0.071 및 0.067이었으며, B 규칙으로 계수 할 때 분석자내 변이는 유리섬유, 암면 및 세라믹섬유 각각에 대해 0.139, 0.120 및 0.142이었다. 유리섬유 및 암면의 경우 높은 섬유밀도에서 B 규칙의 변이는 A 규칙보다 큰 경향을 보였으나 전체적으로 paired t-test 결과 계수규칙간에 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$). 그러나 세라믹섬유의 경우 B 규칙의 변이는 A의

변이보다 2배정도 컸으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p = 0.01$). 이와 같이 유리섬유 및 암면 시료에 대한 B 규칙의 변이는 통계적인 유의성은 없지만 A 규칙의 변이보다 약간 큰 경향을 보이며, 세라믹섬유의 경우 B 규칙의 변이는 A 규칙의 변이보다 통계적으로 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 A 규칙의 경우 직경에 대한 제한이 없으나 B 규칙의 경우 직경에 대한 기준이 있는데 이러한 기준은 분석자내 변이를 증가시킨 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

Table 13. Intra-counter Variations by Fiber Type, Density and Counting Rule

Fiber Type	Average Fiber Density, fiber/mm ²		Intra-counter Sr ^A	
	A Rule	B Rule	A Rule	B Rule
Glass wool fibers	31.5	23.1	0.132	0.196
	87.8	70.9	0.061	0.149
	165.2	122.0	0.044	0.121
	306.2	230.2	0.073	0.044
	Overall	Overall	0.084	0.139
Rock wool fibers	29.5	20.1	0.164	0.155
	65.7	49.5	0.105	0.098
	131.4	104.3	0.029	0.110
	336.4	260.4	0.055	0.107
	Overall	Overall	0.102	0.120
Ceramic fibers	23.6	23.8	0.122	0.190
	54.6	56.3	0.054	0.132
	180.6	164.9	0.015	0.132
	326.7	292.9	0.044	0.970
	Overall	Overall	0.071	0.142
Continuous filaments	50.0		0.075	
glass fibers	75.6		0.058	
	Overall	Overall	0.067	

^AIntra-counter Sr: Intra-counter relative standard deviation

(2) 섬유종류간 비교

섬유종류에 따라 분석자내 변이는 A 규칙으로 계수시 암면섬유에 대한 변

이가 다른 섬유에 비해 약간 크나 뚜렷한 차이는 없으며, B 규칙의 경우 반대로 유리섬유 및 세라믹섬유가 약간 크나 뚜렷한 차이는 없었다. A 계수규칙과 B 계수규칙의 변이를 섬유종류에 따른 차이를 분산분석에 의해 통계적으로 검정한 결과, 섬유종류간 두 계수규칙의 변이는 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$). 섬유종류에 따른 분석자내 변이 차이는 분석자 및 시료 수가 제한되기 때문에 일반적인 결론을 내릴 수 없으므로 추가적인 연구자료가 필요하리라 본다.

(3) 섬유밀도에 따른 차이

각 계수규칙의 변이는 섬유밀도에 따라 분석자내 변이는 뚜렷한 차이를 보이고 있었다. 그림 14 ~ 15에서 보듯이 낮은 섬유밀도에서는 변이가 비교적 높았으며 섬유밀도가 클수록 대체적으로 변이가 작게 나타났다. 표 13에서 보듯이 유리섬유에 대한 A 규칙 및 B 규칙의 분석자내 변이는 섬유밀도가 50 f/mm^2 미만에서는 각각 0.132 및 0.196으로 이 값 이상에서의 변이(각각 0.044 ~ 0.061 및 0.044 ~ 0.149)보다 크게 나타났다. 세라믹섬유에 대한 A 규칙 및 B 규칙의 분석자내 변이는 50 f/mm^2 이하에서는 각각 0.122 및 0.190이었으나 이보다 높은 밀도에서는 각각 0.015 ~ 0.054 및 0.097 ~ 0.132로 나타나 섬유밀도에 따른 차이가 있었다. 이와 같이 A 규칙 및 B 규칙 모두 섬유종류에 관계없이 섬유밀도가 50 f/mm^2 이하에서 분석자내 변이가 가장 높았으며 이보다 높은 밀도에서는 변이가 대체적으로 일정하게 낮은 경향을 보이고 있었다.

특히, 그림 14에서 보듯이 A 규칙의 분석자내 변이는 세 가지 광물섬유의 섬유밀도가 131 ~ 180 f/mm^2 일 때 가장 낮은 변이 값을 보여 이 밀도수준에서 재현성이 가장 높았다. 그러나 그림 15에서 보듯이 B 규칙의 경우 A 규칙과는 차이가 있었으며 섬유밀도가 가장 큰 시료, 즉 230 f/mm^2 이상의 섬유밀도를 가진 시료에서 낮은 변이를 보였다.

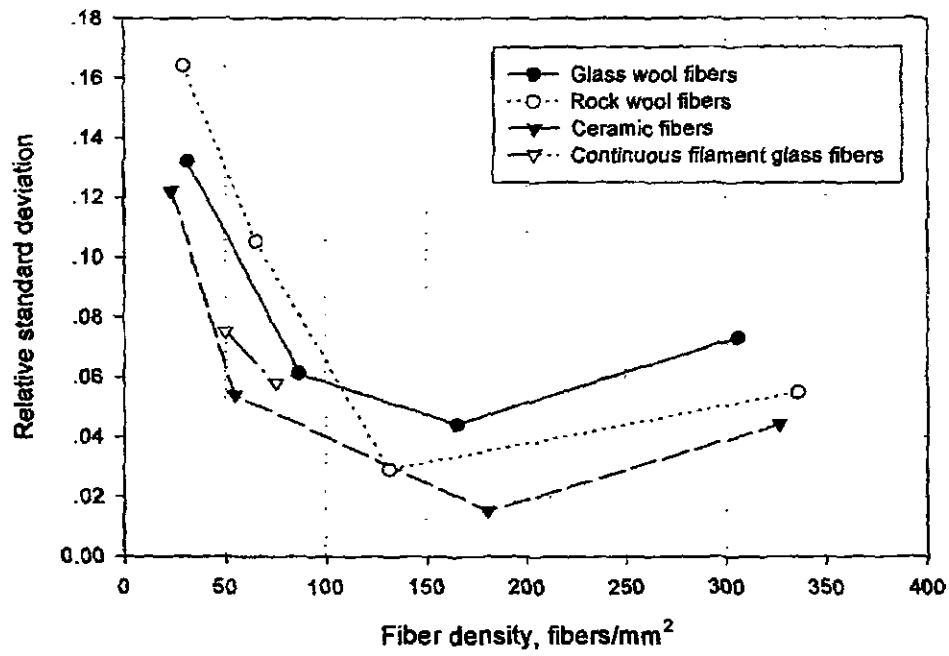


Fig. 14. Intra-counter variation using A rule by fiber type and density.

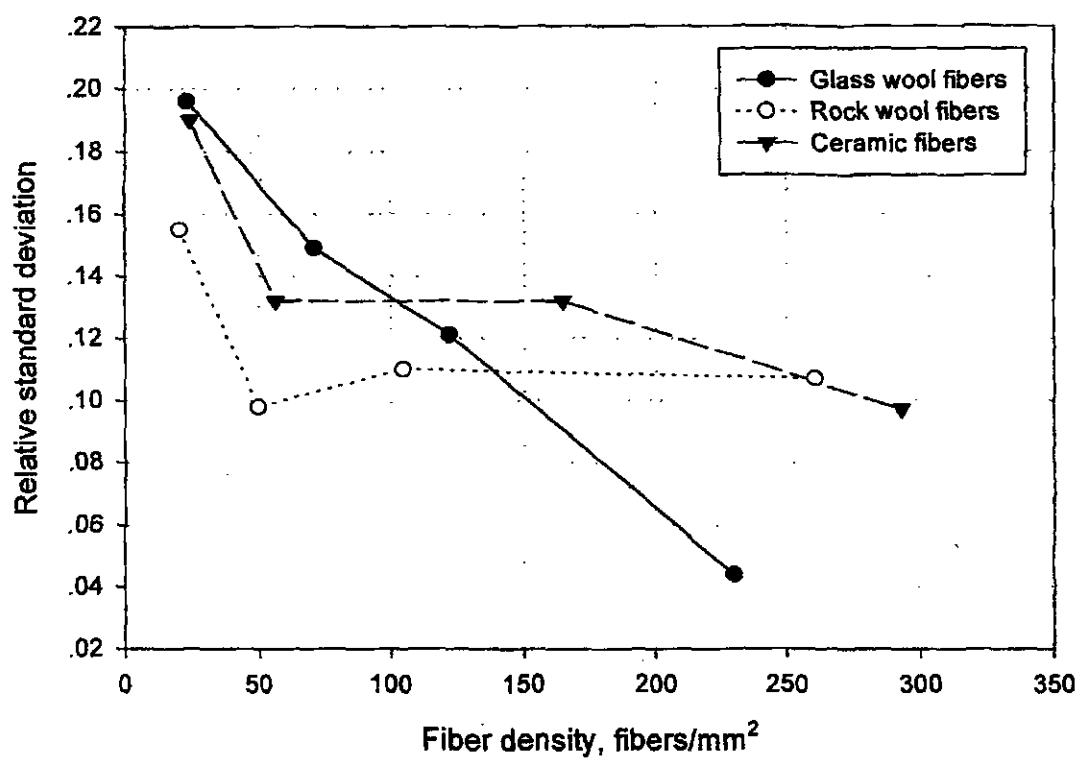


Fig. 15. Intra-counter variation of results using B rule by fiber type and density

다. 분석자간 분석 변이 비교

유리섬유, 암면, 세라믹섬유 시료에 대한 두 명의 분석자간에 의한 분석결과를 가지고 구한 분석자간변이(inter-counter variation)는 표 14 및 그림 16과 같다. 표 14는 섬유종류, 섬유밀도 및 계수규칙별로 분석자간 변이를 보여주고 있으며, 그림 16은 각 섬유종류별로 B 규칙에 있어서 섬유밀도와 분석자간 변이의 관계를 보여주고 있다.

(1) 섬유 종류간 분석변이 비교

섬유종류에 따라 A 규칙의 개인간 변이의 유리섬유 0.281, 암면섬유 0.296, 세라믹섬유 0.180로 세라믹섬유 시료를 계수 할 때 가장 변이가 작았다. 이러한 경향은 특히 저 섬유밀도(20 f/mm^2) 시료에서의 변이 차이에 기인하는 것으로 고 섬유밀도 시료에서는 뚜렷한 차이가 없었다 (표 14 및 그림 16 참조). B 규칙의 개인간 변이는 유리섬유 0.396, 암면섬유 0.337, 세라믹섬유 0.238로 나타나 A 규칙의 경우와 마찬가지로 분석변이의 차이는 저 섬유밀도에서의 변이 차이에 기인하는 것으로 보인다 (표 14 및 그림 16 참조).

(2) 계수규칙간 분석변이 비교

A 규칙과 B 규칙간의 분석변이는 그림 16에서 보는 바와 같이 저 섬유밀도에서 뚜렷한 차이가 있었으나 고 섬유밀도에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

(3) 섬유밀도에 따른 분석변이

계수규칙에 상관없이 섬유밀도가 증가함에 따라 개인간 분석변이가 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. B 규칙에 의해 유리섬유를 계수한 자료의 개인간 분석변이는 섬유밀도가 $<20 \text{ f/mm}^2$ 인 시료에서 0.509로 나타났으나 이 밀도 이상의 시료에서는 0.160 ~ 0.246으로 현저한 차이가 있었다. 암면의 경우도 유리섬유에서와 같이 밀도 감소 폭이 컸다. 그러나 세라믹섬유의 경우 밀도에

따른 차이 폭은 유리섬유 및 암면에 비해 비교적 작았으나 밀도에 따라 분석변이가 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

B 규칙의 경우 직경에 대한 계수기준이 있기 때문에 A 계수규칙에 비해 분석이 까다로워 개인간에 차이가 크게 발생하며, 이러한 계수규칙 차이에 따른 영향은 밀도가 낮은 시료에서 크게 작용하는 것으로 생각된다.

Table 14. Inter-counter Variations by Fiber Type, Fiber Density, and Counting Rule

Fiber type	Fiber Density, fiber/mm ²		Inter-counter Sr ^A , %	
	A Rule	B Rule	A Rule	B Rule
Glass wool fibers	<20	<15	0.344	0.509
	20 - <50	<30	0.273	0.246
	50 - <100	30 - <70	0.100	0.234
	100 and Over	50 and Over	0.163	0.160
	Overall	Overall	0.281	0.396
Rock wool fibers	<20	<30	0.422	0.550
	20 - <50	<40	0.283	0.252
	50 - <100	40 - <60	0.233	0.080
	100 and Over	60 and Over	0.127	0.111
	Overall	Overall	0.296	0.337
Ceramic Fibers	<20	<20	0.216	0.266
	20 - <50	20 - <50	0.210	0.316
	50 - <100	50 - <90	0.170	0.188
	100 and Over	70 and Over	0.119	0.134
	Overall	Overall	0.180	0.238

^A Inter-counter Sr: Inter-counter relative standard deviation

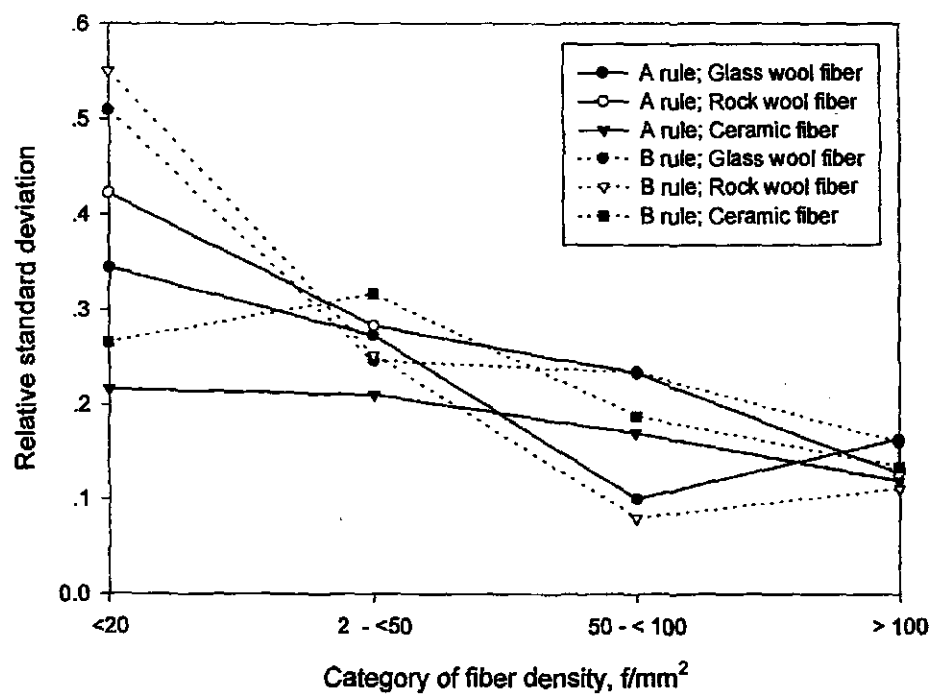


Fig 16. Inter-counter variation of fiber counting by type of fibers and counting rule.

2. 공기중 섬유의 크기 특성

석면과 마찬가지로 인조섬유의 크기 특성과 건강장해는 밀접한 관련이 있으며, 일반적으로 직경이 작을수록 그리고 길이가 길수록 그 유해성이 큰 것으로 알려져 있다.⁽⁷⁻¹¹⁾ 특히 Stanton은 섬유의 독성은 직경이 $>0.25 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 이고 길이가 $8 \mu\text{m}$ 보다 큰 섬유의 수와 밀접한 관련이 있다고 하였다.⁽⁹⁾

섬유의 크기 특성 중 섬유의 직경은 인체의 호흡기에 흡입되는 정도를 결정하는데 가장 중요한 요소이다. 다른 성질이 동일하다면 직경이 작은 섬유가 공기중에 많이 존재할수록 폐속 깊이 침투하는 섬유량이 더 많을 것이다. 따라서 생산되는 섬유의 종류 형태, 생산공정 등에 따라 발생하는 섬유 크기 특성이 다르므로 근로자의 노출을 평가할 때 근로자의 노출량 뿐만 아니라 섬유 크기의 특성을 아는 것이 중요하다. 비섬유상의 분진의 경우 직경이 $10 \mu\text{m}$ 보다 작은 크기의 분진을 호흡성 분진으로 분류하고 있으나 섬유의 경우 직경이 $3 \mu\text{m}$ 이하의 분진을 호흡성으로 분류한다.⁽²⁶⁾

1) 총섬유중 호흡성 섬유의 비율

표 15 및 표 16은 인조광물섬유 종류, 업체, 및 공정별로 A 규칙에 의한 결과에 대한 B 규칙에 의한 결과의 비(B/A)를 보여주고 있다. A 규칙은 길이 대 직경의 비가 3:1 이상을 만족하는 모든 섬유(총섬유)를 측정하나 B 규칙은 길이 대 직경의 비가 5:1 이상이고 직경이 $3 \mu\text{m}$ 이하인 섬유를 측정한다. 따라서 이 두 방법에 의한 결과의 비는 전체 섬유중 호흡성 섬유의 분포비율을 추정하는 자료가 된다.

가. 인조광물섬유 종류에 따른 B/A 값 비교

표 15는 인조광물섬유의 종류에 따른 호흡성 섬유의 비율과 또한 동일한 광물섬유를 제조 또는 가공하는 업체의 경우 업체간에 공기중 섬유의 비율을

제시한 것이다. 전체 유리면 섬유, 암면섬유, 세라믹섬유 및 장유리섬유 시료의 B/A 값은 각각 0.66, 0.65, 0.84 및 0.48로 나타났다. 따라서 세라믹섬유 시료의 경우 섬유의 직경이 비교적 짧아 총섬유중에 호흡성 섬유가 높은 비율로 존재함을 알 수 있었다, 반면, 장유리섬유는 B/A 값이 가장 작게 나타났는데 이것은 장유리섬유는 다른 종류의 섬유에 비해 직경이 큰 섬유가 많이 분포하는 것을 말해준다. 유리섬유와 암면 시료는 서로 비슷한 호흡성 분포 비율을 보이는 것으로 나타났다.

나. 업체에 따른 B/A 값 비교

동일 섬유를 취급하는 업체간에 B/A 값의 차이가 있는지 살펴본 결과 유리면, 세라믹섬유 업체에서는 업체간 차이가 없게 나타났다 ($p>0.05$). 그러나 암면 업체중 암면보온재를 선박의 선실에 시공하는 업체는 다른 업체보다 호흡성 섬유의 비율이 높았으나($p<0.05$), 반면 장유리섬유 제조업체에서도 한 업체에서 호흡성 섬유의 비율이 유의하게 높게 나타났다($p<0.05$). 장섬유 취급업체의 경우 장유리섬유와 다른 인조섬유를 합사하여 브레이크 라이닝 강화제로 사용되는 제품을 생산하였는데 장유리섬유외에 사용되는 인조섬유의 영향을 받았기 때문에 B/A 값이 높은 것으로 추정된다. 이와 같은 결과로 보아 호흡성 비율은 섬유 종류에 따라 현저한 차이가 있음을 알 수 있었다. 한편, 동일한 인조광물섬유를 제조하거나 가공하는 대부분의 업체에서 발생하는 총섬유중 호흡성 섬유의 비율은 일부 특정한 경우를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$).

Table 15. Ratios of Count Results by B Rule to Count Results by A Rule by Fiber Type and Factory

Fiber Type	Factory	Product or Operation	N	Ratio, B/A GM (GSD)
Glass wool fibers	BS	Fibe/wool; pipe cover production	25	0.60 (1.37)
	HANI	Fiber; wool; pipe cover production	12	0.65 (1.34)
	KKSW	Board; pipe cover production	16	0.75 (1.37)
	DD	Insulation installation	9	0.74 (1.16)
	Overall		64	0.66 (1.36)
Rock wool fibers	BSND	Fiber; wool; board production	31	0.65 (1.59)
	KKEY	Board; Miton production	24	0.56 (1.63)
	DD	insulation installation	19	0.81 (1.13)
	Overall		74	0.65 (1.54)
Ceramic fibers	SWKK	Fiber; blanket production; Board production	67	0.86 (1.32)
	KR	Fiber; blanket; Pyrolog production	39	0.81 (1.25)
	Overall		106	0.84 (1.30)
Continuous filament glass fibers	HKF/HK/	Fiber; mat; electronic base production	22	0.55 (1.51)
	OC			
	WS	Enforcing fiber production	8	0.25 (2.04)
	DD	Sand balsting	5	0.64 (2.09)
	Overall		36	0.48 (1.81)

다. 공정에 따른 B/A 값 비교

표 16에는 생산제품 또는 공정별로 제시한 B/A 값이다. 각 공정의 B/A 값은 유리섬유 0.64 ~ 0.80, 암면섬유 0.58 ~ 0.81, 세라믹섬유 0.83 ~ 0.90으로 나타나 각 섬유 취급업종의 B/A 값이 일부 공정에서 약간 높은 경향을 보이거나 이 세 가지 섬유 취급업종에서 공정에 따른 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p>0.05$). 그러나 장유리섬유 취급업종에서는 섬유 및 매트 제조공정, 샌

드블라스팅 공정의 B/A 값은 전자기판 제조공정 및 브레이크 라이닝 강화섬유 제조공정에서보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

Table 16. Ratios of Count Results by B Rule to Count Results by A Rule by Fiber Type and Operation

Fiber Type	Operation	N	Ratio of B Rule to A Rule*
Glass wool fibers	Fiber/wool production	4	0.80 (1.30)
	Pipe cover production	46	0.64 (1.38)
	Board production	4	0.68 (1.35)
	Insulation installation	9	0.74 (1.16)
	Overall	64	0.66 (1.36)
Rock wool fibers	Fiber/wool production	19	0.60 (1.60)
	Board production	19	0.58 (1.60)
	Miton production	16	0.63 (1.65)
	Insulation installation	20	0.81 (1.13)
	Overall	74	0.65 (1.54)
Ceramic fibers	Fiber/blanket production	81	0.83 (1.29)
	Board production	10	0.90 (1.44)
	Pyrolog production	15	0.83 (1.26)
	Overall	106	0.84 (1.30)
Continuous filament glass fibers	Fiber/mat production	13	0.71 (1.27)
	Electronic base production	10	0.34 (1.58)
	Enforcing Fiber production	7	0.30 (1.80)
	Sand blasting	5	0.69 (2.09)
	Overall	36	0.48 (1.81)

*This ratio is equal to ratio of respirable fibers to total fibers in filter

2) 공기중 섬유질 길이 및 직경 분포

가. 위상차 현미경 관찰사진

그림 17 ~ 20은 400배의 배율에서 유리섬유, 암면섬유, 세라믹섬유 및 장유리섬유 제조사업장에서 채취한 공기중 섬유시료를 위상차 현미경으로 촬영

한 사진이며 그림 21은 조선업체에서 암면 단열재를 설치할 때 채취한 시료의 위상차 현미경 사진이다. 그림 22 ~ 23은 각각 백석면(chrysotile)과 황석면(amosite)을 위상차 현미경으로 관찰한 사진이다. 사진에서 보듯이 대체적으로 인조광물섬유의 직경은 석면에 비해 직경이 비교적 크며 섬유 외에도 다수의 비섬유상 입자도 존재함을 알 수 있다. 특히 인조광물섬유 중 세라믹섬유는 다른 인조광물섬유 비해 직경이 비교적 작으나 장유리섬유는 비교적 직경이 크다는 것을 알 수 있다.

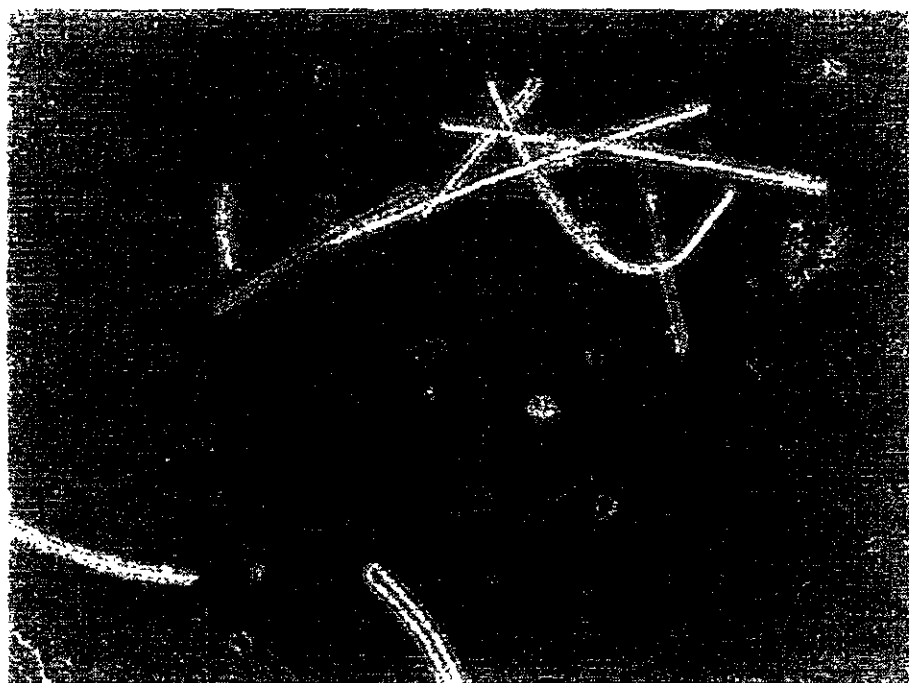


Fig. 17. Photomicrograph of glass wool fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.

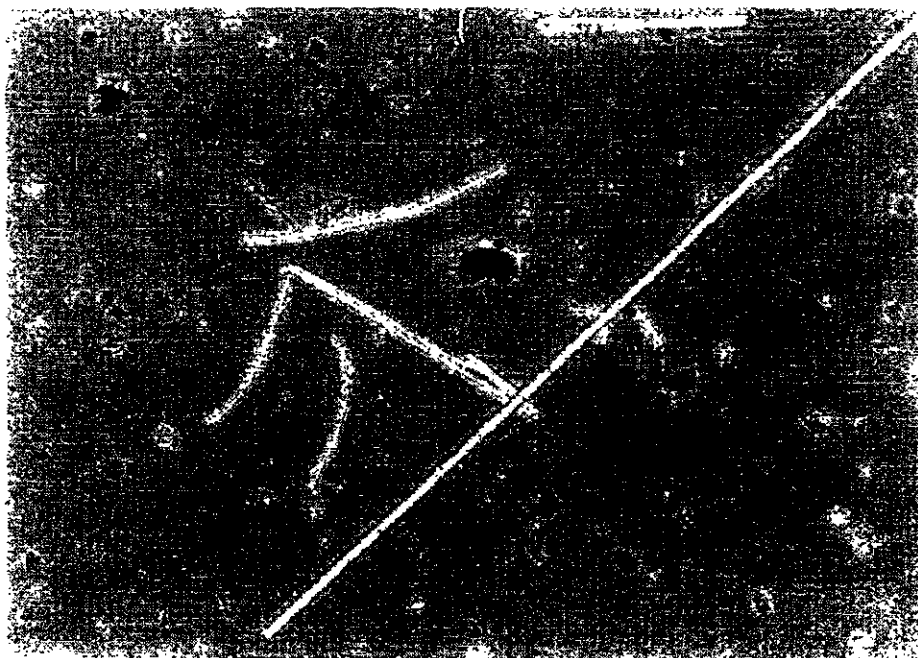


Fig. 18. Photomicrograph of rock wool fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.



Fig. 19. Photomicrograph of ceramic fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.

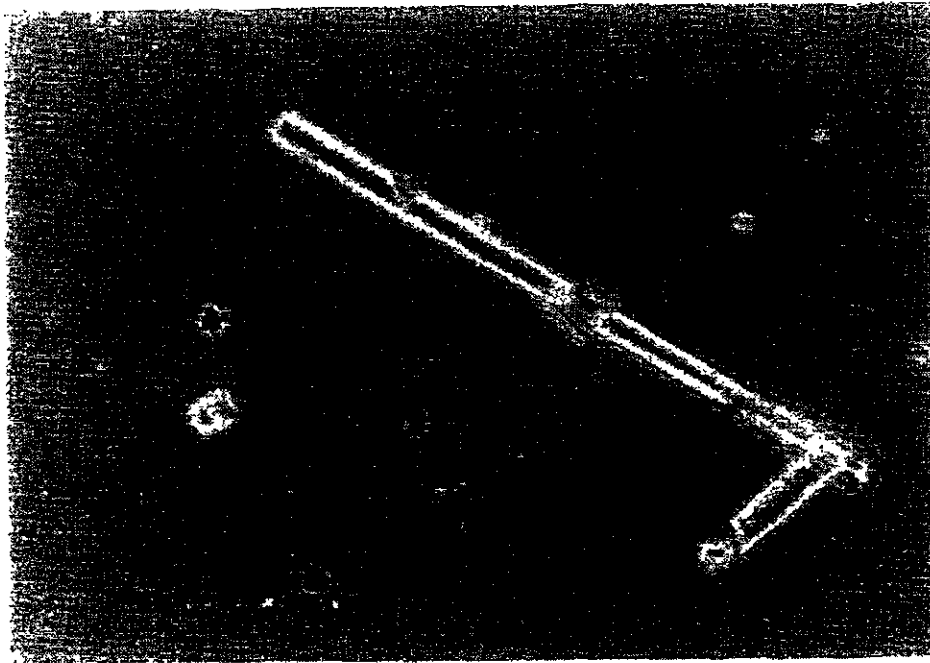


Fig. 20. Photomicrograph of continuous glass filament fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.



Fig. 21. Photomicrograph of glass fibers in an air sample during installing rock wool insulation under 400X magnification using phase contrast microscope.



Fig. 22. Photomicrograph of chrysotile asbestos fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.



Fig. 23. Photomicrograph of amosite asbestos fibers in an air sample under 400X magnification using phase contrast microscope.

나. 섬유종류 및 업체별 섬유 길이 및 직경 분포

섬유 종류 및 업체별 공기중 섬유길이 분포는 표 17 및 그림 24와 같고 직경 분포는 표 18 및 그림 25와 같다. 이들 섬유의 길이 및 직경 분포를 요약한 결과는 표 19와 같다.

길이의 특성을 살펴보기 위해 섬유제조 설비에서 인접한 위치에서 작업하는 근로자의 호흡위치에서 채취된 시료를 선택하여 관찰하였다. 공기중 유리섬유는 유리섬유 제조 설비와 이를 취급하는 공정이 주 발생원이며 분쇄 및 절단 공정과 같은 특정 공정과 인접하여 작업하는 근로자를 제외하고는 대부분의 근로자는 유리섬유 제조공정에서 발생하는 크기 특성을 지닌 유리섬유에 노출된다고 볼 수 있다.

표 17에서 보듯이 한 업체만을 제외하고는 섬유 종류, 업체 및 공정에 관계없이 공기중 섬유 길이는 20 - 50 μm 인 범위에서 가장 많은 비율로 분포하고 있음을 알 수 있다. 한 업체(KKSW)의 유리면 생산공정에서 채취한 시료에서 100 μm 이상의 길이를 가진 섬유의 비율이 가장 높아 다른 군의 길이 분포와 차이가 있었다. 이와 같은 차이를 보인 것은 유리섬유를 제조하는 설비의 차이로 보이며 A 사업장의 경우 용융된 유리 용액이 통과하는 spinner의 구멍이 다른 사업장에 비해 크기 때문인 것으로 생각된다. 표 18에서 보듯이 이 업체의 공기중 섬유의 길이의 평균은 105 μm 이었고 다른 유리면 업체의 평균 섬유 직경은 33 - 50 μm 이었다. 암면, 세라믹섬유 및 장유리섬유 업체의 섬유의 평균 길이는 각각 28, 35 및 27 μm 로 서로 비슷한 값을 보이고 있었다.

섬유 직경 분포는 섬유 종류에 따라 뚜렷한 차이가 있었다. 표 18에서 보듯이 유리섬유와 암면은 섬유직경이 <1 μm 에서 5 μm 까지 고르게 분포하고 있었다. 장유리섬유의 직경은 비교적 큰 분포를 보이는데 5 μm 이상의 섬유가 90% 이상으로 나타났다. 반면, 세라믹섬유의 직경은 1 μm 미만인 섬유의 비율이 가장 높고, <2 μm 미만의 섬유는 전체 섬유의 약 80% 정도의 비율을 차지하는 것으로 나타나 다른 종류에 비해 직경이 작은 것을 알 수 있다.

Table 17. Proportion of Airborne Fibers by Length

Fiber Type	Fiber Length, μm					
	<5	5-<10	10-<20	20-<50	50-<100	>100
Glass wool fiber						
PC cutting/BSKN (N=108)	2.5	9.9	18.2	27.3	16.5	25.5
Fiber forming/KKSW (N=170)	0	0	5.3	4.7	38.8	51.2
Wool forming/HANI (N=225)	0	0.4	1.6	42.3	33.9	12.7
Wool cutting/HANI	0	0.8	5.4	45.4	26.2	10.0
Wool grinding/HANI	0.4	9.8	22.9	33.1	16.9	16.9
Rock wool fiber/BSNI	0.7	2.7	16.9	33.1	23.6	23.0
Ceramic fiber/KR	0	15.0	23.6	37.9	14.3	9.2
Continuous filament glass fiber /HKFI	0	1.6	12.9	51.6	30.6	3.2

Table 18. Proportion of Airborne Fibers by Diameter

Fiber Type	Fiber Diameter, μm					
	<1	1-<2	2-<3	3-<5	5-<10	>10
Glass wool						
P/C Cutting/BSKN (N=108)	32.2	22.3	20.7	12.4	12.4	
Fiber forming/KKSW (N=170)	2.4		36.5*	21.8	39.4	
Wool forming/HANI (N=225)	26.7		55.6*	8.4	9.3	
Wool cutting/HANI (N=130)	16.2		66.9*	12.3	4.6	
Wool grinding/HANI (N=266)	23.7		56.8*	13.9	5.6	
Rock wool/BSNI (N=148)	23.6	29.7	19.6	19.6	7.4	
Ceramic fiber/KR (N=140)	46.0	35.8	12.4	4.4	1.5	
Continuous filament glass fiber /HKFI (N=62)			1.6	3.2	54.8	40.3

*Percentage of fibers in 1 ~ <3 μm diameters

이와 같은 섬유 직경 분포를 요약한 결과는 표 19에 제시되어 있다. 유리섬유 제조업에 발생된 유리섬유의 평균 직경은 약 1.5 μm 이었다. 그러나 한 유리섬유 제조업체의 섬유 직경은 3 ~ 4 μm 으로 비교적 직경이 큰 섬유가 발생하였

다. 암면의 평균 직경도 대부분의 유리섬유 업체와 유사한 1.6 μm 이었으나 세라믹섬유의 직경은 평균 1.0 μm 로 여러 섬유종류 중에서 가장 작은 직경 분포를 보였다. 반면 장유리섬유의 평균 직경은 10 μm 로 다른 섬유와 큰 차이가 있었다.

Table 19. Summary of Length and Diameter by Fiber Type and Factory

Fiber Type	Length		Diameters		% of Fibers Dia. <3 μm
	GM, μm	GSD	GM, μm	GSD	
Glass wool					
BSKN/P/C cutting(N=108)	35	3.1	1.5	3.5	75.2
KKSW/Fiber forming(N=170)	105	4.0	>3-4		38.9
HANI/Wool forming(N=225)	50	2.0	1.4		82.3
" cutting(N=130)	35	2.9	1.7		83.1
" grinding(N=266)	33	2.9	1.5		80.5
Rock wool/BSNI (N=148)	28	2.1	1.6	2.8	73.0
Ceramic fiber/KR (N=140)	35	3.1	1.0	2.1	94.2
Continuous filament glass fiber /HKFI (N=62)	27	1.9	10	1.6	1.6

Note: GM = geometric mean deviation; GSD = geometric standard deviation

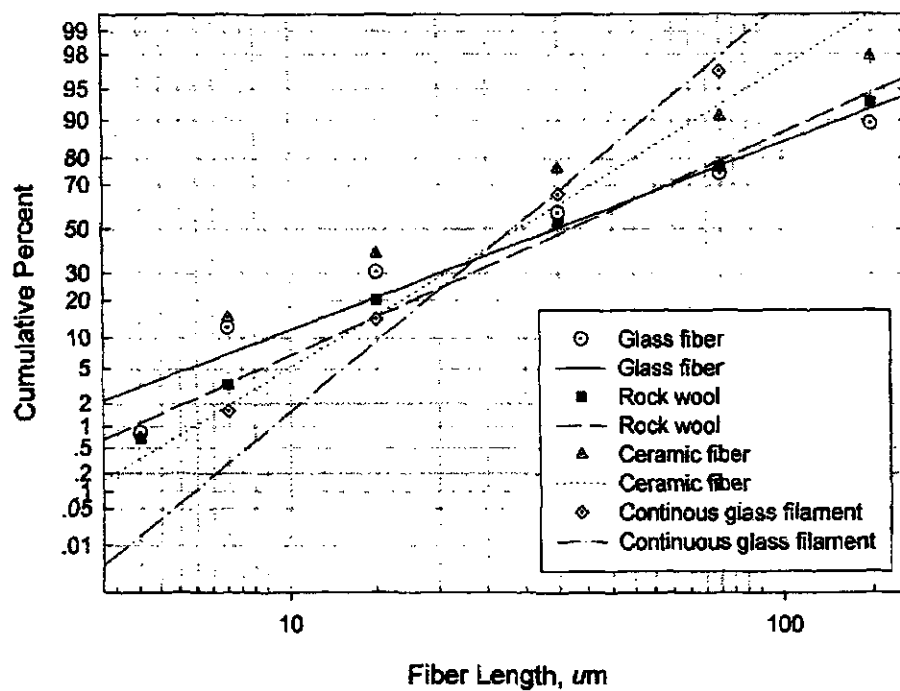


Fig 24. Distribution of airborne fibers lengths by fiber types.

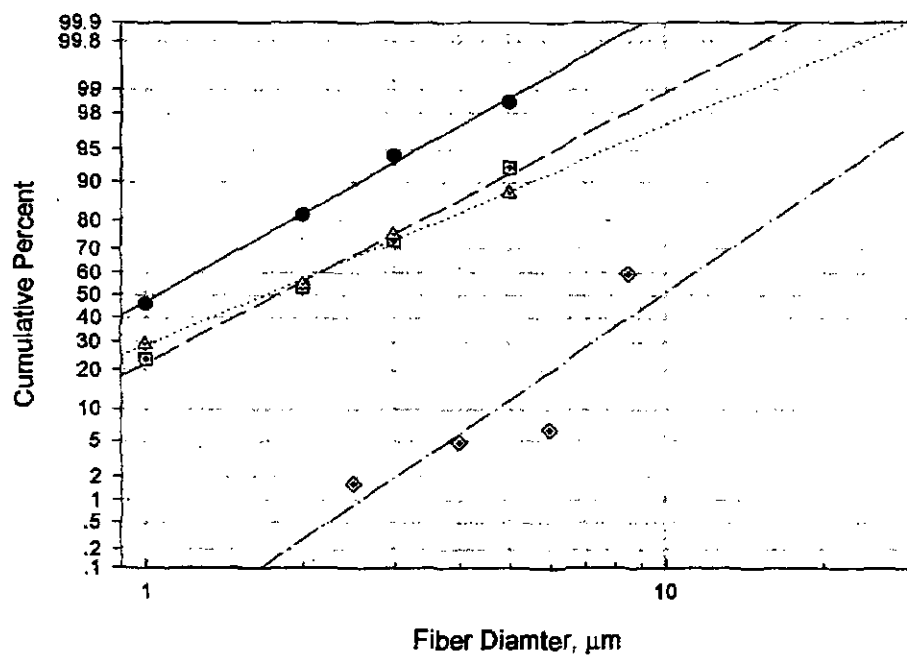
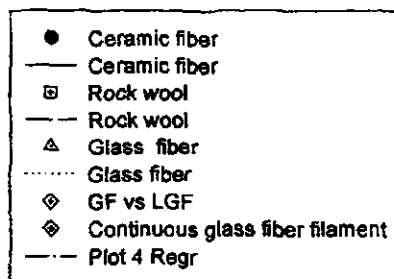


Fig 25. Distribution of airborne fibers diameters by fiber type.



다. 동일 업체내 공정별 공기중 섬유유의 크기 특성

표 17 ~ 19에는 한 사업장(HANI)의 경우 섬유제조 설비(섬유 생산공정)와 인접한 위치에서 측정한 결과뿐 만 아니라 공정에 따른 크기 특성을 살펴보기 위해 절단 및 분쇄 공정에서 측정한 결과도 제시하였다. 유리섬유 제조 및 단열재 제조사업장의 여러 공정중 생산된 유리면 제품을 분쇄나 절단과 같이 외부의 물리적인 힘을 가하는 공정과 섬유화 공정에서 발생하는 섬유의 크기 특성은 그림 26 및 그림 27에서 보는 바와 같다. 절단 공장에서는 회전톱이나 수직절단기로 단열재 판을 적당한 크기로 자르거나 가장자리를 마무리하는 공정이며, 분쇄공정에서는 절단공정 등에서 발생하는 폐기물이나 불량품을 가루로 분쇄하는 공정이다.

표 19 및 그림 26에서 보듯이 세 공정에서 발생하는 섬유의 평균 직경은 1.4 ~ 1.7 μm 이고 직경 3 μm 이하의 호흡성 섬유의 비율은 80.5 - 83.1%로 서로 비슷하였다. 다만 그림 29에서 보듯이 섬유형성 공정의 섬유 직경은 다른 공정보다 직경의 분포 더 넓은 범위에 걸쳐 있었다. 이와 같이 공정에 따라 섬유 직경이 유의한 차이가 없는 이유는 유리섬유의 경우 횡축으로만 분열되며 종축으로 분열되지 않기 때문에 물리적인 힘이 가해지더라도 섬유 직경은 공정과 관계없이 직경이 일정한 상태로 유지되기 때문이다.

그러나 길이의 경우 표 19 및 그림 27에서 보듯이 절단 및 분쇄 공정은 평균 33 ~ 35 μm 로 이 두 공정에서 발생하는 섬유의 길이 특성은 서로 유사하나 섬유제조 공정의 섬유 크기 (평균 50 μm)와는 현저한 차이가 있었다. 절단 공정과 분쇄공정의 섬유길이는 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 적합도 검정 결과⁽³⁷⁾ 유의한 차이가 없었고($p < 0.05$), 섬유형성 공정과 절단·분쇄 공정의 섬유 길이는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이 세 공정을 제외한 다른 공정은 섬유화 공정과 유사한 크기 분포를 보일 것으로 추정된다. 왜냐하면 섬유화 공정에서 생성된 유리섬유는 포장, 운반 공정을 거치는 절단 공정을 제외하고는 원래 생성된 유리섬유의 형태를 그대로 유지되고 있기 때문이다. 절단

은 일부의 위치에서 발생되므로 사업장의 전체 섬유 크기 특성에는 큰 영향을 미치지 않으리라 보기 때문에 유리섬유 제조업의 유리섬유의 길이는 섬유화 공정에서 발생된 길이와 유사하리라 본다.

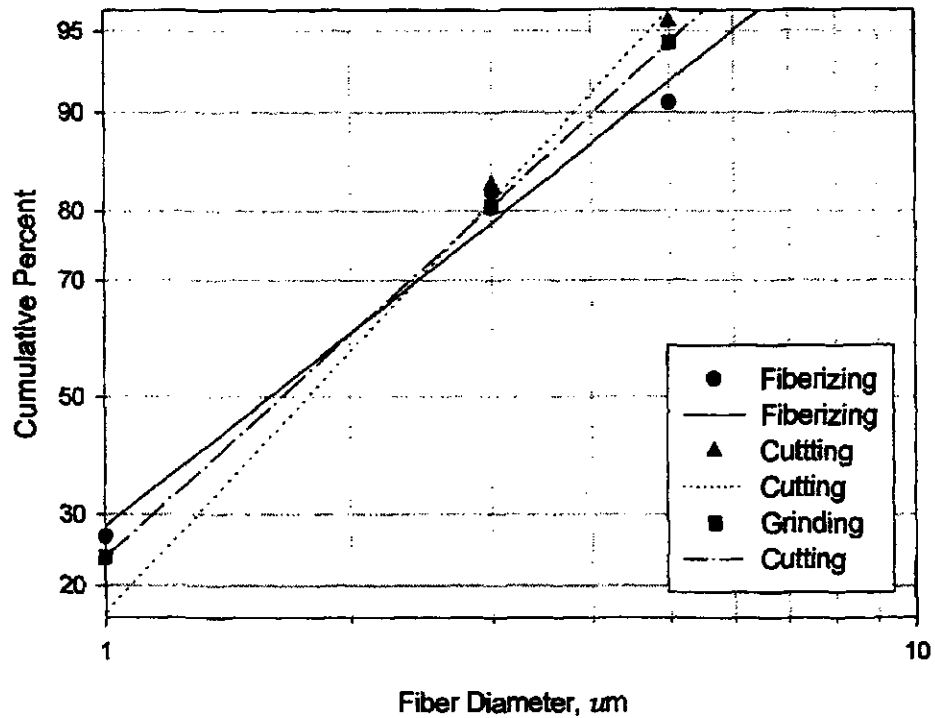


Fig. 26. Distribution of glass fiber diameters by process.

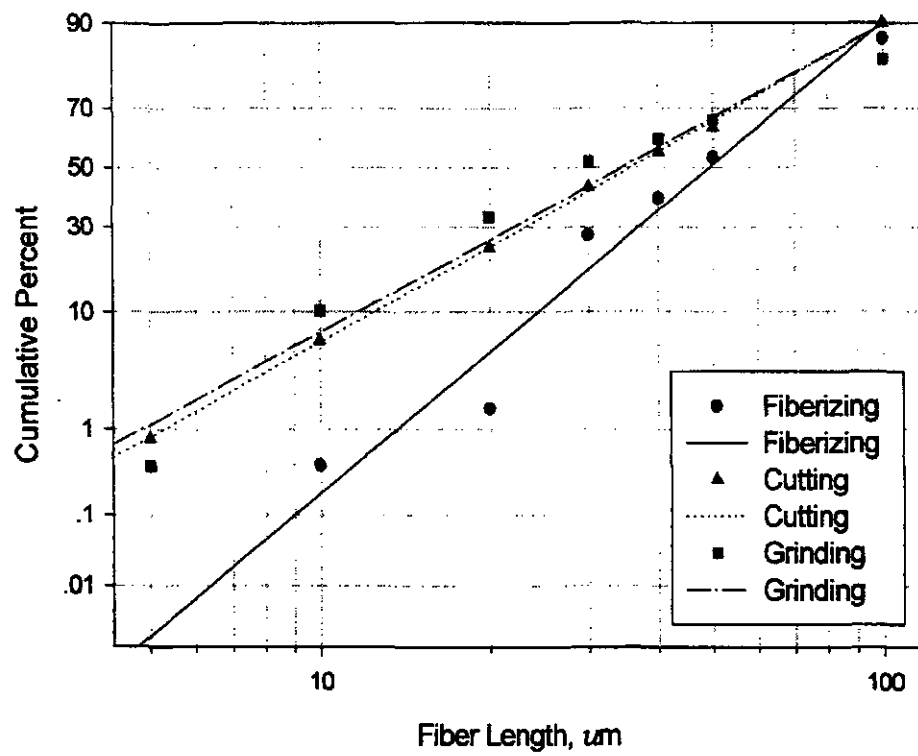


Fig. 27. Distribution of glass fiber length by process.

라. 공기중 총섬유중 호흡성 섬유의 비율

섬유 독성의 크기는 직경과도 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 호흡성 섬유로 규정하고 있는 직경이 3 μm 이하인 섬유의 분포는 앞 절의 표 19에서 보는바와 같이 네 군으로 분류되는 양상을 보이고 있었다. 유리섬유 사업장중 KKSW 사업장의 호흡성 섬유 비율은 38.9%로 다른 유리섬유 사업장의 75.2 ~ 83.1%에 비해 낮았다. 따라서 같은 종류의 섬유를 생산 또는 취급하는 사업장간에도 근로자의 호흡기관에 영향을 주는 호흡성 비율이 다를 수 있다. 한 암면 사업장의 공기중에 존재하는 호흡성 섬유의 비율은 73%로 대부분의 유리섬유 사업장이 결과와 비슷하였다. 세라믹섬유 사업장의 호흡성 섬유의 비율은 94.2%로 가장 높은 값을 보이고 있으며 공기중에 존재하는 대부분의 섬유는 호흡성 섬유임을 알 수 있다. 장유리섬유 사업장에서는 이 값이 1.6%로 나타나 호흡성 섬유는 거의 존재하지 않은 것으로 나타났다.

3) 제품의 섬유직경과 공기중 섬유 직경 비교

표 20은 제품의 섬유 직경과 공기 시료중 섬유의 직경을 비교한 결과로 두 값간에는 차이가 있는 것으로 나타났다. 공기중에 발생된 섬유의 직경은 제품을 구성하고 있는 섬유의 직경보다 작다는 것을 알 수 있다. 제품중에 존재하는 비교적 작은 크기를 가진 섬유가 공기중에 잘 발생되므로 공기중에 존재하는 섬유는 비교적 크기가 작은 분포를 형성하게 될 것이다. 또한 공기중에는 발생된 큰 섬유는 빨리 침강되나 작은 섬유는 오래 동안 정제하기 때문에 초기의 섬유 크기 분포에 비해 작은 섬유의 비율이 높아지는 쪽으로 분포가 형성될 것으로 추정된다.

Table 20. Comparison of Fiber Diameters between in Products and in Air Samples

Type of Fibers	Fiber Diameter, μm	
	Product ^A	Airborne Fiber ^B
Glass fiber	4.5 - 6.5	1.5 - 4.0
Rock wool fiber	4.0 - 7.0	1.6
Ceramic fiber	2.5 - 3.5	1.0

^AThe data obtained from the manufactures; ^BThe values measured by phase contrast microscope

4) 고찰

섬유의 길이 및 직경을 위상차 현미경으로 측정하는 경우 매우 얇은($<0.2 \mu\text{m}$ 미만) 섬유는 측정에서 제외되는 제한점이 있다. 그러나 특수 섬유를 제외한 대부분의 인조광물섬유는 섬유의 직경이 크기 때문에 위상차 현미경은 이들 섬유의 크기분포에 대한 유용한 자료를 제공할 수 있는 것으로 알려져 있다. 유리섬유 보온재에 대해 위상차 현미경과 전자 현미경을 사용하여 섬유 특성을 측정한 결과를 비교한 연구에 따르면 두 방법간의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.^(38,32,39,40) 이와 같은 결과는 유리섬유 보온재의 경우 석면 방직업의 석면 섬유와 달리 위상차 현미경으로 관찰되지 않는 작은 직경의 존재 비율이 적은 것을 의미하고 있다. 따라서 유리섬유의 경우 위상차 현미경을 사용하여 크기 특성을 측정하더라도 큰 오차는 발생하지 않으리라 보며 개괄적인 섬유 특성을 파악하는 데는 유용하다고 판단된다.

본 연구에서는 인조광물섬유 제조업의 경우 섬유종류, 사업장 및 공정에 따라 섬유의 크기 특성은 차이가 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 유리면과 압면의 섬유 직경은 각각 $1.5 \mu\text{m}$ 및 $1.6 \mu\text{m}$ 로 서로 비슷하였으나(평균 섬유 직경이 $3.5 \mu\text{m}$ 인 한 유리면 사업장은 예외임), 세라믹섬유의 직경은 평균 $1.0 \mu\text{m}$

로 다른 섬유에 비해 가장 작은 직경 분포를 보였고 반대로 장유리섬유의 직경은 평균 10 μm 로 가장 큰 분포를 보였다.

Jaffery 등⁽³⁰⁾은 전형적인 공기중 유리면의 섬유 길이는 28.5 μm 이고, 암면의 섬유 길이는 39.6 μm 라고 보고하였다. 우리 나라에서 백 등⁽⁴¹⁾이 석면취급 업종별로 공기중 석면 섬유의 특성에 대해 발표하였는데, 석면 방직업의 경우 섬유 길이의 기하평균이 16.3 μm , 브레이크 라이닝 제조업이 13.8 μm , 슬레이트 제조업의 경우 13.8 μm 로 보고하였다. 본 연구결과 공기중 인조광물섬유의 길이는 유리섬유 33 ~ 105 μm , 암면 28 μm , 세라믹섬유 35 μm , 장유리섬유 27 μm 정도로 나타나 백 등이 보고한 석면이 길이 보다 큰 분포를 보였다.

여러 연구자들이 인조섬유와 단열제품의 명목 직경(nominal diameter)과 섬유의 크기에 대해 발표하였다. Jeffery⁽³⁰⁾는 유리면의 공기중 섬유의 직경은 평균 1.42 μm 이고 암면의 공기중 섬유의 직경은 2.3 μm 라고 하였으며, Konzen 등⁽³¹⁾은 유리섬유 단열제품의 섬유 직경이 1 ~ 4 μm 라고 보고하였다. Kojola 등은⁽⁴⁾ 일반적인 유리섬유의 명목 직경은 2 ~ 9 μm 라고 발표하였고 Cherri 등⁽⁴²⁾은 유리면 공장에서의 섬유직경의 중위값은 0.3 ~ 2.5 μm 라고 하였다. 이 연구자들의 결과는 본 연구결과와 유사하였다. Esmen 등⁽³⁹⁾은 생산되는 유리섬유의 직경이 큰 군(1 ~ 6 μm)과 작은 군 (0.05 ~ 1.6 μm)으로 분류하여 보고하였으며 명목직경이 6 μm 인 섬유를 제조하는 사업장의 경우 호흡성 섬유의 비율이 40% 미만이었다고 보고하였다. Reidiger 등⁽⁴³⁾은 유리섬유 제조업의 4개 공정에서 조사한 섬유직경의 중위값은 0.4 ~ 0.7 μm 로 작았다고 발표하였다. Christensen 등⁽⁴⁰⁾은 여러 종류의 단열재를 생산하는 공장에서 섬유의 직경은 유리섬유 단열재 1 ~ 8 μm , 암면 및 슬래그울 2 ~ 5 μm 그리고 세라믹섬유 0.3 ~ 3.9 μm , 특수 섬유 평균 0.6 μm 이라고 발표하였다.

작업환경중에 존재하는 섬유의 크기 특성, 즉 호흡성 섬유 비율의 차이는 근로자의 섬유 노출량을 결정하는데 있어 중요한 요인으로 작용한다. 작업환경의 총 섬유농도가 높다고 하더라도 호흡성 섬유의 비율이 적은 경우, 근로자의 노출평가는 호흡성 섬유에 근거하기 때문에 근로자의 실제 섬유 노출농도는

낮게 나타날 것이다. 그러나 세라믹섬유의 경우 총섬유 발생량은 비슷하더라도 호흡성 섬유의 비율이 높기 때문에 근로자의 실제 섬유 노출량은 높게 나타날 것이다. 섬유의 크기 특성(특히 직경)은 섬유노출에 따른 건강위험을 결정하는 중요한 요인중의 하나이며 노출평가지 섬유의 크기 특성을 파악하는 것이 필요하다.

3. 공기중 분진 및 섬유 농도

1) 유리섬유 및 유리섬유제품 제조업

가. 사업장 및 제품별 섬유 농도

표 21에는 유리섬유 제품제조사업장 근로자의 공기중 섬유 및 분진 노출농도를 보여주고 있다. 유리섬유 사업장 전체 시료의 평균 섬유 농도는 0.012 f/cc로 ACGIH TLV인 1 f/cc의 1/100 수준이었고, 총분진 농도는 0.40 mg/m³로 노동부 노출기준인 10 mg/m³보다 훨씬 낮은 수준이었다. 또한 개별 시료중 ACGIH TLV를 초과하는 시료는 한 건도 없었다. 이와 같은 결과로 보아 유리섬유 제품을 취급하는 근로자는 공기중 유리섬유 노출에 따른 건강위험은 전반적으로 낮은 것으로 나타났다.

한편, 사업장간 근로자의 노출농도는 분산분석 결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.001$). 한 사업장 (BSKN)의 섬유농도는 평균 0.037 f/cc로 대상 4개보다 유의하게 높았는데($p < 0.01$), 이 업체를 제외한 다른 업체의 평균 농도는 0.008 ~ 0.012 f/cc 범위로 이들 업체의 농도 차이는 유의하지 않았다($p > 0.05$). 가장 높은 농도를 보인 사업장은 파이프 보온재(pipe cover, PC)를 생산하는 업체로 국소배기 시설은 형식적으로 설치되어 있어 섬유분진을 제거하는 효과가 거의 없었으며, 외부로 방출된 분진이 설비에 다량 퇴적되어 있었다. 이 사업장은 환기시설의 성능이 미흡할 뿐만 아니라 협소한 작업공간에 4 ~ 5대 생산설비가 동시에 가동되기 때문에 공기중에 방출되는 분진의 발생량이 많아 공기중 섬유분진 농도가 비교적 높았던 것으로 판단된다.

호흡성 섬유 농도가 낮은 두 개 업체의 농도 분포는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 이들 사업장은 다른 업체에 비해 국소배기 등 작업환경관리 상태가 양호하여 섬유농도가 낮았던 것으로 판단된다. 특히 KKSW 사업장은 파이프 커버 제조라인의 성형공정은 다른 사업장과 다른 연속성형공법(CMP)을 이용

Table 21. Comparison of Respirable Glass Fiber and Total Dust Concentrations among Factories in the Manufacture of Glass Wool and Insulation

Factory	Product	N	Fiber Conc., f/cc	N	Total Dust Conc., mg/m ³
BSKN	PC	10	0.037 ^A (2.01) ^B		—
KКСW	Board	5	0.008 (1.32)	5	0.18 (1.57)
	PC	12	0.010 (1.33)		—
	Subtotal	17	0.009 (1.35)		—
HANI	Eiber/Wool	6	0.008 (2.03)	5	0.50 (2.94)
	PC	11	0.009 (3.09)	11	0.33 (1.70)
	Subtotal	17	0.008 (2.67)	16	0.38 (2.08)
SWOO	Muffler	15	0.012 (2.25)	14	0.58 (2.07)
Total		59	0.012 (2.43)	35	0.40 (2.20)

^AGeometric mean; ^BGeometric standard deviation

하고 있었다. 즉, 제품의 마무리를 위한 가장자리 부분을 절단하는 공정이 없기 때문에 절단에 의한 분진발생을 방지할 수 있었다. 또한 이 사업장의 블랭킷(매트) 생산 공정에서는 폭절단에 의해 발생하는 유리섬유 잔재물들이 자동으로 용해로로 회수되는 등 관리상태가 양호한 것으로 판단된다. 한편, 이와 같은 작업공정의 특성 및 작업관리 등의 요인 외에 섬유 크기 특성 또한 섬유 농도를 낮춘 요인으로 작용한 것으로 보인다. 즉, 사업장별 섬유 크기 특성을 보면 이 사업장의 평균 섬유 직경은 3 ~ 4 μm 로 다른 사업장의 1.4 ~ 1.7 μm 에 비해 직경이 크기 때문에(표 19 참고), 총섬유중 호흡성 섬유의 비율이 적으며 따라서 호흡성 섬유의 농도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

대상 사업장은 규모가 비교적 큰 사업장으로 원료로부터 섬유를 제조하는 공정과 생산된 섬유를 사용하여 파이프 커버, 보드 등의 단열재 제품도 생산하고 있었다. 그러나 표 21의 KКСW 및 HANI 사업장의 자료에서 보듯이 사업장내 생산 제품이 다른 경우라도 근로자의 노출농도는 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$).

표 22는 생산 제품에 따른 개인시료 및 장소시료 농도를 정리한 결과이다. 제품에 따른 개인시료 농도는 유리면·블랭킷 0.008 f/cc, 보드 0.008 f/cc, 자동차 소음기 방음재 0.012 f/cc, 및 파이프 커버 0.016 f/cc로 파이프 커버의 경우 비교적 높게 나타났다. 발생원과 인접한 위치에서 측정한 장소시료는 자동차 소음기 방음재, 유리면 및 블랭킷, 파이프 커버, 보드 순으로 높았다. 보드와 파이프 커버 제조설비의 장소시료 농도는 각각 0.033 f/cc 및 0.030 f/cc로 서로 비슷한 수준이었다. 한편, 총분진의 경우 개인시료는 자동차 소음기 방음재에서 가장 높았고 장소시료는 유리면 및 블랭킷에서 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 제품별 섬유 농도와 총분진 농도는 경향이 서로 달랐고 제품별 개인시료와 장소시료의 농도도 경향이 서로 달랐다.

Table 22. Comparison of Respirable Glass Fiber and Total Dust Concentrations among Products in the Manufacture of Glass Wool and Insulation

Product	No. of Factory	Personal Sample		Area Sample	
		Fiber Conc., f/cc	Total Dust, mg/m ³	Fiber Conc., f/cc	Total Dust, mg/m ³
Glass wool/Blanket	3	0.008 ^A (2.0) ^B (N=5)	0.50 (2.9) (N=5)	0.017 (5.6) (N=9)	1.13 (2.6) (N=3)
Board	1	0.008 (1.3) (N=5)	0.18 (1.6) (N=5)	0.033 (3.9) (N=3)	0.18 (4.1) (N=3)
Pipe cover	3	0.016 (2.5) (N=30)	0.38 (1.7) (N=8)	0.030 (5.8) (N=28)	0.82 (2.0) (N=4)
Automobile muffler	1	0.012 (2.2) (N=14)	0.58 (2.1) (N=14)	0.007 (1.9) (N=9)	0.57 (2.5) (N=9)

^AGeometric mean; ^BGeometric standard deviation

나. 공정/직무별 섬유 농도

표 23은 생산품 및 직무별로 근로자의 섬유 노출농도를 보여주고 있다. 섬

유 및 유리면 제조라인에서 섬유화 설비(fiberizing machine) 또는 용해로를 운전하거나 점점(fiber forming machine & furnace operation)하는 근로자와 생산된 유리면을 포장(glass wool packaging)하는 근로자의 노출농도는 0.011 f/cc 및 0.013 f/cc로 서로 비슷한 수준이었다

파이프 커버 제조(pipe cover manufacturing) 라인에서는 생산된 제품의 마무리를 위한 가공(연마) 작업에서의 섬유 농도는 0.062 f/cc로 가장 높았고, 포장 작업에서의 농도는 0.019 f/cc로 다음으로 높은 수준을 나타냈다. 유리면을 공급(loading)하는 근로자와 설비관리 작업(machine maintenance)의 노출농도는 각각 0.011 f/cc 및 0.012 f/cc로 비슷한 수준이었다.

보드 생산(board manufacturing) 라인에서는 생산된 제품을 포장(packaging)하는 작업에서 0.009 f/cc로 섬유형성 설비와 용해로 운전작업(0.005 f/cc)보다 높았다. 자동차 방음재 제조(muffler manufacturing) 라인에서는 성형(molding) 공정과 절단(cutting) 공정의 섬유 농도는 각각 0.011 f/cc 및 0.015 f/cc이었다.

표 24는 유리섬유 및 제품 제조업에서 공정별로 장소시료의 섬유 농도이다. 장소시료는 발생원과 인접한 <50 cm 이내의 거리에서 채취하였으며 이 시료의 농도는 개인시료의 농도보다 대체적으로 높은 것으로 나타났다. 가장 높은 섬유 농도를 보인 공정은 파이프 커버(pipe cover) 제조설비에서의 절단(cutting) 공정으로 평균 0.065 f/cc, 최고 0.081 f/cc로 나타났다. 이 제조 설비의 종이 코팅공정(paper coating)과 성형공정(molding)의 평균 섬유 농도는 각각 0.025 f/cc 및 0.026 f/cc로 비교적 높은 수준이었다. 성형공정, 종이 코팅공정, 절단공정 등은 농도 편차가 다른 공정에 비해 비교적 크게 나타나므로 같은 공정이라도 업체에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

Table 23. Personal Exposure Levels to Respirable Fibers by Job in the Manufacture of Glass Wool and Insulation

Production Line	Job	N	Fiber Conc., f/cc	
			GM	Range
Fiber/Wool manufacturing	Fiber forming machine & furnace operation	3	0.013 (4.4) ^A	0.002-0.032
	Glass wool packaging	4	0.011 (1.3)	0.007-0.014
Pipe cover manufacturing	Glass wool loader(handling)	6	0.011 (1.4)	0.007-0.016
	Packing/Inspection	3	0.007 (1.4)	0.005-0.009
	Packaging	13	0.019 (2.4)	0.007-0.173
	Machine maintenance	4	0.012 (4.4)	0.004-0.096
	Processing/Grinding	2	0.062 (1.1)	0.057-0.068
Board manufacturing	Fiber forming machine & furnace operation	1	0.005	-
	Packing	4	0.009 (1.1)	0.008-0.009
Muffler manufacturing	Molding	9	0.011 (2.2)	0.002-0.030
	Cutting	5	0.015 (2.4)	0.006-0.048

^AGeometric standard deviation

Table 24. Airborne Fiber Concentrations in Area Samples by Process in Manufacture of Glass Wool and Insulation

Product Line	Job	N	Fiber Conc., f/cc	
			GM	Range
Fiber/Wool manufacturing	Fiber forming		0.008 (6.96) ^A	0.002-0.161
	Wool packaging		0.005 (1.61)	0.003-0.007
Pipe cover manufacturing	Paper coating machine	9	0.025 (8.97)	0.002-0.554
	Curing	1		0.126
	Cutting	9	0.065 (5.50)	0.005-0.813
	Grinding	2	0.003 (1.72)	0.002-0.005
	Molding	5	0.026 (1.78)	0.010-0.048
Board manufacturing	Cutting, Grinding	4	0.019 (2.36)	0.009-0.064
	Packing			0.155
Muffler manufacturing	Molding		0.009 (1.95)	0.004-0.016
	Cutting		0.008 (1.54)	0.006-0.013
	Packing			0.007

^AGeometric standard deviation

2) 암면 및 암면 제품 제조업

가. 사업장 및 제품별 농도

표 25는 두 개 암면섬유 및 제품 제조사업장의 근로자 호흡위치에서 측정된 호흡성 섬유농도이다. 전체 시료의 섬유농도는 0.032 f/cc이었고 충분진 농도는 0.87 mg/m³이었다. 전체 시료중 섬유농도가 ACGIH의 TLV를 초과하거나 충분진 농도가 노동부 노출기준을 초과하는 시료는 한 건도 없어 이 사업장의 섬유 및 충분진 농도는 전반적으로 낮은 수준으로 나타났다.

두 사업장(BSNB 및 KKEY)의 근로자 섬유 노출농도는 0.054 f/cc 및 0.099 f/cc로 두 업체의 섬유농도간에는 차이가 있었다($p < 0.05$). 섬유농도는 BSNB 사업장이 KKEY 사업장 보다 높았으나 충분진 농도는 각각 0.59 mg/m³ 및 0.99 mg/m³로 나타나 섬유농도와는 반대로 KKEY 사업장이 더 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 섬유크기의 특성과 충분진중 비섬유상 분진이 차지하는 비율이 다르기 때문인 것으로 추정된다. 한편, 동일 사업장내 생산되는 제품에 따라 섬유 농도와 충분진 농도는 차이가 있는 것으로 나타났다.

표 26은 두 업체에서 측정한 공기중 섬유 및 충분진 농도를 생산되는 제품에 따라 정리한 자료이다. 루스울(loose wool) 생산라인에서 개인시료 및 장소시료의 섬유 농도는 각각 0.048 f/cc 및 0.143 f/cc로 가장 높게 나타났다.

Table 25. Comparison of Respirable Rock Wool Fiber and Total Dust Concentrations at Workers Breathing Zones among Factories in the Manufacture of Rock Wool and Insulation

Factory	Product	Fiber Conc.		Total Dust,	
		N	GM, f/cc	N	GM, mg/m ³
BSNB	Board	8	0.031 (2.32) ^A	-	-
	Fiber/Wool	12	0.076 (3.59)	8	0.59 (2.19)
	Subtotal	20	0.054 (3.30)	8	0.59 (2.19)
KKEY	Board	8	0.014 (3.33)	6	0.64 (1.93)
	Fiber/Wool	3	0.011 (1.35)	2	1.02 (1.05)
	Miton	15	0.035 (2.04)	15	1.17 (1.60)
	Subtotal	26	0.023 (2.66)	23	0.99 (1.75)
Total		46	0.032 (3.11)	31	0.87 (1.92)

^AGeometric standard deviation

Table 26. Comparison of Respirable Rock Wool Fiber and Total Dust Concentrations among Products in the Manufacture of Rock Wool and Insulation

Product	Facilty	No. of Factories	Personal Sample		Area Sample	
			Fiber Conc., f/cc	Total Dust, mg/m ³	Fiber Conc., f/cc	Total Dust, mg/m ³
Loose wool		2	0.048 (4.1) ^A (n=13)	0.66 (2.1) (n=12)	0.143 (5.4) (n=8)	0.64 (5.2) (n=8)
Board		2	0.019 (3.0) (n=16)	0.64 (1.9) (n=6)	0.041 (2.7) (n=9)	0.74 (n=1)
Miton		1	0.035 (2.0) (n=15)	1.17 (1.3) (n=15)	0.027 (2.0) (n=2)	1.13 (2.6) (n=3)

^AGeometric standard deviation

나. 공정 또는 직무별 농도

표 27은 암면 및 제품 제조사업장의 공정 또는 직무별로 본 공기중 호흡성 섬유 농도를 나타낸 것이다. 암면 제조라인에서는 생산된 암면을 포장하는 공

정 (wool packaging & sweeping)의 경우 섬유농도는 0.46 f/cc로 다른 공정보다 높았다. 마이톤(Miton) 제조라인에서는 건조공정(drying) (0.11 f/cc), 보드 제조라인에서는 생산된 제품을 검사(inspection)하는 작업자의 노출농도(0.036 f/cc)로 가장 높았다. 보드 제조라인에서는 포장공정으로 이동하는 컨베이어 근처에 위치하고 있었는데, 제품이 자동으로 컨베이어 옮기는 과정에서 발생하는 분진에 근로자가 노출되고 있었다.

표 28은 암면 및 암면 제품 제조사업장에서 측정한 장소시료의 섬유농도이다. 섬유 제조설비로부터 생성된 섬유가 방출되는 출구쪽에서 측정한 섬유농도가 약 0.1 f/cc이었고 보드 제조설비의 경우 제품을 포장하는 설비에서 측정한 농도는 비교적 높았다.

Table 27. Workers' Exposure Levels to Respirable Fibers by Job in the Manufacture of Rock Wool and Insulations

Product Facility	Job	N	Fiber Conc., f/cc	
			GM	Range
Fiber/Wool manufacturing	Fiber forming machine & Furnace operation	5	0.025 (4.30) ^A	0.008-0.297
	Machine maintenance	2	0.021 (2.82)	0.010-0.045
	Wool packaging	2	0.055 (1.45)	0.042-0.071
	Packaging & Sweeping	2	0.460 (1.86)	0.295-0.709
	Piling	2	0.054 (1.33)	0.044-0.066
	Wool loader(handling)			
Miton	Wool loading	2	0.059 (1.51)	0.044-0.079
	Mixing	3	0.031 (1.36)	0.025-0.044
	Molding	1		0.016
	Drying	2	0.110 (1.12)	0.101-0.119
	Cutting	2	0.021 (1.86)	0.032-0.013
	Inspection	2	0.036 (2.20)	0.020-0.062
	Packaging	2	0.017 (1.62)	0.012-0.023
	Forklift driver			0.016
Board manufacturing	Fiber forming machine & furnace operation	2	0.026 (2.31)	0.015-0.029
	Machine maintenance	6	0.023 (3.51)	0.005-0.082
	Inspection	2	0.036 (1.98)	0.029-0.040
	Packaging, piling	3	0.012 (5.39)	0.002-0.043
	Forklift driver	1		0.009

^AGeometric standard deviation

Table 28. Airborne Respirable Fiber Concentrations of Area Samples in the Manufacture of Rock Wool and Insulation

Product Facility	Job	N	Fiber Conc., f/cc	
			GM	Range
Fiber/Wool manufacturing	Fiber forming machine	3	0.098 (1.60) ^A	0.066-0.165
	Conveyor	2	0.211 (2.51)	0.110-0.404
	Scratching(hompagi)	1		0.045
	Packing machine	1		0.023
	Forklift	1		0.016
	Restroom	1		0.035
Board manufacturing	Fiber forming			0.063
	Cutting	5	0.032 (3.22)	0.004-0.063
	Packaging, piling	1		0.132
	Transportation/automatic piling	1		0.058
	Restroom	1		0.020

^AGeometric standard deviation

3) 세라믹 제조 및 단열재 제조업

가. 사업장 및 제품별 섬유 농도

표 29에는 사업장별 근로자의 세라믹섬유 노출농도를 보여주고 있다. 두 사업장 전체 근로자의 평균 섬유농도는 0.26 f/cc로 80%의 시료가 ACGIH TLV를 초과하였고 두 사업장의 섬유농도는 유의한 차이는 없었다($p>0.05$). 세라믹 섬유 사업장의 섬유농도는 유리면, 암면, 장유리섬유 제품 제조사업장에 비해 농도가 유의하게 높았다. 세라믹섬유의 다른 인조광물섬유에는 결합제를 첨가하기 때문에 섬유분진이 발생이 억제되나, 세라믹섬유의 경우 섬유간의 결합력을 부여하기 위해 결합제를 첨가하는 대신 니들링(needling) 작업을 하기 때문에 공기중에 섬유가 발생이 훨씬 용이하다.

KR 사업장의 섬유 및 블랭킷 제조라인의 섬유농도는 각각 0.29 및 0.34 f/cc이었고 두 라인의 평균 농도는 0.32 f/cc이었다. 이 사업장 대상 근로자의

약 90%가 개정 고시된 ACGIH TLV인 0.1 f/cc를 초과하는 것으로 나타났다. SW 사업장의 섬유 및 보드 제조라인의 섬유농도는 각각 0.21 및 0.16 f/cc이었고 두 라인의 평균 농도는 0.20 f/cc이었다. 이 사업장 대상 근로자의 약 70%가 개정 고시된 ACGIH TLV인 0.1 f/cc를 초과하는 것으로 나타났다. KKSU 업체의 보드 제조과정에서는 건조된 보드를 다듬거나 일정한 크기로 자르는 공정이 있으나 이들 공정에서 작업이 없어 측정에 포함되지 않았다. 다른 인조광물섬유 제조 사업장의 경우 이러한 연마 및 절단 공정에서는 다른 공정에 비해 비교적 높은 섬유분진이 발생하는 것으로 나타났기 때문에 이들 공정에서의 섬유농도는 보고된 값보다 더 높으리라 추정된다.

Table 29. Airborne Fiber and Total Dust Concentrations by Factory in the Manufacture of Ceramic Fiber and Insulations

Factory	Product Facility	N	Fiber Conc., f/cc	N	Total Dust, mg/m ³	Violation ^A
KR	Fiber/Wool/Blanket	7	0.29 ^B (2.07) ^C	8	3.37 (1.53)	6 (85.7%)
	Pyrolog	12	0.34 (2.23)	12	5.49 (1.43)	11 (91.7%)
	Subtotal	19	0.32 (2.14)	20	4.51 (1.56)	17 (89.5%)
KKSU	Fiber/Wool/Blanket	12	0.21 (3.12)	12	0.54 (2.34)	9 (75.0%)
	Board	4	0.16 (2.44)		-	2 (50%)
	Subtotal	16	0.20 (2.88)	12	0.54 (2.64)	11 (68.8%)
Total		35	0.26 (2.54)	32	2.12 (3.32)	28 (80%)

^ANumber of samples exceeding the ACGIH TLV. The values in parenthesis are percent.

^BGeometric mean; ^CGeometric standard deviation

나. 공정 또는 직무별 섬유 농도

표 30 및 그림 28은 공정 또는 직무별로 본 근로자의 섬유 노출농도이다. 세라믹섬유 및 블랭킷 제조 공정의 경우 포장 작업의 농도는 0.61 f/cc로 가장 높았으며 포장/설비관리 작업은 0.34 f/cc로 다음으로 높은 직무였다. 모듈

제조과정에서는 제품을 절단하는 직무에서 0.61 f/cc로 가장 높았으며, 다음으로 포장공정이 0.43 f/cc로 높았다. 세라믹 보드 제조과정에서는 원면을 배합하는 근로자의 농도가 0.31 f/cc로 비교적 높게 나타났다.

Table 30. Personal Exposure Levels to Ceramic Fibers by job in Ceramic Fiber Industries

Product Facility	Operation	N	Fiber Conc.	
			GM, f/cc	Range, f/cc
Ceramic Fiber/ Blanket manufacturing	Fiber forming, furnace operation	5	0.10 (1.7) ^A	0.059-0.233
	Machine maintenance	6	0.14 (1.2)	0.061-0.256
	Packaging	5	0.61 (4.4)	0.304-1.394
	Packging, machine maintenance	3	0.34 (1.9)	0.181-0.624
Module(Pyrolog)	Cutting	3	0.61 (1.2)	0.517-0.698
	Assembling	5	0.32 (1.7)	0.170-0.694
	Packaging	3	0.43 (1.6)	0.279-0.689
	Repair man	1	0.044	
Ceramic board	Packaging	2	0.08 (1.16)	0.073-0.090
	Mixing	2	0.31 (2.13)	0.182-0.529

Note: GM=geometric mean

^AGeometric standard deviation

표 31은 장소시료에서 채취한 시료의 섬유 농도이다. 세라믹섬유 및 블랭킷 제조과정에서는 니들링 설비와 포장공정 위치에서 섬유농도가 다른 공정에 비해 높았다. 니들링 공정은 국소배기 장치가 설치되어 있었으나 발생하는 섬유 분진을 충분히 제거하지 못하는 것으로 나타났다. 모듈 제조과정에서는 섬유 분진이 발생하는 발생원에 국소배기 장치가 설치되어 있지 않거나 일부 설치된 국소배기 장치도 성능이 매우 불량하였다. 모듈 조립 및 절단 공정에서 채취한 시료의 섬유 농도는 각각 0.22 f/cc 및 0.043 f/cc로 나타났다. 절단 공정의 섬유농도는 조립공정보다 낮으나 가장 낮은 농도를 보인 시료는 작업이 이루어지지 않은 시간도 포함되어 있어 이를 제외한 나머지 시료의 평균농도는 조립공정과 유사하였다. 세라믹 보드 생산과정에서는 배합공정에서 채취한 장

소시료의 농도가 가장 높았으며 성형공정의 경우 성형설비에서 떨어진 거리에 따라 0.017 - 0.055 f/cc의 농도 분포를 보였다. 성형공정에서 가장 낮은 농도를 보인 시료는 계기판을 조작하는 근로자 옆에서 채취한 시료이다.

Table 31. Airborne Fiber Concentration in Area Samples in Ceramic Fiber Industry

Product Facility	Operation	N	Fiber Conc., f/cc	
			GM	Range
Ceramic Fiber/ Blanket Manufacturing	Fiber forming	19	0.12 (3.38) ^A	0.002-0.98
	Niddling	7	0.48 (2.76)	0.072-1.56
	Compress	3	0.15 (1.18)	0.126-0.17
	Cutting	13	0.14 (2.12)	0.062-0.55
	Packing	9	0.23 (1.42)	0.154-0.41
	Grinding/recovery	5	0.20 (3.22)	0.041-1.09
	Ribbon-Mixer	1		0.130
	Background	5	0.16 (3.16)	0.053-0.71
Pyrolog	Cutting	3	0.043 (7.63)	0.006-0.29
	Assembling	2	0.22 (1.11)	0.208-0.24
Ceramic Board	Mixing	1		0.560
	Molding	4	0.038 (1.74)	0.017-0.055
	Pressing/Conveyor	1		0.035
	Curing	1		0.048
	Packing	1		0.021

Note: GM = geometric mean; ^AGeometric standard deviation

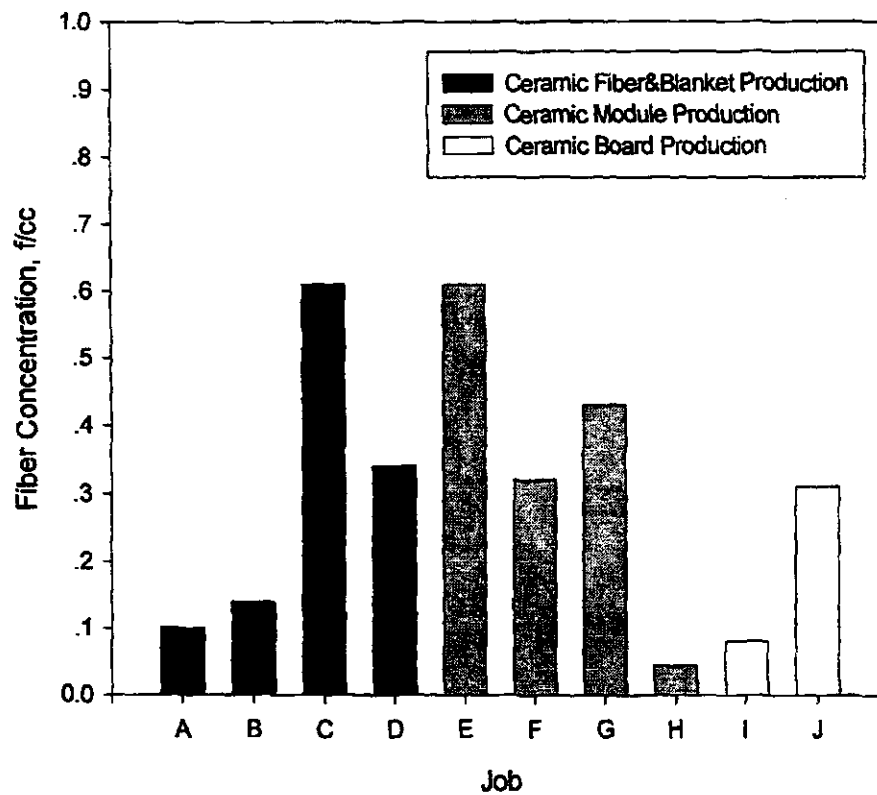


Fig. 28. Comparison of fiber concentrations among jobs in ceramic fiber industries.

A: Fiber forming&furnace operation; B: Facility maintenance; C: Packing; D: Packaging& Facility maintenance; E: Cutting; F: Assembling of module; G: Packaging; H: Repair; I: Packaging; J: Mixing

4) 장유리섬유 제조 및 관련제품 제조업

가. 사업장 및 제품별 섬유 농도

장유리섬유 제조 사업장별 근로자의 섬유 및 총분진 노출농도는 표 32와 같다. 각 사업장의 평균 섬유농도는 0.008 ~ 0.025 f/cc이었고 전체 사업장의 평균 농도는 0.010 f/cc로 나타났다. 전체 시료중 ACGIH TLV인 1 f/cc를 초과하는 시료는 하나도 없었다. 각 사업장의 평균 총분진 농도는 0.008 ~ 1.12 mg/m³로 나타났으며 우리 나라 노출기준(10 mg/m³)과 ACGIH TLV(5 mg/m³)를 초과하는 시료는 없었다.

4개 사업장의 섬유농도는 분산분석 결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.01). 다중회기분석 결과, WOOS 사업장의 섬유농도는 0.025 f/cc로 낮은 농도의 두 사업장(0.006 ~ 0.008 f/cc)과는 유의한 차이가 있었으나(p<0.001), 두 번째로 높은 농도를 보인 사업장과는 유의하게 높지 않았다(p>0.05). 4개 사업장의 섬유농도와 총분진 농도를 비교해 보면 두 물질의 값이 서로 다른 경향을 보이고 있었는데 이것은 섬유 분진의 크기 특성에 따른 차이라고 판단된다.

Table 32. Workers' Exposure to Airborne Total Dust and Fiber by Factory in Continuous Filament and Products Manufacturing Industries

Factory	Product	Fiber Conc.		Total Dust Conc.	
		N	GM, f/cc	N	GM, mg/m ³
HKCB	Electronic base	15	0.008 (2.35) ^A	15	0.36 (5.62)
HKFB	Filaments	17	0.006 (3.63)	12	0.08 (6.76)
OCHN	CHop/Mat	12	0.011 (3.17)	13	0.13 (4.87)
WOOS	Brake lining enforcer	12	0.025 (2.42)	13	1.12 (6.22)
Total		56	0.010 (3.26)	53	0.26 (7.31)

Note: GM = geometric mean

^AGeometric standard deviation

나. 공정 또는 직무별 섬유 농도

표 33에는 공정별 섬유 농도를 보여주고 있다. 울 또는 블랭킷의 경우 로빙 포장, 직포(weaving), 조방(drawing/roving), 파쇄 공정에서 섬유 농도가 비교적 높았다. 자동차 브레이크 라이닝 강화섬유의 경우 연사(twisting), 소면(carding), 정방(spinning), 배합 순으로 농도가 높은 경향을 보이고 있었다.

Table 33. Fiber Concentrations by Process in Continuous Glass Filament Industries

Product Facility	Job	N	Fiber Conc. f/cc	
			GM	Range
Wool/Banket	Fiberizing	3	0.001 (1.11) ^A	0.001-0.002
	Sizing	4	0.004 (1.93)	0.002-0.010
	Drawing; Roving	3	0.014 (2.63)	0.005-0.030
	Production			
	Packaging of	3	0.035 (1.10)	0.032-0.039
	Roving			
	Twisting	4	0.003 (2.59)	0.001-0.007
	Braiding	4	0.005 (1.88)	0.002-0.009
	Weaving	5	0.029 (2.05)	0.013-0.075
	Grinding/Recovey	1		0.032
	Chopping	2	0.004 (1.46)	0.003-0.006
Enforcing fiber for brake lining	Mixing	4	0.049 (1.27)	0.040-0.069
	Carding	2	0.023 (1.17)	0.021-0.026
	Spinning	3	0.027 (1.93)	0.013-0.045
	Twisting	3	0.010 (3.60)	0.003-0.033
Processing of epoxy resin	Cutting, Grinding	6	0.012 (2.05)	0.005-0.024
Processing of laminate	Laminate	5	0.004 (2.08)	0.002-0.013
	coating&inspection			

Note: GM = geometric mean

^AGeometric standard deviation

5) 단열재 시공 및 사상 작업

표 34는 조선업체에서 선실벽에 단열재인 암면 및 유리면 보드를 시공하는 작업과 동종 업체에서 사상작업에서 측정한 공기중 섬유 및 총분진 농도를 요약한 것이다. 동일한 작업공간에서 유리면을 시공하는 경우 개인시료 및 지역시료의 평균 섬유농도는 각각 0.23 f/cc 및 0.19 f/cc이었고, 암면을 시공하는 경우 각각 1.38 f/cc 및 0.56 f/cc로 단열재 종류에 따라 공기중 섬유농도는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 근로자의 총분진 노출농도는 유리면의 경우 1.93 mg/m³, 암면의 경우 4.16 mg/m³으로 유의한 차이가 있었다. 유리섬유 및 암면에 대한 ACGIH TLV를 초과하는 비율은 암면 단열재를 설치하는 근로자의 약 73%이었다. 유리섬유 단열재를 시공하는 작업에서는 TLV를 초과하는 시료는 없었다. 단열재 설치작업에서는 단열재를 칼을 사용해서 일정한 크기로 자를 때, 그리고 이것을 벽에 갖다 대어 고정시킬 때 특히 높은 수준의 섬유 분진에 노출되는 것으로 관찰되었다. 또한 선실은 일부만을 제외하고는 전체적으로 밀폐된 공간이기 때문에 공기중에 발생된 섬유가 축적될 수 있었다.

단열재 종류에 따라 작업 양상은 유사하였으나 농도가 다른 이유는 시공 위치의 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 유리섬유 단열재는 출입구 부근에 시공되고 있었고 암면은 안쪽에서 시공되고 있어 발생된 외부로부터 유입되는 공기의 영향과 공기중 축적량에 있어 차이가 있는 것으로 여겨진다. 또한 두 제품이 본래 지닌 섬유의 크기 특성이 다를 경우 호흡성 섬유의 분포비율이 달라지므로 이에 의한 영향도 배제할 수 없다.

선박에 사용되는 철판을 연마하는 연마기(grinder)에는 장유리섬유가 강화제로 포함되고 있어 사상 작업시 근로자는 탈착되는 섬유에 노출될 수 있을 것이다. 이 작업에서의 근로자 호흡위치(두건 안쪽)에서 측정한 섬유 및 총분진 농도는 각각 0.020 f/cc 및 0.41 mg/m³이었다.

Table 34. Airborne Fiber(Glass Fiber, Rock Wool Fibers, Continuous Glass Filament) and Dust Concentrations during Insulation Installation and Sand Blasting at Shipyard

Operation	Personal Sample			Area Sample	
	Fiber	Total Dust	No. of Violation ^A	Fiber	Total Dust
Insulation on cabin with glass wool	0.229 ^B (1.9) ^C 0.071-0.44 ^E (n=6)	1.93 ^D (1.9) 0.68-3.27 (n=5)	0	0.19 (1.4) (n=3)	0.38 (2.1) (n=3)
Insulation on cabin with rock wool ^F	1.38 (1.58) 0.696-2.87 (n=11)	4.16 (1.98) 0.900-9.95 (n=10)	8 (72.7%)	0.56 (1.5) (n=7)	0.46 (4.2) (n=6)
Sand blasting	0.020 (2.8) 0.004-0.055 (n=5)	0.41 (2.8) 0.25-1.41 (n=4)	0	-	-

^ANumber of samples exceeding the ACGIH TLV (adopted or noticed of intended change)

^BGeometric mean, f/cc; ^CGeometric standard deviation; ^DGeometric mean, mg/m³;

^ERange(minimum-maximum); ^FOne extreme value was removed.

6) 업종간 섬유 농도 비교

표 35 및 그림 29는 업종(인조광물섬유 및 제품 종류, 제조 및 취급)별 공기중 섬유 및 총분진 농도를 비교한 것으로 업종에 따라 섬유 농도는 차이가 있었다($p < 0.001$). 조선업체에서 선실내벽에 단열재를 부착하는 근로자의 섬유 및 총분진 노출농도는 각각 0.57 f/cc 및 2.63 mg/m³으로 유리면 섬유 제품, 압면섬유 제품 및 세라믹섬유 제품제조업보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 특히 선실 안쪽에서 압면 단열재를 설치할 때 약 73%의 시료가 TLV를 초과하였다.

세라믹섬유 제품제조업의 공기중 섬유 농도는 평균 0.26 f/cc로 유리면(평균 0.012 f/cc), 압면 (평균 0.032 f/cc) 및 장유리섬유 제품제조업(평균 0.010 f/cc)에 비해 높았다($p < 0.001$). 세라믹섬유 제품제조업에서 종사하는 근로자를 대상

으로 측정된 개인 시료중 80%가 개정 고시된 ACGIH TLV(0.1 f/cc)를 초과하는 것으로 나타났다. 세라믹섬유는 동물 발암물질이며 ACGIH에서는 인체발암 의심물질(A2)로 규정하고 있는 물질로 허용농도를 석면과 동일하게 제정하고자 추진중에 있다. 그러나 우리 나라에서는 아직까지 일반 분진과 동일하게 취급하고 있으며 이 물질에 대한 허용기준도 없을 뿐만 아니라 유리섬유와 동일한 물질로 간주하고 있는 실정이다.

Table 35. Summary of Airborne Fiber and Dust Concentrations by Industrial Types of Man-Made Mineral Fibers

Type of Industries ^A	Personal Sample		Area Sample	
	Fiber Conc., f/cc	Total Dust, Conc., mg/m ³	Fiber Conc., f/cc	Total Dust, Conc., mg/m ³
Production of glass wool and insulation	0.012 ^B (2.4) ^C 0.008-0.037 ^D	0.40 (2.2) 0.18-0.58	- 0.007-0.038	- 0.18-1.13
Production of rock wool and insulation	0.032 (3.1) 0.014-0.048	0.87 (1.9) 0.64-1.17	- 0.004-0.143	- 0.64-1.13
Production of ceramic fiber, balnket, board and module	0.260 (2.5) 0.16-0.41	2.12 (3.3) 0.54-5.49	- 0.050-0.190	- 0.12-4.87
Production of continuous glass filament and the related products, etc.	0.010 (3.3) 0.004-0.025	0.26 (7.3) 0.08-1.12	- 0.002-0.009	- 0.34-0.48
Installation of insulations at a shipyard	0.570 (4.4)	2.63 (2.95)	0.560	0.46
Sand blasting at a shipyard	0.020 (2.8)	0.41 (2.8)	-	-

^ANumber of manufacturers is four, two, two, one, one, and one, in row orders.;

^BGeometric mean of all data; ^CGeometric standard deviation of all data; ^DRange of geometric mean concentration for each factory

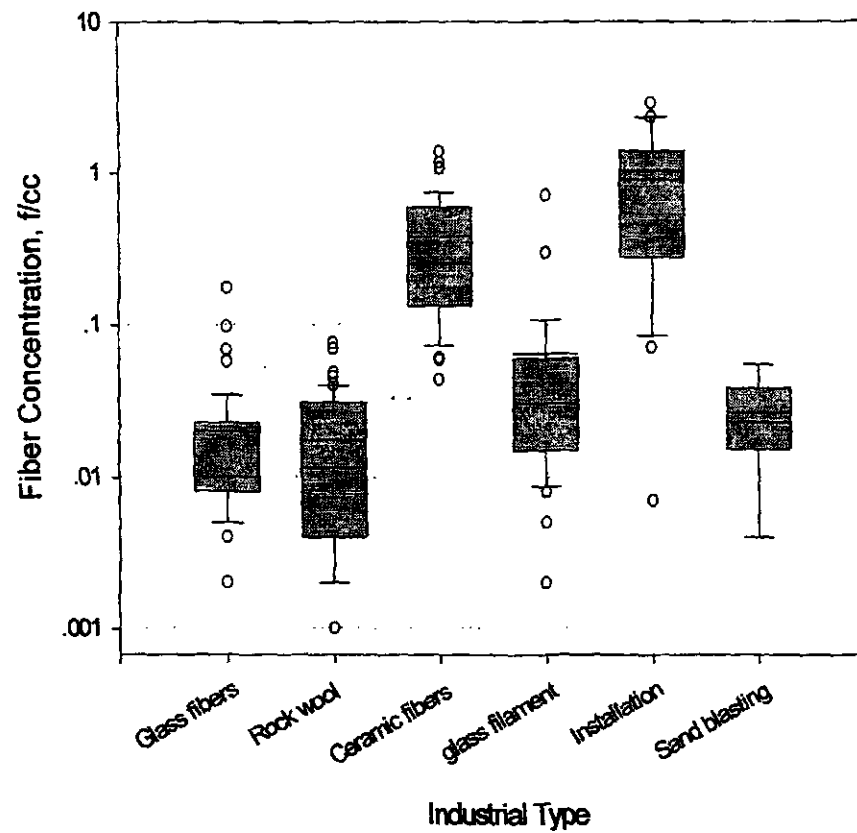


Fig. 29. Comparison of fiber concentrations among industrial types.

암면, 유리면 및 장유리섬유 제품 제조업종 암면 제품 제조업은 다른 두 제조업보다 섬유농도가 유의하게 높았고($p < 0.001$), 유리면 및 장유리섬유 제품 제조업의 섬유농도는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 조선업체의 사상작업 근로자의 두건 안쪽 호흡위치에서 채취한 공기 시료의 섬유농도는 0.020 f/cc로 암면 제품 제조업보다 약간 낮은 수준으로 나타났으며 동시에 측정된 총분진의 농도는 0.41 mg/m³으로 비교적 낮았다. 그러나 사상작업에서는 일반적으로 분진이 많이 발생하며 비산되는 분진으로부터 보호하기 위해 근로자는 두건형태의 송풍식 호흡보호구를 착용하나 두건 안에서 측정한 시료에서 분진 및 섬유가 검출되는 것으로 보아 이 경우에도 저농도의 분진과 섬유에 노출됨을 알 수 있었다. 두건 안은 양압 상태이기 때문에 공기중에 채류되어 있는 분진이 유입되기는 어려우나 사상작업 중 빠른 속도로 비산되는 분진이 유입되거나 또는 두건을 쓰고 있지 않은 상태에서 인근 사상작업으로부터 발생된 분진이나 섬유에 노출되었을 가능성이 있다.

동종의 인조광물섬유 또는 제품을 생산하는 업체들 중에서도 근로자의 섬유 노출농도는 차이가 있는 경우가 있었다. 세라믹섬유 제품 제조업종에서는 업체간 농도차이는 없었으나, 유리섬유, 암면 및 장유리섬유 제품 제조업에서는 업체간의 근로자 노출농도는 차이가 있었다. 또한 이들 업체에서 근로자가 담당하는 직무에 따라 노출되는 섬유 및 분진 농도는 차이가 있는 것으로 나타났다. 동일한 인조광물섬유라 하더라도 사업장간에 농도분포 차이가 나는 이유는 작업환경 관리상태, 공정의 특성 그리고 섬유의 크기 특성 등의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 특히 암면과 유리면 단열재를 시공하는 업체의 근로자는 이들 섬유 제품을 제조하는 업체보다 훨씬 높은 섬유 노출수준을 나타냈다.

본 연구결과 유리섬유, 암면, 장유리섬유 제품 제조업에 종사하는 근로자의 평균 섬유 노출농도는 0.1 f/cc 이하였고 노출기준을 초과하는 시료는 없어 이들 업종에서의 섬유에 의한 건강 위험은 낮은 수준으로 나타났다. 그러나 세라믹섬유 제품 제조업과 선박의 선실에 단열재를 시공하는 작업에 종사하는 근로자는 ACGIH TLV를 초과할 수 있으므로 이들 업종에 종사하는 근로자의

섬유에 의한 건강 위험은 높아 이들 업종 또는 작업에 대한 개선 대책이 필요한 것으로 나타났다.

7) 고찰

Jacob 등⁽³⁸⁾은 유리섬유 제조공장의 공기중 평균 총 유리섬유(total fiber) 농도는 0.002 ~ 0.14 f/cc이고 이 중 호흡성 유리섬유 농도는 0.001 ~ 0.07 f/cc로 보고하였는데 본 연구 결과와 유사하였다. Corn 등⁽²⁸⁾은 대상 사업장 3개소 중 2개 공장의 평균 호흡성 섬유농도는 0.006 ~ 0.07 f/cc이고 다른 한 공장은 0.21 ~ 1.41 f/cc라고 보고하였다. Ottery 등⁽²⁹⁾이 유리면 및 단열재를 생산하는 4개 사업장의 공정별 평균 호흡성 섬유농도는 0.003 ~ 0.03 f/cc로 보고하였다. Cherri 등⁽⁴²⁾은 4개 사업장의 공정별 호흡성 섬유농도는 1개 사업장의 1개 공정(2차 생산)에서 가장 높은 0.16 f/cc이고 다른 공정과 다른 사업장의 모든 공정의 호흡성 섬유농도는 0.01 ~ 0.07 f/cc로 보고하였으며, Esmen 등⁽³⁹⁾은 4개 사업장의 평균 호흡성 섬유농도는 0.0017 ~ 0.04 f/cc라고 보고하였다.

TIMA⁽⁴⁴⁾ 및 Head 등⁽¹⁹⁾은 유리섬유 제조업체의 평균 농도가 각각 0.11 f/cc 및 0.11 f/cc로 보고하였는데 본 연구 결과보다는 섬유농도가 비교적 높았다. 또한 TIMA⁽⁴⁴⁾에서는 광물 섬유를 제조 및 단열재 설치하는 업종에서의 사업장의 평균 농도는 각각 0.001 ~ 1.59 f/cc 및 1.0 f/cc이었고 세라믹섬유 제조업 및 취급업의 평균 농도는 각각 0.65 f/cc 및 1.17 f/cc이라고 발표하였다. Bender 등⁽³⁾은 미세 섬유를 제조하거나 가공하는 공정의 호흡성 섬유의 평균 농도 각각 1 ~ 2 f/cc 및 0.42 f/cc로 보고하였다.

유리면 또는 암면 단열재를 설치하거나 살포하는 작업자의 경우 비교적 높은 섬유농도에 폭로되는 것으로 보고되고 있다. Head 등⁽¹⁹⁾은 유리섬유 단열재를 설치하는 작업에서의 공기중 노출농도는 평균 0.38 - 1.02 f/cc이라고 보고하였다. Lees 등⁽³²⁾은 주택 단열재인 유리면(Fiber glass batt), 결합제 없는 유

리섬유 단열제품, 살포용 암면(loose blowing rock wool)을 시공할 때 공기중의 섬유농도는 각각 평균 $<1.08 \text{ f/cc}$ ($8\text{hr-TWA} = 0.3 \text{ f/cc}$), 7.67 f/cc ($8\text{hr-TWA} = 1.96 \text{ f/cc}$), 1.94 f/cc ($8\text{hr-TWA} = 0.97 \text{ f/cc}$)라고 발표하였다. Bender 등⁽³⁾ 여러 연구자들이 발표한 유리섬유에 관한 연구결과를 고찰한 결과, 유리섬유 단열재를 시공하는 작업에서의 섬유 노출농도는 대부분 0.1 f/cc 이하이지만 일부 연구자의 결과는 1 f/cc 에 근접하는 수준이라고 하였다. 특히 밀폐 공간에서 유리면을 살포하는 작업($1 \sim 18 \text{ f/cc}$)과 동력 절단기로 절단하는 작업($0.2 \sim 4 \text{ f/cc}$)에서는 고농도의 섬유에 폭로되는 것으로 보고하였다.

지금까지 발표된 자료를 종합하면 유리면 및 단열재 제조업의 호흡성 섬유의 평균 농도는 대부분의 경우 0.1 f/cc 이하로 이 업종에서의 근로자 노출농도는 외국의 허용기준 1 f/cc 보다 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 미세 유리섬유를 제조하는 업종에서는 공기중 섬유 농도가 높은 것으로 보고되고 있으며, 단열재를 시공하는 업종에서의 섬유 농도는 연구자에 따라 크게 다르며, 작업 상태, 작업조건 등에 따라 섬유 발생량은 크게 차이가 있는 것으로 보인다.

전반적으로 세라믹섬유 제조·취급, 미세 특수섬유 제조·취급, 및 단열재 시공 업종의 근로자는 유리섬유 제조업종의 근로자보다 높은 농도의 섬유에 노출되는 것으로 보고되었으며 이와 같은 사실은 본 연구 결과와 일치하였다.

유리섬유, 암면, 장유리섬유 제조업의 섬유 및 분진 농도는 세라믹섬유 제조업에 비해 낮은 것은 유리섬유, 암면, 장유리섬유의 경우 섬유의 결합력을 향상시키기 위해 결합제를 섬유 표면에 처리하나 세라믹섬유는 결합제로 처리하지 않는데 기인하는 것으로 판단된다. 결합제가 처리된 섬유는 공기중으로 섬유분진이 발생하는 것이 억제되기 때문이다.

4. 관리방안에 대한 제안

1) 공학적 관리

섬유 분진이 많이 발생하는 고정된 공정 또는 설비는 국소배기 설비를 설치하거나 격리 또는 밀폐함으로써 발생하는 분진섬유를 제거하는 것이 효과적이다. 국소배기 장치를 설치할 경우 충분한 효율을 달성할 수 있도록 설계하여야 할 것이다. 국소배기 장치를 설치한 후 이의 점검과 관리를 철저히 하는 것이 필요하다. 섬유가 다량 발생하는 공정에서는 후드와 덕트에 섬유분진이 다량 퇴적되어 국소배기 장치의 효과가 크게 저하되므로 수시로 국소배기 장치의 상태를 점검하고 퇴적된 분진을 청소해주어야 한다. 일부 조사대상 사업장은 국소배기 장치를 형식적으로 설치되어 있어 분진제거 효과가 없는 것으로 관찰되었다. 또한 후드 입구와 덕트에는 섬유분진이 다량 퇴적되어 있어 국소배기 효율을 크게 저하된 상태였으나 그대로 방치하고 있었다.

단열재 설치 및 기계가공작업 등과 같은 2차 가공 작업에서는 발생원에서 방출되는 입자를 제거함으로써 전체 작업환경으로 분진이 분산되는 것을 방지한다. 고속, 작은 부피의 부품이 부착된 공구를 사용하는 것이 섬유상 유리섬유를 제어하는데 효과적인 것으로 알려져 있다.

또한 제품을 절단하거나 마무리하는 설비에서 발생하는 폐기물을 회수함으로써 분진의 발생을 감소시키는 것은 물론, 폐기물 감소, 원료의 재활용에 따른 비용절감 등의 효과를 얻을 수 있을 것이다. 모 사업장에서는 발생하는 제품 부산물을 자동 회수장치에 의해 회수하고 있었다. 이러한 회수 장치는 사업장에 따라 충분히 밀폐시켜 외부로 분진이 발생되지 않은 경우가 있었으나 일부 사업장에서는 회수설비가 거의 대부분 개방되어 있어 분진이 공기중에 방출되고 있었다. 이러한 회수설비는 가능한 한 밀폐하는 것이 바람직하다.

특히 회수설비로부터 바닥에 떨어진 폐기물을 빗자루로 쓸거나 공기 압축기로 청소하고 있는 사업장이 있었다. 이러한 경우 비산되는 분진에 작업자뿐 만 아니라 인근 근로자까지도 고농도로 노출될 수 있다. 이 사업장은 암면을 제조하는 사업장

으로 이 근로자의 경우 단열재 제품 제조업에서 가장 높은 노출수준을 보이는 것으로 나타났다. 바닥 등 작업장 표면에 오염된 섬유분진을 청소할 때는 진공 제진 장비를 사용하여야 한다.

2) 공정변경

가능하면 분진이 발생되지 않거나 발생이 적은 공정으로 변경하는 방안을 강구하는 것이 필요하다. 예를 들어 파이프 커버 제조시 가장 자리를 절단할 필요가 없는 연속성형공법(CMP)을 도입하는 것은 좋은 예다.

3) 호흡보호구 착용

근로자의 노출을 제한하기 위해 공학적 관리 및 작업관리 방법을 이용하여야 하며, 이와 같은 방법이 실행 불가능하거나 부적절할 때 호흡보호구를 노출 근로자에게 지급하여야 한다.

호흡보호구의 사용은 다음과 같은 매우 얇은 직경의 섬유나 고농도의 섬유 분진이 노출될 수 있는 작업조건하에서 적합하다.

- (1) 매우 얇은 섬유(특수목적 섬유, 직경 : $1 < \mu\text{m}$)를 생산하거나 가공하는 작업
- (2) 뿔칠용 단열재를 시공하는 작업
- (3) 밀폐된 공간이나 환기가 미흡한 공간에서의 작업
- (4) 동력공구를 사용하는 구조물 조립(fabrication) 작업

보호구는 적절한 규격의 것을 사용하도록 하고 근로자에게 올바른 착용방법을 교육시키고 밀착상태에 대해 점검하여야 한다.

4) 피부 접촉 방지

유리섬유 등 인조광물섬유는 피부를 자극할 수 있다. 장유리섬유 및 면섬유와 같은 직경이 큰 섬유는 작은 직경의 섬유보다 자극작용이나 가려움을 유발하기 쉽

다. 국소제진장치 등과 같은 적절한 산업위생관리를 통해 잠재적인 피부자극 작용을 감소시켜야 한다. 작업지역 근처에 폐기물처리설비를 두도록 하여 섬유 부스러기의 취급을 가능한 한한 최소로 유지하여야 한다.

인조광물섬유의 직접적인 피부 접촉을 방지하여야 한다. 목이나 손목을 덮을 수 있는 소매가 긴 작업복과 모자는 섬유로부터 근로자를 보호하고 피부접촉을 방지할 수 있을 것이다. 작업복에 오염된 섬유는 진공청소기를 사용하여 제거하여야 하며, 섬유로 오염된 작업복은 재사용하기 전에 다른 옷과 분리하여 세탁하여야 한다.

근로자에게 피부자극이 일어난 경우 긁거나 문지르지 말고, 연성비누를 사용하여 흐르는 온수로 씻어야 한다. 자극이 일어난 부위를 문지르는 경우, 섬유를 피부 안쪽으로 밀어 넣게 되어 자극이 더욱 커질 수 있다. 증상은 전형적으로 짧은 편이다.

5) 눈 접촉 방지

보안경, 보안. 고글형 보안경을 착용하거나 또는 이들을 동시에 착용함으로써 공기중에 비산된 섬유가 눈에 접촉되는 것을 방지한다. 안 보호구는 단열재를 절단하는 작업, 뿜칠 작업, 머리위로 시공하는 작업에서 권고된다. 섬유가 눈에 직접 접촉된 경우 15분 정도 흐르는 물로 씻어낸다. 눈을 씻어낸 후에도 자극이 계속되면 의료 진찰을 받도록 한다.

6) 누출 및 청소

고형의 유리 스크랩은 앞에서 언급한 보호구를 착용한 상태에서 취급할 수 있다. 섬유제품 파편을 제거하기 위해서는 건식 빗질보다는 진공청소기를 사용하는 것이 바람직하다. 빗질에 의한 청소가 필요하다면 물을 뿌려 습식 상태에서 실시하는 것이 바람직하다.

7) 작업환경측정 및 평가

정기적으로 작업환경측정을 실시하여 근로자의 노출상태와 국소배기 장치의 효율에 대해 평가하고 농도가 높은 경우 농도를 감소시키기 위한 조치를 취해야 한다.

8) 인조광물섬유에 대한 노출기준 개정

앞에서 언급한 바와 같이 우리 나라는 유리섬유에 대한 허용기준은 총분진으로 10 mg/m^3 으로 설정되어 있으며 섬유 농도로 규정된 허용기준은 설정되어 있지 않다.⁽²²⁾ 유리섬유 외에 다른 인조광물 섬유에 대한 노출기준은 없으며 이들 섬유도 유리섬유와 동일하게 간주하고 있는 것으로 생각된다. 우리 나라를 비롯한 외국의 정부나 연구기관에서 규정하거나 권고하고 있는 인조광물섬유에 대한 허용기준은 표 36과 같다.

ACGIH에서는 1998년 이전에는 유리섬유에 대한 TLV를 총분진과 동일하게 설정하였으나 이후 섬유 농도로서 유리섬유의 TLV를 제정하는 한편, 다른 인조광물섬유에 대한 TLV로 함께 설정하였다. ACGIH TLV에는 "Synthetic Vitreous Fibers" 군에 유리섬유(glass wool fibers)외에 장유리섬유(continuous filament glass fibers), 암면섬유(rock wool fibers), 슬래그울 섬유(slag wool fibers) 및 특수목적 섬유(special purpose fibers)가 추가되었으며 이들에 대한 TLV는 자극작용에 근거하여 모두 1 f/cc 로 규정하였다. 단, 장유리섬유의 경우 섬유농도 외에 동시에 총분진 농도로서 5 mg/m^3 을 설정하고 있다. 또한 세라믹섬유는 A2 물질로 규정하고 발암성에 근거하여 석면과 동일한 기준인 0.1 f/cc 를 TLV로 제정하고자 고시하였다.⁽¹⁵⁾

미국 OSHA에서는 1992년에 건설업에서의 인조섬유에 대한 허용기준을 제안하였다.⁽⁴⁵⁾ 네덜란드의 경우 단열재 섬유(insulation fibers)와 슬래그울(slag wool)은 1 f/cc , 유리면과 암면은 5 f/cc 로 허용기준으로 설정하고 있으나, 다만 장유리섬유는 비활성 분진으로 간주하고 있다. 스웨덴은 인조광물섬유에 대

한 허용기준은 1 f/cc로 설정하고 있으며 미국 NIOSH에서는 3 f/cc를 권고하고 있다. 이들 기관에서 규정하고 있는 허용기준은 일반적으로 직경 3 μm 이하이고 길이 대 직경의 비가 3:1 이상인 호흡성 섬유에 적용되고 있다.⁽³⁾

Table 36. Occupational Exposure Limits for Various Man-Made Mineral Fibers

Agency/Organization	Fiber, f/cc	Dust, mg/m ³
Ministry of Labor		10 (Total)
OSHA		5 (Respirable),
General Industry		10 (Total)
Construction	1 (diameter < 3 μm , aspect ratio > 3)	15 (Total)
NIOSH		
Respirable fibrous glass dust	3 (diameter < 3.5 μm , length > 10 μm)	5 (Total)
ACGIH		
Continuous filaments		
Slag wool		
Glass and rock wool		
Special purpose fibers		
Refractory ceramic fibers		
Dutch		
Continuous filaments		Classify inert dust
Slag wool	1 (respirable*, 8-hr TWA)	
Glass and rock wool	5 (respirable, 8-hr TWA)	
Special purpose fibers (glass microfibers)	1 (respirable, 8-hr TWA)	
Refractory ceramic fibers	5 (respirable, 8-hr TWA)	
Sweden	1 (respirable, TWA)	
Denmark	2	5 (Total)
Newzeland		5 (Total)

*Respirable fibers: Fibers with length > 5 μm , diameter < 3 μm , and aspect ratio > 3:1

내화성의 세라믹섬유의 경우 역학 연구가 아직 충분히 확보되지 않아 인체에 대한 발암성 여부는 확정되지 않았으나, 동물 흡입 실험결과 발암성이 다른 섬유에 비해 더욱 강하다는 증거가 있으므로 이에 대해서는 특별한 주의와 관리가 요구된다. 미국의 경우에도 이 섬유에 대한 허용기준이 아직까지 확립되어 있지 않고 있으나 NIOSH에서는 미국 OSHA의 석면기준과 동일하게 관리를 하도록 주장한 바 있다.⁽⁴⁶⁾

인조광물섬유의 경우 그 종류가 매우 다양하고 세라믹섬유와 같은 섬유의 경우 일반분진과는 다른 독성을 가질 수 있다. 현재까지 보고된 자료에 따르면 유리섬유의 경우 인간에게 발암성이나 폐섬유화증과 같은 치명적인 질병을 일으킨다는 확증은 없으나 자극성이 매우 강하고 시야에 장애를 주는 등 다른 영향을 일으킬 수 있으므로 이러한 영향은 일반분진과는 차별성을 두어 관리해야 할 것이다. 또한 최근에 유리섬유 보온재 공장 주민의 집단적인 중앙 발생이 공장으로부터 누출된 유리섬유가 오염된 지하수와 관련이 있다는 주장이 있으므로 아직까지는 유리섬유의 안전성에 대해서 안심할 수는 없다.⁽²⁾ 인조광물 섬유의 경우 폐질환이나 발암작용을 배제한다 하더라도 피부자극 등과 같은 다른 유해작용을 하기 때문에 적어도 유리섬유에 대해서는 일반분진으로서의 허용농도인 10 mg/m³보다는 낮게 설정하여야 할 것이다. 일반적으로 중량농도로서 섬유분진의 허용기준은 5 mg/m³으로 설정하고 있다. 그러나 근로자의 섬유 폭로에 대한 정확한 평가는 섬유 농도로 이루어져야 하며 이에 대한 허용기준이 설정되어야 하는 것이 보다 타당하다. 우리 나라의 허용기준도 선진 외국에서 채택하고 있는 1 f/cc로 설정하는 것이 적합하다고 판단되며, 세라믹 섬유의 허용기준은 발암성을 고려하여야 할 것이다.

한편, 우리 나라의 석면에 대한 허용기준은 백석면(chrysotile)인 경우 2 f/cc로⁽¹⁵⁾ 다른 나라에서 제안하거나 설정한 인조광물섬유의 값인 1 f/cc보다 높다. 현재 우리 나라의 석면의 허용기준은 근로자의 건강을 보호하기에는 적절하지 않는 것으로 판단된다. 노동부에서 석면의 허용기준을 제정할 때 1989년에 발간된 ACGIH의 TLV를 채택하였다. 그러나 이후 ACGIH에서는 석면에

대한 TLV를 모든 종류의 석면에 대해 0.1 f/cc로 개정하였으며, OSHA의 석면에 대한 PEL도 ACGIH의 TLV와 동일하다. 따라서 우리 나라에서도 근로자의 건강을 보호하기 위한 석면에 대한 허용기준을 현재보다 낮게 개정하여야 한다고 판단된다. 현재의 석면과 유리섬유의 허용기준은 우리 나라 산업보건의 발전과 국제적인 추세에 비해 시대에 뒤떨어진 기준이라 볼 수 있다. 빠른 시일 내에 석면에 대한 허용기준 개정에 관한 논의와 이와 아울러 인조섬유의 허용기준에 대한 논의가 있어야 할 것이다.

10) 총분진에 의한 섬유노출 평가 및 관리

우리 나라 노동부는 현재 총분진 농도로 10 mg/m³을 유리섬유분진에 대한 노출기준으로 규정하고 있다. 따라서 인조광물 법에 근거한 작업환경측정은 총분진으로 실시하고 있는 실정이다. 또한 섬유농도로 평가하기 위해서는 위상차 현미경, 전자 현미경 등과 같은 장비가 필요하나 이러한 장비를 보유하고 있는 기관은 제한되어 있다. 이와 같은 실정에서 총분진 농도와 섬유 농도에 대한 평가결과를 서로 비교함으로써 두 방법의 평가결과가 일치하는 정도를 살펴보고, 또한 두 결과의 회귀식으로부터 섬유농도로서의 ACGIH TLV에 해당하는 총분진 농도를 추정하여 보았다.

유리면, 암면, 장유리섬유 제품을 생산하는 업체의 섬유농도는 매우 낮아 총분진(10 mg/m³) 및 섬유농도(1 f/c)에 대한 기준을 초과하는 시료는 한 건도 없었다. ACGIH의 장유리섬유의 TLV인 5 mg/m³을 적용했을 경우에도 이 기준을 초과하는 시료도 없었다.

조선업체에서 단열재를 시공하는 작업에서 채취한 16개의 시료중 우리 나라의 총분진 노출기준 10 mg/m³을 초과하는 시료는 없었으나 ACGIH, OSHA, NIOSH의 허용기준인 5 mg/m³을 초과하는 시료는 4 개로 전체 시료중 25%이었다. 한편, 섬유농도에 대한 허용기준을 1 f/cc를 적용했을 때 기준을 초과하

는 시료는 43.8%로 충분진에 의한 평가결과에 비해 약 2배 가까운 허용기준 초과율을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 충분진에 의한 평가는 허용기준 5 mg/m³을 적용했을 경우에도 근로자의 노출을 과소 평가하는 것으로 나타났다.

그림 30은 조선업체 단열재 시공작업에서 측정한 충분진 농도와 섬유농도간의 관계를 나타낸 것으로 상관관계 $r = 0.79$ 로 나타나 비교적 높은 상관관계를 보여주고 있다. 충분진 농도로부터 섬유 농도를 예측하는 회귀식은 $y = 0.249x + 0.072$ ($r^2 = 0.63$, $p < 0.001$)였으며, 이 회귀식을 사용하여 충분진 농도에 따른 섬유농도의 추정치를 구한 결과는 표 37과 같다. 충분진이 10 mg/m³ 농도에서는 95% 신뢰구간의 하한 값이 1.82 f/cc로 ACGIH TLV인 1 f/cc를 초과하였다. 또한 충분진 농도가 5 mg/m³인 경우 섬유농도의 하한은 1/cc에 근접한 0.99 f/cc로 나타나 이와 같은 충분진 농도에서는 섬유농도를 노출기준 미만으로 유지할 수 없다. 만약 충분진 농도가 2.5 mg/m³에서는 95% 신뢰구간의 상한 값은 1.02 f/cc로 나타나 거의 대부분 섬유농도가 허용기준 미만으로 유지될 수 있다. 이와 같이 연구대상 작업의 경우 충분진 농도를 2.5 mg/m³ 미만으로 관리한다면 근로자가 허용기준 이상의 섬유에 노출되는 것을 방지할 수 있다. 그러나 ACGIH, NIOSH의 허용기준인 5 mg/m³이나 노동부 노출기준인 10 mg/m³으로 충분진 농도를 관리하는 경우 근로자의 섬유 노출농도를 현재의 허용기준 미만으로 관리할 수 없다.

세라믹섬유 시료에 대해 충분진 및 섬유농도로 각각 평가한 결과를 비교한 결과, 두 평가결과의 일치율이 단열재 시공 작업에서보다 낮았다. 비교적 충분진 농도가 높은 한 사업장(KR)의 경우 5 mg/m³을 관리기준으로 가정했을 때 이 값을 초과하는 시료 10 개중 9개가 ACGIH가 개정 고시 한 TLV 0.1 f/cc를 초과하였다. 그러나 5 mg/m³ 미만인 나머지 시료 19개중 0.1 f/cc를 초과하는 시료는 10개로 충분진에 의한 평가는 근로자의 섬유노출 상태를 과소평가할 수 있다. 그림 31에서 보듯이 세라믹섬유 농도와 충분진 농도간의 회귀식은 $y = 0.091x - 0.078$ ($y =$ 섬유농도, $x =$ 충분진농도, $r^2 = 0.35$)로 나타났다.

이와 같이 두 변수의 상관계수는 $r = 0.59$ 로 단열재 시공 작업의 경우($r=0.79$) 보다는 낮은 상관성을 보였다. 이 회귀식을 이용하여 섬유농도 추정치의 95% 신뢰구간의 상한값이 0.1 f/cc를 초과하지 않는 충분진 농도는 0.5 mg/m'으로 나타났다. 이 사업장의 경우 섬유농도를 95% 신뢰수준에서 섬유농도를 0.1 f/cc 미만으로 유지하려면 충분진 농도를 0.5 mg/m' 미만으로 관리하여야 할 것이다.

다른 세라믹섬유 사업장의 경우 충분진 농도가 5 mg/m'을 초과하는 시료는 하나도 없었으나 섬유농도가 0.1 f/cc를 초과하는 시료는 38개 시료중 31개로 나타났다. 이 사업장은 충분진 농도는 전반적으로 낮은 반면, 섬유농도는 비교적 높게 나타나 앞의 사업장과는 다른 양상을 보이고 있었다. 이 사업장의 충분진 및 섬유농도간의 상관계수는 $r = 0.36$ 으로 다른 사업장에 비해 상관성이 비교적 약한 것으로 나타났다. 이 사업장의 경우 구한 회귀식의 설명력이 약해 충분진농도로 섬유농도를 예측하는 것은 타당하지 않은 것으로 판단된다.

충분진과 섬유농도간의 관계식은 섬유의 크기 특성, 작업조건 등의 여러 요인에 의해 다를 수 있으며 본 연구에서 구한 회귀식은 일반적인 것이 아니며 해당 공정에서만 적용하는 것이 타당하다. 각 공정별로 두 변수간에 상관성이 있는지 확인하고 유의한 상관관계가 성립되는 경우 이와 같은 관리방법을 적용할 수 있을 것이다.

Table 37. Estimated Value and 95% Confidence Interval of Fiber Concentration at a Given Total Dust concentration

Total Dust Conc., mg/m'(X)	Fiber Conc., f/cc (Y)	
	Estimated Value	95% Confidence Interval
2	0.57	0.22 - 0.92
2.5	0.69	0.37 - 1.02
3	0.82	0.51 - 1.12
4	1.07	0.77 - 1.36
5	1.32	0.99 - 1.63
10	2.56	1.82 - 3.30

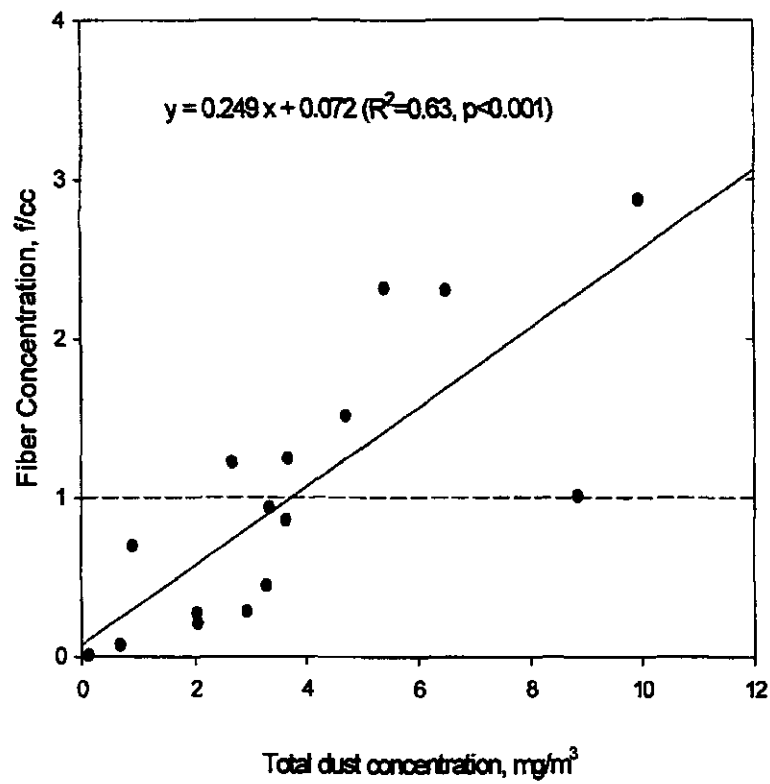


Fig. 30. Regression between fiber concentrations and total dust concentrations during insulation installation in a shipyard.

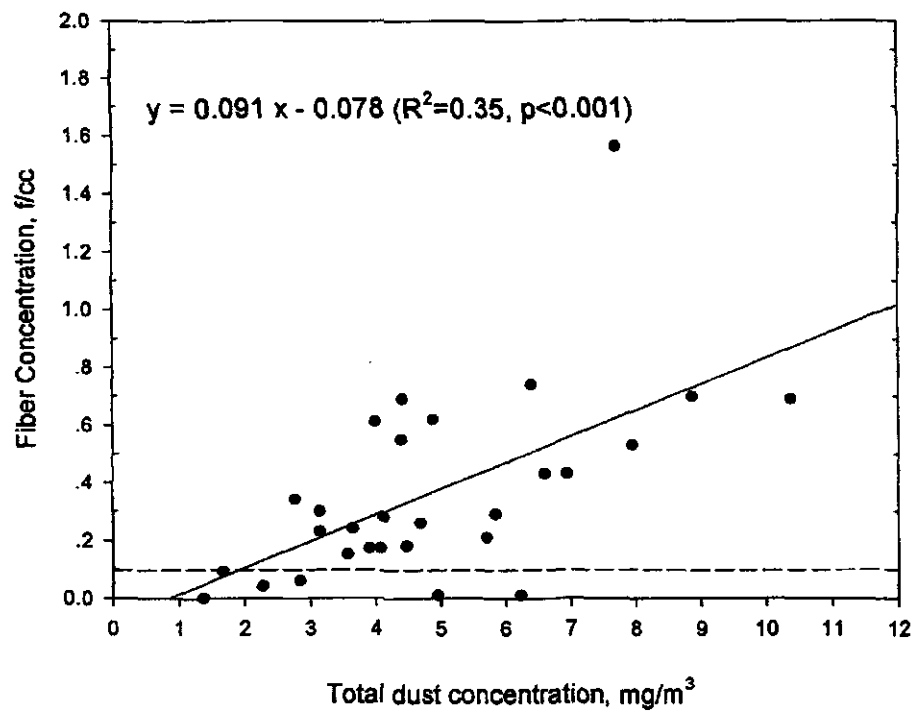


Fig. 31. Regression between fiber concentrations and total dust concentrations in a ceramic fiber manufacturing factory.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 공기중 인조광물섬유의 측정방법, 즉 중량분석법 및 섬유계수법을 서로 비교 평가하는 한편, 인조광물섬유 중 유리면 섬유, 암면섬유, 장유리섬유 및 세라믹섬유를 제조 및 가공하는 업체를 대상으로 근로자의 섬유 노출농도, 공기중 섬유의 크기 특성을 파악함으로써 업종별 섬유에 의한 건강위험도를 평가하고 개선방안을 제안하기 위해 실시하였다. 본 연구결과는 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 평가방법

B 계수규칙에 의한 섬유농도와 충분진 농도의 회기계수는 유리섬유 0.64, 장유리섬유 0.44, 암면 0.65, 세라믹섬유 0.45로, 유리면과 암면의 경우 두 변수간의 회기계수는 비교적 높은 반면 장유리섬유 및 세라믹섬유의 경우 회기계수는 비교적 낮았다. 장유리섬유의 경우 B 규칙보다는 A 규칙에 의한 결과와 충분진 농도간의 상관성이 더욱 밀접한 것으로 나타났다. 장유리섬유는 다른 섬유에 비해 직경이 큰 분포를 이루고 있어 B 규칙에 의한 계수과정에서 직경이 3 μm 이상의 섬유가 배제되어 중량과의 상관성이 감소한 것으로 추정된다.

충분진 농도와 섬유농도간의 상관성은 이와 같이 섬유의 직경의 영향뿐만 아니라 공존하는 비섬유상 입자상 물질의 영향을 받는 것으로 판단된다. 특히, 세라믹섬유의 경우 충분진으로 섬유 노출농도를 추정한다면 큰 오차를 유발할 수 있으며 정확한 근로자 노출평가 결과를 얻을 수 없다. 분진농도로 섬유농도를 예측하는 것은 타당치 않으며, 건강상의 영향을 초래하는 주요 물질은 섬유이기 때문에 근로자의 정확한 노출평가는 섬유계수법에 의한 섬유농도에 근거하여야 한다.

B 규칙에 의한 섬유밀도(y)와 A 규칙에 의한 섬유밀도(x) 회기계수는 유리섬유, 암면, 장유리섬유 및 세라믹섬유 시료의 경우 각각 0.83, 0.98, 0.93으로

두 계수규칙간의 상관성은 매우 높았으나, 장유리섬유의 경우 0.25로 상관성은 비교적 낮게 나타났다. B 규칙은 두께가 3 μm 미만, 길이에 대한 직경의 비가 5:1 이상인 호흡성 섬유만을 계수하나 총 섬유중 이 기준에 부합되는 섬유의 비율이 시료에 따라 차이가 있는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 각 시료에 대한 A 규칙과 B 규칙에 의한 분석결과를 대수 변환하여 paired t-test로 통계 검정한 결과 모든 섬유종류에 있어 두 값간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 공기중 총섬유에는 비 호흡성 섬유가 유의한 양으로 존재한다는 사실을 의미한다. 인조광물섬유 종류, 제조업체 및 공정 등 여러 가지 요인에 따라 섬유의 크기 분포는 차이가 있을 수 있으므로 다른 규칙에 의해 산출된 결과를 통합하고자 하는 두 계수 규칙간의 차이를 먼저 검증해 보아야 한다.

A 및 B 계수규칙에 따른 개인내 분석변이는 살펴본 결과, 유리섬유 및 암면 시료의 경우 두 계수규칙의 개인내 변이는 유의한 차이가 없었으나 세라믹 섬유의 경우 B 규칙의 변이는 A 규칙의 변이보다 통계적으로 유의하게 크게 나타났다($p < 0.05$). 이와 같은 차이는 A 규칙의 경우 직경에 대한 제한이 없으나 B 규칙의 경우 직경에 대한 기준이 있는데 이러한 기준은 분석자내 변이를 증가시킨 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 각 계수규칙의 분석자간 및 분석자내 변이는 섬유밀도에 따라 변이는 뚜렷한 차이가 있었으며, 섬유밀도가 낮을수록 변이가 증가하는 경향이 있었다.

2. 섬유크기 특성

유리면 섬유, 암면섬유, 세라믹섬유 및 장유리섬유 시료의 B/A 값은 각각 0.66, 0.65, 0.84 및 0.48로 나타났다. 따라서 세라믹섬유 시료의 경우 섬유의 직경이 비교적 짧아 총섬유중에 호흡성 섬유가 높은 비율로 존재함을 알 수 있었다. 반면, 장유리섬유는 B/A 값이 가장 작게 나타났는데 이것은 장유리섬유는 다른 종류의 섬유에 비해 직경이 큰 섬유가 많이 분포하는 것을 말해준다. 유리섬유와 암면 시료는 서로 비슷한 호흡성 분포 비율을 보이는 것으로 나타

났다.

전반적으로 섬유 종류, 업체 및 공정에 관계없이 공기중 섬유 길이는 20 ~ 50 μm 인 범위에서 가장 많은 비율로 분포하고 있음을 알 수 있다. 유리면 및 압면섬유 제조업에 발생된 섬유의 평균 직경은 약 1.5 μm 인 반면, 세라믹섬유의 직경은 이보다 작은 평균 1.0 μm 이었고 장유리섬유는 다른 섬유에 비해 가장 작은 평균 10 μm 로 나타났다.

3. 노출농도

공기중 섬유농도는 업종에 따라 섬유농도의 차이가 있었다($p < 0.001$). 조선 업체에서 선실내벽에 단열재를 부착하는 근로자의 섬유 및 총분진 노출농도는 각각 0.57 f/cc 및 2.63 mg/m³으로 유리면 섬유 제품(평균 0.012 f/cc), 압면섬유 제품(평균 0.032 f/cc), 장섬유 제품제조업(평균 0.010 f/cc) 및 세라믹섬유 제품제조업(평균 0.26 f/cc)보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 특히 선실 안쪽에서 압면 단열재를 설치할 때 약 73%의 시료가 TLV를 초과하였다.

세라믹섬유 제품제조업의 공기중 섬유농도는 유리면, 압면 및 장유리섬유 제품제조업에 비해 높았으며($p < 0.001$), 측정된 개인 시료중 80%가 개정 고시(notice of intended changes)된 ACGIH TLV(0.1 f/cc)를 초과하는 것으로 나타났다. 세라믹섬유는 동물 발암물질이며 ACGIH에서는 인체발암 의심물질(A2)로 규정하고 있는 물질로 허용농도를 석면과 동일하게 제정하고자 추진중에 있다. 그러나 우리나라에서는 아직까지 일반 분진과 동일하게 취급하고 있으며 이 물질에 대한 허용기준도 없을 뿐만 아니라 유리섬유와 동일한 물질로 간주하고 있는 실정이다.

섬유농도가 높은 직무는 유리섬유 제품제조업의 경우 가공(연마) 및 포장, 압면 제조업의 경우 청소 및 검사, 세라믹 제품제조업의 경우 포장, 절단, 설비관리, 배합작업으로 나타났다. 이들 직무에 종사하는 근로자의 섬유 노출감소 또는 방지를 위해 우선적으로 강구하여야 할 것이다.

4. 인조광물섬유 업종 근로자의 건강위험도

유해물질의 건강위험도(hazard)를 결정하는 주요한 요인은 유해물질의 독성, 노출량, 개인의 감수성으로 알려져 있다. 또한 섬유의 물리화학적 특성은 섬유의 독성을 결정하는 중요한 요인이며 여기에는 섬유의 크기 및 생체내 지속성이 포함된다. 이와 함께 섬유의 유해성은 노출량, 즉 공기중 섬유 농도 및 노출시간에 의해 영향을 받으며 이러한 요인들은 근로자의 건강위험도평가(health risk assessment)시 반드시 고려되어야 한다.

인조광물섬유중 세라믹섬유는 체내에서 지속이 강하고 인체에 미치는 독성이 다른 유리섬유, 암면 등의 다른 인조광물섬유에 비해 크다고 알려져 있다. 동물흡입실험결과 암을 유발한다는 것이 여러 연구에서 증명되었으며, ACGIH에서는 세라믹섬유의 발암성에 근거하여 다른 섬유와 차별을 두어 인체 발암 의심물질로 규정하고 TLV를 석면과 동일한 0.1 f/cc로 제정할 것을 고시한 바 있다. 따라서 세라믹섬유의 노출에 의한 위험성을 평가하는 경우 이물질의 발암성을 고려하는 것이 바람직하다.

일반적으로 섬유는 직경이 작고 길이가 길수록 인체에 대한 유해성이 더욱 큰 것으로 알려져 있다. 섬유의 직경은 호흡기를 통해 폐포까지 도달하는 실제 노출량을 결정하는 요인이다. 총섬유 수는 동일하더라도 직경의 분포가 작아 폐포까지 도달할 수 있는 호흡성 섬유의 비율이 높은 경우 인체에 대한 유해성은 크다고 볼 수 있다. 이러한 크기 특성을 근로자의 섬유노출농도를 호흡성 섬유로 측정하는 경우 이와 같은 요인에 의한 영향이 포함된다.

이와 같은 요인들을 고려했을 때 세라믹섬유를 제조하는 사업장에 발생된 섬유의 직경(평균 1.0 μm)은 다른 섬유 업종보다 가장 작고 공기중 섬유농도도 높기 때문에 근로자에 미칠 수 있는 건강위험도가 가장 크다. 유리섬유 및 암면 제품제조업종의 공기중 섬유농도는 세라믹섬유 사업장에 비해 훨씬 낮아 (ACGIH의 TLV를 초과하는 시료가 한 건도 없었음) 이 업종의 근로자의 건강 위험은 비교적 낮다고 볼 수 있다. 장유리섬유 제조 및 가공 업종에서 발생된

공기중 섬유는 평균 10 μm 로 직경이 비교적 크고 섬유 노출농도가 낮기 때문에 가장 위험도가 낮은 업종이다. 그러나 단열재를 시공하는 근로자는 공기중에 다량의 섬유가 발생하고 작업공간도 협소하고 밀폐된 조건이기 때문에 섬유 농도가 ACGIH TLV를 초과하는 수준이므로 건강위험이 비교적 높은 것으로 나타났다.

인조광물섬유 제조업에서의 폭로 수준은 석면 사업장의 공기중 석면섬유 농도⁽⁴¹⁾ 보다 낮으며 섬유의 직경도 석면⁽⁴¹⁾에 비해 클 것으로 나타났다. 또한 유리 섬유의 경우 석면에 비해 체내에서 분해가 더 쉽게되므로 지속기간이 짧아 인체에 미치는 독성이 상대적으로 낮은 것으로 보고하고 있다. 이러한 사실은 인조광물섬유 사업장이 석면 사업장보다 건강장해가 발생할 위험이 낮다는 의미한다.

4. 제언

유리섬유를 비롯한 인조섬유는 피부 자극성이 강하고 발암성이 의심되고 있기 때문에 현재와 같이 유리섬유를 총분진과 동일하게 10 mg/m^3 으로 설정하는 것은 타당하지 않다. 적어도 인조광물섬유는 피부자극 작용이 있기 때문에 이보다 낮게 허용기준을 설정하고 관리하여야 한다. NIOSH, 덴마크 및 뉴질랜드에서는 총분진으로서 인조광물섬유의 허용기준을 5 mg/m^3 으로 설정하고있다. 보다 바람직한 인조광물섬유 노출평가는 섬유 농도에 근거하여야하며 섬유 농도로서 허용기준을 제정하여야 할 것이다. 외국의 경우 일반적으로 1 f/cc를 허용기준으로 채택하고 있으나 우리 나라는 석면섬유의 허용기준이 2 f/cc로 설정되어 있는 실정이므로 앞으로 석면과 함께 인조섬유에 대한 허용기준 제정 및 개정이 필요하다고 판단된다.

본 조사결과 유리섬유, 암면 제품 제조업의 근로자 노출농도는 1 f/cc 이하로 특별한 경우를 제외하고는 이 기준을 충족시킬 수 있으리라 본다. 그러나 조선업이나 건설업에서 단열재를 시공하는 근로자는 고농도의 섬유에 노출될

수 있으며, 세라믹섬유는 발암성이 있는 물질로 알려져 있기 때문에 이들 업종에 종사하는 근로자에 대한 노출관리를 우선적으로 강구하는 것이 필요하다. 전체 및 국소배기장치, 공정 개선, 습식법 또는 진공제진 장치의 이용, 호흡보호구 착용, 피부 및 눈 접촉방지 등 공학적 또는 산업위생학적인 관리를 통해 근로자의 노출을 최소화하여 잠재적인 건강장해를 예방하여야 할 것이다.

참고문헌

1. International Programme on Chemical Safety: Environmental Health Criteria 77: Man-Made Mineral Fibers. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1988.
2. 임현술, 정해관, 김지용, 정희경: 유리섬유에 장기간 폭로된 지역 주민의 건강 장애에 관한 역학 조사. 서울대학교 보건대학원 산업보건학교실 10주년 기념학술대회, 서울대 산업보건동우회 1995년 10월.
3. Bender, J.R., J.L. Konzen, G.E. Devit: Occupational Exposure Toxic Properties, and Work Practice Guidelines for Fiber Glass. Fairfax, VA, AIHA, 1991.
4. Kojola, W.H. and J.B. Moran: Exposure Limits for Man-Made Mineral Fibers. Position of the Building and Construction Trades Department, AFL-CIO. Appl. Occup. Environ. Hyg. 7(1):724-733. 1992.
5. Engholm, G., A. Englund, A.C. Fletcher, N. Hallin: Respiratory Cancer Incidence in Swedish Construction Workers Exposed to Man-Made Mineral Fibers and Asbestos. Ann. Occup. Hyg. 31, 663-675, 1987.
6. Gardner, M.J. C. Magnani, B. Pannett: Lung Cancer Among Glass Fiber Production Workers: A Case-Control Study. Br. J. Ind. Med. 45, 613-618, 1988.
7. Wagner, J.C., G.B. Berry, R.J. Hill: Animal Experiment with MMM(V)F - Effect of Inhalation and Intra Pleural Inoculation in Rats. In: Biological Effect of Man-Made Mineral Fibres, Vol. 2, pp. 209-233. Proceeding of a WHO/IARC Conference, April 20-22, 1982. Copenhagen. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 1984.

8. Smith, D.M., L.W. Ortiz, R.F. Archuleta, N.F. Johnson: Long-Term Health Effects in Hamsters and Rats Exposed Chronically to Man-Made Vitreous Fibres. *Ann. Occup. Hyg.* 31, 731-754, 1987.
9. Stanton, M.F., M. Layard, A. Tegeris: Carcinogenicity of Fibrous Glass: Pleural Response in the Rat in Relation to Fiber Dimension. *J. Natl Cancer Inst.* 58, 587-603, 1977.
10. Lippman, M.: Man-Made Mineral Fibers(MMMF): Human Exposure and Health Risk Assessment. *Toxicol. Ind. Health* 6(2), 225-246, 1990.
11. Bunn III, W.B., J.R. Bender, T.W. Hesterberg, G.R. Chase, J.L. Konzen: Recent Study of Man-Made Vitreous Fibers. *Journal of Occupational Medicine*, 35(2):101-113, 1993.
12. International Agency for Research on Cancer(IARC): Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human Man-Made Mineral Fibers and Radon. Vol. 43, World Health Organization/International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, 1988.
13. National Toxicology Program: Seventh Annual Report on Carcinogens. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1994.
14. Vu, V.T.: Health Hazard Assessment of Non Asbestos fibers. Office of Toxic Substances. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1988.
15. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: TLVs Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1995-1996. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1998
16. Bunn III, W.B, J.R. Bender. T.W. Hesterberg, G.R. Chase and J.L.

Konzen: Recent Studies of Man-Made Mineral Vitreous Fibers. J. Occup. Med. 35:101-113, 1993.

17. Environmental Protection Agency: Refractory Ceramic Fibers; Initiation of Priority Review. Federal Register, Vol. 56, No. 225, pp. 58693-58695, 1991.

18. International Labor Organization: Safety in the Use of Mineral and Synthetic Fibers-Working Document. Meeting of Mineral and Synthetic Fibers, International Labor Office, Geneva, Switzerland. April 17-25, 1989.

19. Head, I.W.H. and R.M. Wagg: A Survey of Occupational Exposure to Man-Made Mineral Fiber Dust. ann. Occup. Hyg. 23, 235-258, 1980.

20. 통계청: 1996 산업생산연보, 통계청, 1997.

21. 관세청: 1997 무역통계연보. 관세청, 1998.

22. 노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제91-21호, 노동부, 1991.

23. National Institute for Occupational Safety and Health: Method 7400: Asbestos and Other Fibers by PCM. In: NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.

24. Baron, P.: Asbestos Analysis-NIOSH Method 7400. Appl. Ind. Hyg. 2:R8-10, 1987.

25. World Health Organization/WHO/EURO Technical Committee for Monitoring and Evaluating Airborne MMMF: Reference Methods for Measuring Airborne Man-Made Mineral Fibers (MMMF). "NIOSH Research Report, WHO, Copenhagen, 1981.

26. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a

Recommended Standard ... Occupational Exposure to Fibrous Glass. Pub. No. 77-152, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, 1977.

27. National Institute for Occupational Safety and Health: Method 0500: Particulates Not Otherwise Regulated, Total. In: NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, 1994.

28. Corn, M. and E.B. Sansone: Determination of Total Suspended Particulate Matter and Airborne Fiber Concentrations at Three Fibrous Glass Manufacturing Facilities. *Environ. Res.* 8, 37-52, 1974.

29. Ottery, J. J.W. Cherri, J. Dodgson and G.E. Harrison: A Summary Report on Environmental Conditions at 13 European MMMF Plants. In *Biological Effects of Man-Made Mineral Fibers: proceedings of a WHO/IARC Conference Volume I*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization. 20-22 April 1982, pp83-117, 1984.

30. Jaffery, T.S.A.M: Levels of Airborne Man-Made Mineral Fibres in U.K. Dwellings. I - Fibre Levels During and After Installation of Insulation. *Atmospheric Environment*, 24A(1), 133-141, 1990.

31. Konzen, J.L: Results of Environmental Air Sampling Studies Conducted in Owens-Corning Fiberglass Manufacturing Plants. In *Occupational Exposure to Fiberglass Proceedings of a Symposium* (DHEW/NIOSH Pub. No. 760151). Washington D.C., Government Printing Office, pp. 115-120, 1976.

32. Lees, P.S.J., P.N. Breysse, B.R. McArthur, M.E. Miller, B.C. Rooney, C.A. Robbins and M. Corn: End User Exposure to Man-Made Vitreous Fibers: I. Installation of Residential Insulation Products. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 8(2), 1022-1030, 1993.

33. Berum, N.O., E. Holst, and T. Schneider: Evaluating Occupational

Exposure to Man-Made Mineral Fibre Dust by a Screening Test. Staub Reinhalt Luft 46, 276-283, 1986.

34. Schneider, T.: Mass Concentration of Airborne Man-Made Mineral Fibres. Ann Occup. Hyg. 31, 211-217, 1987.

35. Buchta, T.M., C.H. Rice, J.E. Lockey, G.K. Lemasters, and P.S. Gartside: A Comparative Study of the National Institute for Occupational Safety and Health 7400 "A" and "B" Counting Rules Using Refractory Ceramic Fibers. Appl. Occup. Environ. Hyg. 13(1):58-61, 1998.

36. Satrun, E.A.: Personal Communication to C. Rice, 1993.

37. 이승욱 편저: 통계학의 이해 - 보건학·의학·생물학 관련 자료 중심, 자유아카데미, 1990.

38. Jacob, T.R., J.G. Hadley, J.R. Bender, W. Eastes: Airborne Glass Fiber Concentrations During Manufacturing Operations Involving Glass Wool Insulation. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 54(6), 320-326, 1993.

39. Esmen, N.A., M. Corn, Y.Y. Hammand: Summary of Measurements of Employee Exposure to Airborne Dust and Fiber in Sixteen Facilities Producing Man-Made Mineral Fibers. Am. Ind. Hyg. assoc. J. 40, 108-117, 1979.

40. Christensen, V.R., W.E. Eastes, R.D. Hamilton, A.W. Struss: Fiber Diameter Distributions in Typical MMVF Wool Insulation Products. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 54(5):232-238, 1993.

41. 백남원, 이영환: 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 1(2), 144-153, 1991.

42. Cherri, J. J. Dodgson, S. Groat and W. Maclaren: Environmental Surveys in the European Man-Made Mineral Fiber Production Industry.

유해인자 취급사업장 작업환경개선 연구
(연구원 99-40-110)

발 행 일 : 1999. 5

발 행 인 : 원 장 정 호 근

연구수행자 : 선임연구원 신 용 철

발 행 처 : 한 국 산 업 안 전 공 단

산 업 안 전 보 건 연 구 원

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-6

전 화 : (032)5100-905

F A X : (032)518-0864

비매품