

인조광물섬유 산업에서 발생된 공기중 섬유의 크기 분포

신용철[†] · 이광용¹⁾

인제대학교 보건안전공학과 · ¹⁾한국산업안전공단 인천지도원

Size Distribution of Airborne Fibers in Man-made Mineral Fiber Industries

Yong Chul Shin[†] · Gwang Yong Yi¹⁾

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University ·
¹⁾Korea Occupational Safety and Health Agency

Penetration and health effect of fibers was related with their diameters and length. The purpose of this study is to characterize and compare the diameter and length of airborne man-made mineral fibers(MMMF) or synthetic vitreous fibers in the related industries. The average fiber length of the continuous filament glass, rock wool, refractory ceramic, and glass wool fibers production industries approximately 27, 28, 35, 50 - 105 μm . Airborne glass fibers were longest in all the type of MMMFs. The average diameters of airborne fibers generated from refractory ceramic, rock wool, glass wool, continuous filament glass fibers production industries were approximately 1.0, 1.6, 1.5 - 4, and 10 μm , respectively. The percentages of

respirable fibers($<3 \mu\text{m}$) were 94% for RCFs, 73% for rock wool fibers, 61.0% for glass fibers, and 1.6% for filament glass fibers. The length of glass fibers were the longest in all types of fibers, and length of the others were similar. The refractory ceramic fibers were smallest in diameters and highest in fraction of respirable fibers.

Key Words : man-made mineral fibers, MMMF, synthetic vitreous fibers, size distribution

I. 서론

인조광물섬유(man-made mineral fibers, MMMFs) 또는 인조유리섬유(synthetic vitreous fibers, SVF)는 유리, 암석, 기타 광물로부터 제조되는 비 결정성의 규산화합물(silicates)이다.

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), 내화성 세라믹 섬유(refractory ceramic fibers, RCF)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(insulation wool: glass wool, rock wool, slag wool) 및 특수 섬유(special purpose fibers, SPF) 세가지 종류로 분류하고 있다. 북미에서는 슬래그울과 암면을 종종 "mineral wool"

접수일 : 2005년 9월 30일, 채택일: 2005년 12월 5일

†교신저자 : 신용철(경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과)

Tel : 055-320-3676, Fax : 055-325-2471, E-mail : ycshin@inje.ac.kr

로 명칭하고 유럽과 아시아에서는 유리면도 "mineral wool"에 포함시킨다. "면(wool)"은 뒤엀킨 섬유 덩어리를 말한다. 각 섬유의 명목직경은 장유리섬유 6-15 μm , 보온면 2-9 μm , 세라믹섬유 1.2-3 μm , 특수 섬유 0.1-3 μm 로 알려져 있다(WHO, 1988; ILO, 1989).

일반적으로 알려진 MMMF의 건강영향은 자극(irritation) 작용이며, 섬유에 노출되었을 때 나타나는 일반적인 증상은 가려움증이다. 유리섬유는 피부뿐만 아니라 눈, 상기도에도 자극을 유발할 수 있다(Bender et al., 1991; Kojola and Moran., 1992). 늑막 내에 유리섬유를 주사한 동물에게서 암이 유발되었으며 독성의 크기는 섬유의 길이가 길수록 그리고 직경이 작을수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Wagner et al., 1984; Smith et al., 1987; Stanton et al., 1977; Lippman, 1990). International Agency for Research on Cancer(IARC)에서는 각각 "possible human carcinogen (Group 2B)"으로 분류하고 있다(IARC, 1988). American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 2005)에서는 유리면 섬유, 암면 섬유, 슬래그울 섬유 및 특수목적 유리 섬유는 동물발암물질(confirmed animal carcinogen. A3), 그리고 장유리 섬유는 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질(not classifiable as a human carcinogen, A4)로 규정하고 있다. 특히 세라믹 섬유는 인체발암의심물질(suspected human carcinogen. A2)로 규정하고 있다.

석면이나 인조광물 섬유와 같은 섬유상물질의 건강영향은 섬유의 길이, 직경과 연관이 있다. 그러므로 인조광물섬유에 의한 위해도를 평가하거나 비교함에 있어 노출되는 농도뿐만 아니라 길이, 직경 등 크기 특성에 관한 정보도 필요로 한다. 공기중 섬유농도를 측정하는 방법에서는 분석에 포함시키는 길이, 직경에 대한

기준이 정해져 있으나 정한 기준에 부합하는 섬유만 선별하고 선별된 섬유의 개수를 농도 산출에 이용하기 때문에 정확한 크기 분포를 알 수가 없다.

국내에서는 신용철 등(1996)이 유리 섬유 보온재 제조업체 4개소를 대상으로 공기중 섬유 크기를 연구한 결과를 보고하였다. RCF 제조 및 가공업체 업체 2개소의 공기중 섬유 크기 특성에 대해서는 신용철(2000)이 보고한 논문이 있다. 이것 외에 인조광물 섬유의 크기 특성에 대해 연구한 논문은 없다. 특히 국내에서는 인조광물섬유중 암면섬유, 장유리섬유 제조 또는 사용 과정에서 발생한 공기중 섬유의 크기 특성에 대한 연구논문은 전문학회지에 보고된 바 없다.

따라서 본 연구의 목적은 국내에서 주로 생산 및 사용되는 인조광물섬유인 유리섬유, 암면섬유, 장유리섬유 및 RCF를 대상으로 이들 섬유를 제조 또는 사용공정에서 발생한 섬유종류, 업체 또는 공정별로 공기중 섬유의 크기 분포를 파악하고 비교하는 한편, 제품섬유에서의 명목직경과 공기중 섬유의 직경을 차이를 비교하는 것이다.

II. 연구방법

본 연구 대상 섬유는 유리섬유, 암면섬유(광물성섬유), 장유리섬유 및 장유리섬유였다. 이들 섬유 시료를 채취한 업체는 유리섬유 2개소, 암면섬유(광물성섬유) 1개소, 세라믹섬유 2개소, 장유리섬유 1개소로 총 6개소였다. 생산되는 제품의 종류는 유리 섬유 관련 제품의 경우 유리면, 매트(mat or blanket), 보드(board), 파이프보온재(pipe cover), 암면섬유 관련 제품의 경우 암면, 매트, 보드, 세라믹 섬유 관련 제품의 경우 매트, 보드, 모dul, 장유리섬유 관련제품의 경우 강

화섬유였다.

공기중 MMMF 시료는 NIOSH Method 7400(NIOSH, 1994)에 기초하여 직경이 37 mm인 cellulose ester membrane(MCE) 여과지(0.8 μm , Millipore AA Type, Millipore Co.)에 1.5-2.5 L/분의 유량으로 채취하였다. MMMFs 시료가 채취된 여과지의 일부를 잘라 acetone/triacetin으로 투명화시킨 후 분석하였다. Walton-Beckett 및 마이크로미터를 삽입된 위상차 현미경(Carl Zeiss, Germany)으로 400 배의 배율에서 섬유의 입경과 길이 범위를 파악하였다. 길이의 분류 범위를 6개 범위, 즉 ① <5 μm , ② 5-10 μm , ③ 10-20 μm , ④ 20-50 μm , ⑤ 50-100 μm , ⑥ >100 μm 으로 나누어 그 섬유가 해당되는 길이 범위를 기록하였다. 직경의 범위도 6개 범위, 즉 ① <1 μm , ② 1-3 μm , ③ 3-5 μm , ④ 5-10 μm , ⑤ >10 μm 로 나누어 섬유가 해당되는 직경범위를 파악하였다. 섬유종류 간 길이와 직경의 분포는 Kolmogorov-Smirnov (K-S) test를 이용하여 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. MMMF 산업 또는 종류별 섬유 크기 특성

1) MMMs의 현미경 관찰 모습

Fig. 1은 공기중에서 채취한 유리섬유, 암면 섬유, 세라믹 섬유 및 장유리섬유 및 암면섬유를 400배의 배율에서 관찰한 모양이다. 사진에서 보듯이 대체적으로 인조광물섬유의 직경은 석면에 비해 직경이 비교적 크며 섬유 외에도 다수의 비섬유상 입자도 존재함을 알 수 있다. 특히 인조광물섬유중 세라믹 섬유는 다른 인조광물섬유 비해 직경이 비교적 작으나 장유리섬유는 비교적 직경이 크다는 것을 알 수 있다.

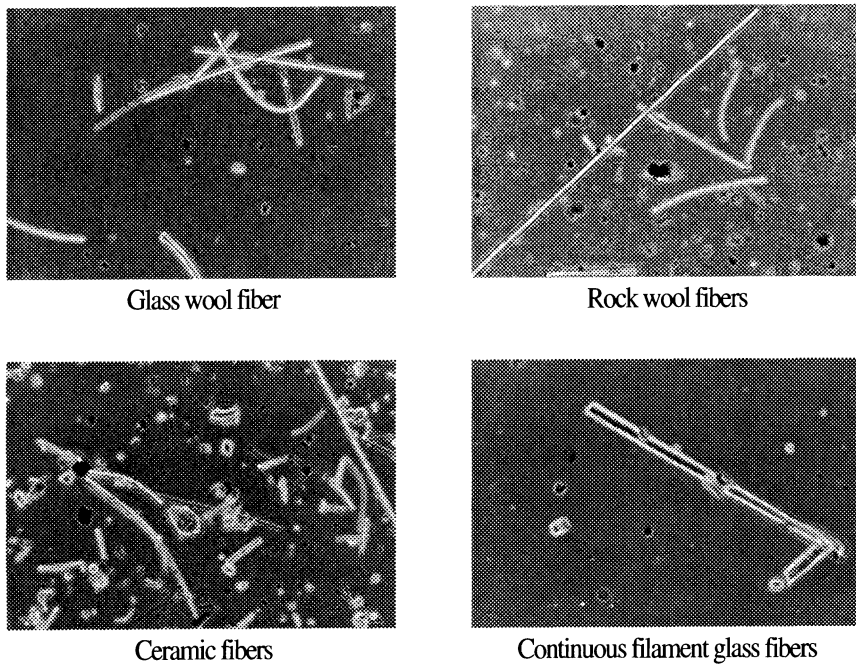


Fig. 1. Photomicrographs of fibers in air samples under 400X magnification using phase contrast microscope.

2) 섬유종류별 공기중 섬유 길이 분포 비교

섬유 종류별 공기중 섬유의 길이 분포 및 기하평균(geometric mean, GM)은 Table 1 및 Fig. 2와 같다. 길이 특성을 살펴보기 위해 섬유제조 설비에서 인접한 위치에서 작업하는 근로자의 호흡위치에서 채취된 시료를 선택하여 관찰하였다. 공기중 유리섬유는 유리섬유 제조 설비와 이를 취급하는 공정이 주 발생원이기 때문에 분쇄 및 절단 등 특정 공정에서 종사하는 근로자를 제외한 대부분의 근로자는 유리섬유 제조 설비에서 발생하는 크기 특성을 지닌 유리섬유에 노출된다고 볼 수 있다.

유리섬유 업체중 한 사업장(A)의 공기중 섬유의 길이는 >100 μm 구간에 가장 많이 분포하였고(51.2%) 다음으로 50-100 μm 구간에서 분포 비율(38.8%) 높았다. 다른 한 유리섬유 업체에서는 20-50 μm 구간에서 가장 많이 분포하였고 다음으로 50-100 μm 구간에서 33.9%로 높게 나와 두 사업장 간에는 섬유 길의 분포 특성이 다르게 나왔다(p<0.001). A 사업

장에서 발생된 섬유 길이가 큰 이유는 섬유 제조 설비의 유리 용액이 통과하는 spinner의 구멍의 크기가 다르기 때문으로 추정된다.

암면섬유와 장유리섬유의 경우 20-30 μm 구간에서 가장 높은 비율(각각 33.1% 및 51.6%)을 보였고 다음으로 50-100 μm 구간에서 높은 비율(각각 23.6% 및 30.6%)을 보였다. 한편, 세라믹 섬유의 길이는 작은 구간 쪽에 많이 분포하고 있는 경향을 보이고 있다. 즉, 다른 섬유와 마찬가지로 20-30 μm 구간에서 가장 많이 분포하나(37.9%) 그 다음은 10-20 μm에서 23.6%, 5-10 μm에서 15%, 50-100 μm에서 14.3%로 나와 다른 섬유에 비해 가장 짧은 길이 분포를 보였다(p<0.01).

유리면 업체의 공기중 섬유의 평균 길이는 약 60 μm이고 다른 한 업체의 공기중 섬유의 평균 직경은 110 μm였다. 암면, 장유리섬유 및 세라믹 섬유 업체의 섬유의 평균 길이는 각각 47, 35 및 25 μm로 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 MMMF의 섬유길이

는 세라믹 섬유 < 장유리섬유 < 암면섬유 < 유리섬유 순으로 큰 것을 알 수 있고 섬유종류에 따라 길이 분포는 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

Jaffery 등(1990)은 전형적인 공기중 유리면의 섬유 길이는 28.5 μm이고, 암면의 섬유 길이는 39.6 μm라고 보고하였다. 본 연구에서는 유리섬유가 암면섬유보다 더 길었고 유리섬유의 길이는 생산업체의 섬유제조설비의 사양에 따라 현저한 차이가 있는 것으로 나타났다. 한편, 백남원과 이영환(1991)은 국내 석면취급 사업장에 발생된 석면섬유의 길이(GM)는 10-20 μm로 보고하였다.

3) 섬유종류별 공기중 섬유 직경 분포 비교

섬유종류별 직경 분포는 Table 2 및 Fig. 3과 같다. 섬유 직경 분포는 섬유 종류에 따라 뚜렷한 차이가 있었다. 유리섬유와 암면은 섬유직경이 <1 μm에서 5 μm 까지 고르게 분포하고 있었다. 장유리섬유의 직경은 비교적 큰 분포를 보이는데 5 μm 이상의 섬유가 90% 이상으로 나타났다. 반면, 세라믹 섬유는 직경이 1 μm 미만인 섬유의 비율이 46% 다른 섬유에 비해 가장 높고, 호흡성 섬유인 직경 3 μm 미만의 섬유가 전체 섬유의 약 94%를 차지해 다른 종류의 섬유에 비해 직경이 가장 작았다(p<0.01).

한 유리섬유 업체(A 사업장)에서 발생된 섬유의 평균 직경은 4.0 μm이고 다른 업체(B 사업장)는 1.4 μm로 두 사업장의 섬유 직경 분포는 차이가 있었다(p<0.001).

본 연구에서는 인조광물섬유 제조업의 경우 섬유종류, 사업장 및 공정에 따라 섬유의 크기 특성은 차이가 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 유리면과 암면의 섬유 직경은 각각 1.5 μm 및 1.6 μm로 서로 비슷하였으나(평균 섬유 직경이 3.5 μm인 한 유리면 사업장은 예외임), 세라믹 섬유의 직경은 평균 10 μm로 다른 섬유에

Table 1. Distribution of airborne fibers by length

Fiber type	Fiber percent by fiber length(μm)						GM, μm (GSD)
	<5	5-10	10-20	20-50	50-100	100<	
Glass wool fiber (A Company) (N=170)*	0	0 (0)**	5.3 (5.3)	4.7 (10.0)	38.8 (48.8)	51.2 (100)	110 (2.4)
Glass wool fiber (B Company) (N=225)	0	0.4 (0.4)	1.6 (2.0)	42.3 (44.3)	33.9 (78.2)	12.7 (100)	60 (1.9)
Rock wool fiber (N=148)	0.7	2.7 (3.4)	16.9 (20.3)	33.1 (53.4)	23.6 (77.0)	23 (100)	47 (2.4)
Ceramic fiber (N=140)	0	15.0 (15.0)	23.6 (38.6)	37.9 (76.5)	14.3 (90.8)	9.2 (100)	25 (2.5)
Continuous filament glass (N=62)	0	1.6 (1.6)	12.9 (14.5)	51.6 (66.1)	30.6 (96.7)	3.3 (100)	35 (1.8)

* No. of fibers measured; **Cumulative percent
Note: GM=geometric mean; GSD=geometric standard deviation

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

석면과 마찬가지로 인조섬유의 크기 특성과 건강장해는 밀접한 관련이 있으며, 일반적으로 직경이 작을수록 그리고 길이가 길수록 그 유해성이 큰 것으로 알려져 있다(Wagner et al., 1984; Smith et al., 1987; Stanton et al., 1977; Lippman, 1990; Bunn, 1993). 특히 Stanton은 섬유유 독성은 직경이 0.25-1.5 μm 이고 길이가 8 μm 보다 큰 섬유유의 수와 밀접한 관련이 있다고 하였다(Stanton et al., 1977).

2. 유리섬유 산업에서 공정별 섬유 크기 특성

Fig. 4는 공정별 공기중 유리섬유의 길이 분포이고 Fig. 5는 공정별 유리섬유 직경분포를 보여주고 있다. 연구대상 공정은 섬유 형성 공정, 생산된 유리면 제품에 물리적인 힘을 가하는 분쇄 및 절단 공정이었다. 절단

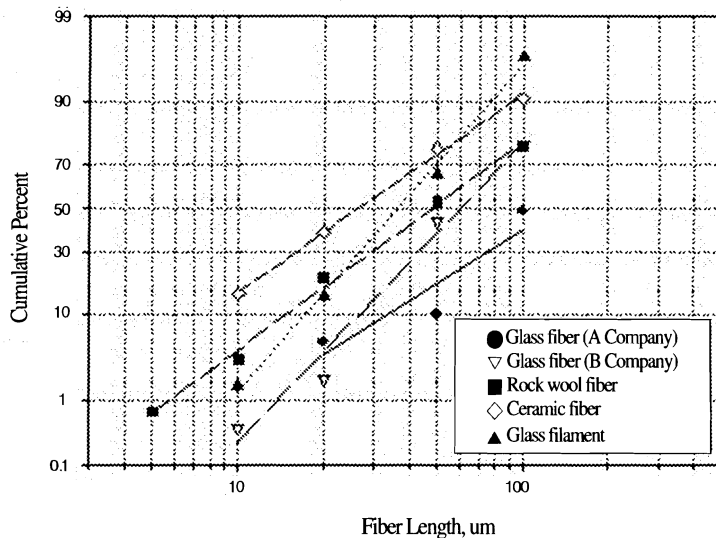


Fig. 2. Distribution of fibers by length and type of MMMFs.

공장에서는 회전톱이나 수직절단단열재 판을 적당한 크기로 자르거나 가장자리를 마무리하며 분쇄공정은 절단공정 등에서 발생하는 폐기물이나 불량품을 가루로 분쇄한다.

Fig. 4에서 보듯이 절단 및 분쇄 공정에서 발생된 공기중 유리섬유의 길이 분포는 섬유제조 공정의 그것과는

차이가 있었다. 절단공정과 분쇄공정의 섬유길이는 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 적합도 검정 결과 유의한 차이가 없었고($p < 0.05$), 섬유형성 공정과 절단 분쇄 공정의 섬유 길이는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 절단, 분쇄 공정을 제외한 다른 공정의 섬유 크기는 섬유형성

Table 2. Distribution of airborne fibers by diameter

Fiber type	Fiber percent by fiber length(μm)					GM, μm (GSD)
	<1	1-3	3-5	5-10	>10	
Glass wool fiber (A Company) (N=170) ^A	2.4	36.5 (38.9) ^{A,C}	21.8 (60.7)	39.3 (100)	0	4.0 (2.0)
Glass wool fiber (B Company) (N=225)	26.7	55.6 (82.3) ^C	8.4 (90.7)	9.3 (100)	0	1.4 (2.9)
Rock wool fiber (N=148)	23.6	49.3 (72.9) ^C	19.6 (92.5)	7.5 (100)	0	1.6 (2.8)
Ceramic fiber (N=140)	46.0	48.2 (94.2) ^C	4.38 (98.6)	1.46 (100)	0	1.05 (2.1)
Continuous filament glass (N=62)	0	1.6 (1.6) ^C	3.2 (4.8)	54.8 (59.6)	40.4 (100)	10 (1.6)

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

^ANo. of fibers measured; ^BCumulative percent; ^CRespirable fraction of fibers(less than 3 μm in diameters)

공정에서의 섬유와 유사한 크기 분포를 보일 것으로 추정된다. 왜냐하면 섬유화 공정에서 생성된 유리 섬유는 포장, 운반 공정을 거치는 절단 공정을 제외하고는 원래 생성된 유리섬유의 형태를 그대로 유지되고 있기 때문이다.

Fig. 5에서 보듯이 섬유형성, 절단 및 분쇄 공정에서 발생된 섬유의 평균 직경은 1.4-1.7 μm , 직경 3 μm 이하의 호흡성 섬유의 비율은 80.5-83.1%로 세 공정의 섬유 직경분포는 서로 비슷하였다($p>0.05$). 다만, 섬유형성 공정의 섬유 직경은 다른 공정보다 직경의 분포 더 넓은 범위에 걸쳐 있었다. 유리섬유의 경우 횡축으로만 분열되며 종축으로 분열되지 않기 때문에 물리적인 힘이 가해지더라도 그 직경은 일정한 상태로 유지되기 때문에 공정에 따른 직경 차이가 없는 것으로 판단된다.

3. MMMF 산업의 공기중 총섬유 중 호흡성 섬유의 비율

일반적으로 호흡성 섬유로 규정하고 있는 직경이 3 μm 이하인 섬유의 분포는 앞의 Table 2에서 보는 바와 같이 네 군으로 분류되는 양상을 보이고 있었다. 유리섬유 사업장에서 A 사업장의 호흡성 섬유 비율은 38.9%로 다른 유리섬유 사업장의 82.3%에 비해 낮았다. 따라서 같은 종류의 섬

유를 생산 또는 취급하는 사업장간에도 근로자의 호흡기관에 영향을 주는 호흡성 비율이 다를 수 있다. 한 압면 사업장의 공기중에 존재하는 호흡성 섬유의 비율은 72.9%로 대부분의 유리섬유 사업장이 결과와 비슷하였다. 세라믹 섬유 사업장의 호흡성 섬유의 비율은 94.2%로 가장 높은 값을

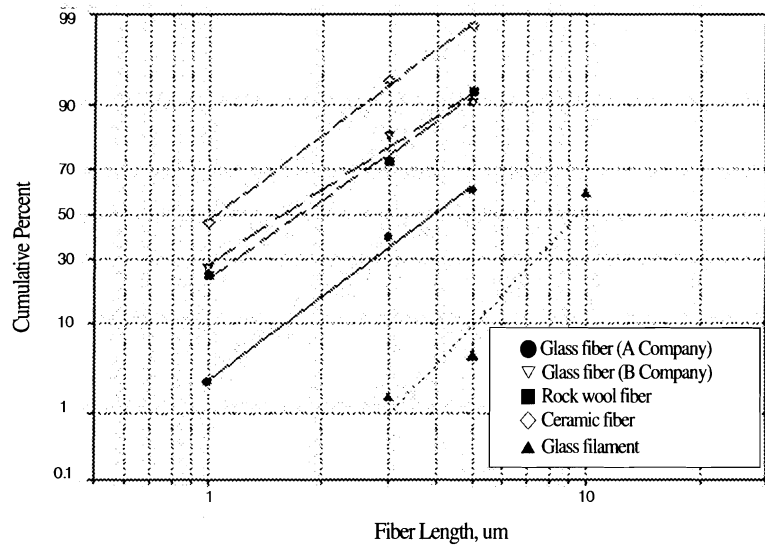


Fig. 3. Distribution of fibers by diameter and type of MMMFs.

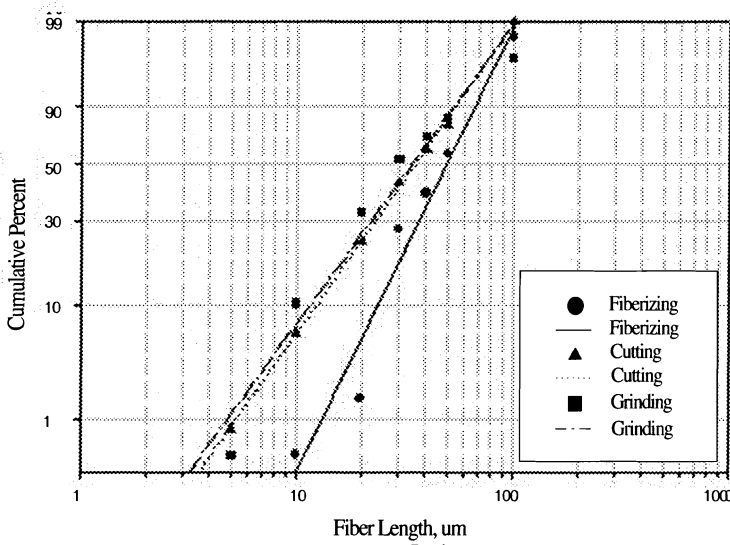


Fig. 4. Distributions of glass fibers by length and process.

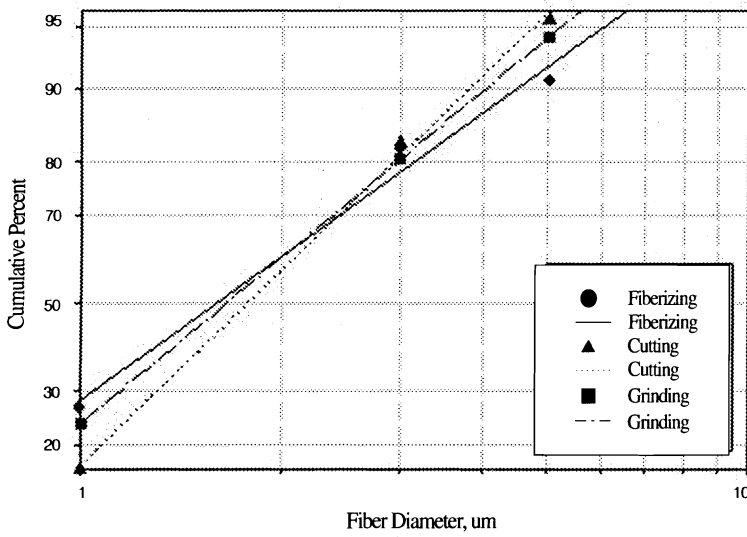


Fig. 5. Distribution of glass fibers by diameter and by process.

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.

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, 생산 공정 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 μm 보다 작은 크기의 분진을 호흡성 분진으로 분류하고 있으나 섬유의 경우 직경이 3 μm 이하의 분진을 호흡성으로 분류한다(WHO, 1981).

작업환경중에 존재하는 섬유의 크기 특성, 즉 호흡성 섬유 비율의 차

이는 근로자의 섬유 노출량을 결정하는데 있어 중요한 요인으로 작용한다. 작업환경의 총 섬유농도가 높고 하더라도 호흡성 섬유의 비율이 적은 경우, 근로자의 노출평가는 호흡성 섬유에 근거하기 때문에 근로자의 실제 섬유노출농도는 낮게 나타날 것이다.

그러나 세라믹 섬유의 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 노출평가시 섬유의 크기 특성을 파악하는 것이 필요하다.

4. 제품의 명목 직경과 공기중 섬유 직경 비교

Table 3은 제품의 섬유 직경과 공기시료중 섬유의 직경을 비교한 결과로 두 값 간에는 차이가 있는 것으로 나타났다. 공기중에 발생된 섬유의 직경은 제품을 구성하고 있는 섬유의 직경보다 작다는 것을 알 수 있다. 제품 중에 존재하는 비교적 작은 크기를 가진 섬유가 공기중에 잘 발생되므로 공기중에 존재하는 섬유는 비교적 크기가 작은 분포를 형성하게 될 것이다. 또한 공기 중에는 발생된 큰 섬유는 빨리 침강되거나 작은 섬유는 오래동안 정체하기 때문에 초기의 섬유 크기 분포에 비해 작은 섬유의 비율이 높아지는 쪽으로 분포가 형성될 것으로 추정된다.

여러 연구자들이 인조섬유와 단일제품의 명목 직경(nominal diameter)과 공기중 섬유의 크기에 대해 발표하였다.

Jeffery(1990)는 유리면의 공기중 섬유의 직경은 평균 1.42 μm 이고 암면의 공기중 섬유의 직경은 2.3 μm 라고 하였으며, Konzen 등(1976)은 유리섬유 단일제품의 섬유 직경이 1-4 μm 라고

Table 3. Comparison of fiber diameters between in products and air samples

Type of fibers	Average diameter of fibers, μm	
	Product ^A	Airborne fiber ^B
Glass fiber	4.5-6.5	1.4-4
Rock wool fiber	4-7	1.6
Ceramic fiber	2.5-3.5	1.05

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

보고하였다. Kojola과 Moran(1992)은 일반적인 유리섬유의 명목 직경은 2-9 μm 라고 발표하였고 Cherri 등(1986)은 유리면 공장에서의 섬유직경의 중위값은 0.3-2.5 μm 라고 하였다. 이 연구자들의 결과는 본 연구결과와 유사하였다.

Esmen 등(1979)은 생산되는 유리섬유의 직경이 큰 군과 (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(1984)은 유리섬유제조업의 4개 공정에서 조사한 섬유직경의 중위값은 0.4-0.7 μm 로 작았다고 발표하였다.

Christensen 등(1993)은 여러 종류의 단열재를 생산하는 공장에서 섬유의 직경은 유리섬유 단열재 1-8 μm , 암면 및 슬래그울 2-5 μm 그리고 세라믹 섬유 0.3-3.9 μm , 특수 섬유 평균 0.6 μm 이라고 발표하였다.

IV. 결 론

본 연구는 인조 광물섬유중 유리면, 암면, 장유리 및 세라믹 섬유를 제조 및 가공하는 업체에서 발생된 공기중 섬유의 길이와 직경을 파악하

기 위해 실시하였으며 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 인조광물섬유 업체의 공기중 섬유길이는 섬유종류간 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 유리섬유(GM 60 μm 및 110 μm)가 가장 길었으며, 다음으로 긴 섬유 종류는 암면섬유(GM 47 μm) > 장유리 섬유(GM 35 μm) > 세라믹 섬유(GM 25 μm) 순이었다.

2. 섬유 직경 분포는 섬유 종류에 따라 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 다만, 한 유리섬유 업체의 직경분포(GM 1.4 μm)는 암면섬유 업체의 섬유 직경(GM 1.6 μm)과 유사한 분포를 보였다($p > 0.05$). 세라믹 섬유의 직경(GM 1.0 μm)은 전체 섬유종류중 가장 작은($p < 0.01$) 반면, 장유리섬유의 직경(GM 10 μm)은 가장 컸다($p < 0.001$).

3. 공기중 총섬유중 호흡성 섬유(<3 μm)의 섬유의 비율은 유리섬유 38.9-82.3%, 암면섬유 72.9%, 세라믹 섬유의 경우 94.2%, 장유리섬유의 1.6%였다. 공기중에 발생된 세라믹섬유는 대부분 호흡성 섬유에 해당되었고 장유리섬유는 호흡성 섬유가 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 국내 인조광물섬유 제조업체의 공기중 섬유 길이는 유리섬유가 가장 길었고 그 반대는 세라믹 섬유였다. 가장 작은 직경 분포를 보인 섬유 종류는 세라믹섬유였고 그 반대는 장유리섬유였다.

REFERENCES

- 백남원, 이영환. 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1991;1(2):144-153
- 신용철, 이광용, 박천재, 이나루, 정동인, 오세민. 유리섬유 단열재 제조업 근로자의 공기중 유리섬유 폭로 특성 및 평가방법에 관한 연구. 한국환경위생학회지 1996;22(2):43-57
- 신용철. 세라믹 섬유 제조 및 가공 공정에서 발생된 공기중 섬유의 농도 및 크기 분포. 한국환경위생학회지 2000;26 (4):21-28
- Bender JR, Konzen JL, Devit GE. Occupational Exposure Toxic Properties, and Work Practice Guidelines for Fiber Glass. Fairfax, VA, AIHA, 1991.
- Bunn III WB, Bender JR, Hesterberg TW, Chase JR, Konzen JL. Recent Study of Man-Made Vitreous Fibers. Journal of Occupational Medicine, 35 (2):101-113, 1993.
- Cherri J, Dodgson J, Groat S, Maclaren W. Environmental Surveys in the European Man-Made Mineral Fiber Production Industry. Scan. J. Work Environ. Health 1986;12(Supp. 1):18-25
- Christensen VR, Eastes WE, Hamilton RD, Struss AW. Fiber Diameter Distributions in Typical MMVF Wool Insulation Products. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1993;54(5):232-238
- Esmen NA, Corn M, Hammand YY. Summary of Measurements of Employee Exposure to Airborne Dust and Fiber in Sixteen Facilities Producing Man-Made Mineral Fibers. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1979;40:108-117

- 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.
- International Labor Organization (ILO). 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.
- Jaffery TSAM. Levels of Airborne Man-Made Mineral Fibres in U.K. Dwellings. I-Fibre Levels During and After Installation of Insulation. Atmospheric Environment 1990;24A(1):133-141
- Konzen JL. 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.
- Kojola WH and Moran JB. Exposure Limits for Man-Made Mineral Fibers. Position of the Building and Construction Trades Department, AFL-CIO. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1992;7(1):724-733
- Lippman M: Man-Made Mineral Fibers (MMMMF): Human Exposure and Health Risk Assessment. Toxicol. Ind. Health 1990;6(2):225-246
- 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.
- Reidiger G: Measurements of Mineral Fibers in the Industries Which Produce and Use MMMF. In Biological Effects of Man-Made Mineral Fibers: Proceedings of a WHO/IARC Conference. Vol. 1. Copenhagen, Denmark, World Health Organization. pp. 133-177, 1984.
- Smith DM, Ortiz LW, Archuleta RF, Johnson NF. Long-Term Health Effects in Hamsters and Rats Exposed Chronically to Man-Made Vitreous Fibres. Ann. Occup. Hyg. 1987;31:731-754
- Stanton MF, Layard M, Tegeris A. Carcinogenicity of Fibrous Glass: Pleural Response in the Rat in Relation to Fiber Dimension. J. Natl Cancer Inst. 1977;58: 587-603
- Wagner JC, Berry GB, Hill RJ. 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.
- World Health Organization (WHO /EURO). Technical Committee for Monitoring and Evaluating Airborne MMMF: Reference Methods for Measuring Airborne Man-Made Mineral Fibers (MMMMF). "NIOSH Research Report, WHO, Copenhagen, 1981.
- World Health Organization(WHO). International Programme on Chemical Safety: Environmental Health Criteria 77: Man-Made Mineral Fibers. WHO, Geneva, Switzerland, 1988.