

인조광물섬유 제품 제조 및 취급 근로자의 공기중 섬유 노출 평가 및 노동부 노출기준 고찰

신용철* · 이광용**

인제대학교 보건안전공학과 · **한국산업안전공단 인천지도원

Workers' Exposure to Airborne Fibers in the Man-made Mineral Fibers Producing and Using Industries

Yong Chul Shin* · Gwang Yong Yi**

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

In this study, occupational exposures to man-made mineral fibers (MMMFs) including glass wool, rock wool, and continuous glass filament fibers were determined and evaluated on the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Value (TLV). A total of 171 personal samples collected from 4 glass wool fiber, 2 rock wool fibers, 4 continuous filament glass fiber products manufacturing and a glass fiber and rock wool insulations using industries, and determined respirable fibers concentrations using the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Method 7400, "B counting rule. The fiber concentrations of samples from workers installing thermal insulations in a MMMF using industry showed the highest value: geometric mean (GM) = 0.73 f/cc and maximum = 2.9

f/cc, 70% of them were above the TLV, 1 f/cc. Workers' exposure level (GM= 0.032 f/cc) in the rock wool manufacturing industries was significantly higher than those of glass wool (GM=0.012 f/cc) and continuous filament glass fibers (GM=0.010 f/cc) manufacturing industries (p<0.01). No samples were more than the TLV in the MMMF manufacturing industries. There was a significant difference among companies in airborne fiber levels.

Key Words : man-made mineral fibers, synthetic vitreous fibers, glass wool, rock wool, continuous filament, respirable fibers

I. 서론

인조광물섬유 (man-made mineral fibers, synthetic vitreous fibers, MMMF) 는 유리면섬유 (glass wool fibers), 장유

리섬유 (continuous filament glass fibers), 암면섬유 (rock wool fibers), 내화성 세라믹섬유 (refractory ceramic fibers, 슬래그울 (slag wool fibers) 등이 대표적인 종류로 이들은 산업이나 생활에서

다양한 용도로 사용되고 있다(WHO, 1988).

가장 일반적으로 알려진 MMMF 의 건강 영향은 자극(irritation) 작용이며, 섬유에 노출되었을 때 나타나는 일반적인 증상은 가려움증이다. 또한 섬유 노출에 의해 피부 창상이 발생할 수 있으며 작은 흥반이 수반되거나 노출이 중단되면 사라지는 일시적 증

접수일 : 2005년 10월 13일, 채택일 : 2005년 12월 15일
*교신저자: 신용철 (경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과)
Tel : 055-320-3676, Fax : 055-325-2471, E-mail : ycshin@inje.ac.kr

많은 동물실험 연구에서 유리 섬유와 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(IARC, 1988). National Toxicology Program(NTP)는 유리섬유를 “reasonably anticipate to be a carcinogen”으로 분류하였다(NTP, 1994). 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(IARC, 1988).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)(2005)에서는 유리면섬유, 암면섬유, 슬래그울섬유 및 특수목적 유리섬유는 동물 발암물질(confirmed animal carcinogen, A3), 그리고 장유리섬유는 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.

ACGIH(2005)에서는 세라믹섬유의 Threshold Limit Values(TLVs)를 0.2 f/cc로 정하고 있고 유리면섬유, 암면섬유, 슬래그울섬유 및 특수목적 유리섬유, 장유리섬유 모두 TLVs를 1 f/cc로 정하고 있다. 장유리섬유에 대해서는 섬유개수 농도와 함께 중량 농도로 5 mg/m³을 설정하고 있다. 세라믹섬유의 TLV는 폐섬유화(lung fibrosis) 및 발암성에 근거하여, 유리면섬유 암면섬유, 슬래그울섬유의 TLV는 자극 및 폐영향에 근거하여, 그리고 장유리섬유의 경우 자극영향에 근거하여 설정되었다. 그러나 우리나라 노동부 노출기준(노동부, 2002)에는 “유리섬유 분진(Fibrous

glass dust)”과 “광물털섬유(mineral wool fiber)” 모두 10 mg/m³으로 설정되어 있으며 세라믹섬유 등 다른 인조광물섬유에 대한 기준은 없다.

국내에서는 인조광물섬유의 유해성에 대한 인식이 부족하고 관련 산업 종사자의 섬유노출농도를 평가한 자료가 부족한 실정이다. 다만, 신용철 등(1996)이 일부 유리섬유 보온재 제조업체와 신용철(2000)이 세라믹 단열재 제조업체를 대상으로 근로자의 섬유노출 실태를 발표한 바 있으나, 암면섬유 제품을 제조업 근로자나 이들 제품을 사용하는 근로자의 노출을 자세하게 평가한 연구 논문은 없다.

따라서 본 연구는 암면 등 인조광물섬유 제품을 생산하는 사업체와 암면 및 유리면섬유 보온재를 설치하는 근로자의 노출을 사업장, 공정 또는 직무별로 파악하여 향후 이 물질에 의한 건강영향을 규명하기 위한 연구를 수행하거나 작업환경개선이나 근로자의 노출관리를 위한 기초자료를 확보하고자 실시하였다.

II. 방법

1. 연구대상

인조광물종류별 조사 대상업체 수와 주요 생산제품은 Table 1에서 보는 바와 같다. 유리섬유 제품을 생산하는 사업장은 4개소로 1개 사업장(SW)은 유리섬유를 제조하지 않고 구매한 유리면을 가공하여 자동차소음기(muffler), 본네트(bonnet) 등을 생산하였고 다른 사업장들(KS, BK, HA)은 섬유와 면을 생산하는 것은 물론 이를 가공하여 파이프보온재, 매트, 보온재 등을 생산하였다. 암면 섬유 제품을 생산하는 업체는 2개소(KE, BN)였고 이들 업체에서는 암면, 암면보드, 펠트, 바닥 타일 등의 제품을 생산하고 있었다. 장유리섬

유 제품을 생산하거나 취급하는 사업장(HC, HF, OH, WO)은 4개소로 장유리섬유와 이를 이용한 자동차브레이크 라이닝 강화 섬유, 매트, 기관 등을 생산하고 있었다. 유리섬유 및 암면 단열재를 취급하는 사업장은 모 조선조로 선실의 벽면에 단열재를 설치하고 있었다.

유리면 또는 암면 제품은 섬유형성공정에 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, 파이프 보온재(pipe cover)로 생산된다. 대부분의 제조 공정은 자동화가 많이 되어 있었으며 근로자는 조정실에서 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 작업 등에 종사하고 있었다.

유리면 및 암면 제조 공정중 섬유형성 설비에서 섬유가 방출되는 부위에서는 섬유분진이 다량 발생되고 있었다. 그리고 경화된 제품을 회전 톱이나, 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. 장유리섬유 제품의 주요 공정 흐름은 섬유형성 또는 방적(spinning), 소면(carding), 합사(twisting), 직조(weaving), 검사(ispection), 코팅(coating), 포장(packaging) 순이다.

2. 공기중 섬유 농도 측정 및 평가

공기중 섬유의 섬유시료채취 및

분석은 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) Method 7400(NIOSH, 1994)에 따라 실시하였다. 직경이 37 mm인 cellulose ester membrane(MCE) 여과지(0.8 μm, Millipore AA Type, Millipore Co.)에 1.5 - 2.5 L/분의 유량으로 근로자의 호흡위치에서 개인시료 및 발생원에서 50 cm 이내에서 지역시료를 채취하였다. 공기중 섬유를 채취한 시료여과지의 일부를 잘라 acetone/triacetin으로 투명화시킨 후, Walton-Beckette가 삽입된 위상차 현미경으로(Carl Zeiss, Germany)400 배의 배율에서 섬유 수를 세었다. 시료중 섬유 계수는 B 계수규칙(B counting rule)을 이용하여 측정하였다. B 규칙에 따라 길이가 5 μm를 초과하고 길이 대 직경의 비가 5:1 이상인 섬유중에서 직경이 3 μm 이하인 섬유(호흡성 섬유, respirable fibers)만을 계수하여 공기중 섬유농도(8시간 시간가중 평균치)를 산출하였다.

MMMf 종류별, 업체별 및 공정별 공기중 총분진 농도 및 섬유 농도값을 대수변환하여 Shapiro-Wilk W 통계량을 이용하여 정규분포를 검정하

였다. 대수 정규를 하는 자료의 경우 기하평균(geometric mean, GM)과 대수표준편차(geometric standard deviation, GSD)를 구하였다. 각 요인에 따른 공기중 섬유농도 차이는 ANOVA 또는 t-test를 이용하여 유의수준 0.05에서 검정하였다.

각 시료의 섬유 농도는 ACGIH TLV(ACGIH, 2005)와 비교하여 평가하였다. 유리면섬유, 암면섬유, 장유리섬유의 TLV는 모두 1 f/cc이다.

III. 결과 및 고찰

1. 유리섬유 제조·가공산업의 공기중 섬유 농도

가. 사업장 및 제품별 섬유 농도
Table 2에는 유리섬유 제품 제조 사업장 근로자의 공기중 섬유 노출 농도를 보여주고 있다. 유리섬유 사업장 전체 시료의 섬유 농도는 GM 0.012 f/cc로 TLV 1 f/cc의 1/100 수준이었고, 최고치는 0.173 f/cc로 TLV를 초과하는 시료는 없었다.

근로자의 섬유 노출농도는 사업장 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.01). 한 사업장(BK)의

섬유 농도는 GM 0.037 f/cc 및 최고 0.173 f/cc로 다른 3개 사업장의 값보다 유의하게 높았다(p<0.01). BK 업체를 제외한 다른 세 업체의 GM은 KS 0.009 f/cc, HA 0.008 f/cc, SW 0.012 f/cc로 이들 업체의 평균농도는 유의한 차이가 없었다. KS 및 HA 사업장은 다른 제품을 생산하고 있었고 각 제품에 따른 공기중 섬유농도는 유의한 차이가 없었다. 파이프보온재는 3개 업체에서 생산하고 있었고 세 사업장의 파이프보온재 생산 공정의 농도는 비교한 결과 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

가장 높은 농도를 보인 BK 사업장은 국소배기시설이 형식적으로 설치되어 있어 섬유분진을 제거하는 효과가 거의 없어 외부로 방출된 분진이 설비에 다량 퇴적되어 있었다. 이 사업장은 환기시설의 성능이 미흡할 뿐 만 아니라 협소한 작업공간에 4-5 대의 생산설비가 동시에 가동되기 때문에 공기중에 방출되는 분진의 발생량이 많아 공기중 섬유분진 농도가 비교적 높았던 것으로 판단된다.

섬유농도가 낮은 두 개 업체(KS,

Table 1. MMMFs, factories and process surveyed

| Type of MMMFs and industries | Type of Processes (Number of facilities) | Company |
|---|--|--------------------------------------|
| Glass wool fiber and its products manufacture | <ul style="list-style-type: none"> · Wool/blanket manufacturing (2) · Board manufacturing (2) · Pipe cover manufacturing (3) · Muffler manufacturing (1) | KS, HA KS, HA KS, BK, HA SW |
| Rock wool fiber and its products manufacture | <ul style="list-style-type: none"> · Blanket manufacturing (2) · Board manufacturing (2) | KE, BN KE, BN |
| Continous filament glass fiber and its products manufacture | <ul style="list-style-type: none"> · Glass filament manufacturing (1) · Mat (1) · Electronic base, bow (1) · Brake lining enforcer (1) | HC HF OH WO |
| Installation of Glass wool and rock wool insulations | <ul style="list-style-type: none"> · Installation of glass wool insulation (1) · Installation of rock wool insulation (1) | DS DS |

HA)는 다른 업체에 비해 국소배기 등 작업환경관리 상태가 양호하여 섬유 농도가 낮았던 것으로 판단된다. 특히 KS 사업장은 파이프보온재 제조 라인의 성형공정은 다른 사업장과 다른 연속성형공법을 이용하고 있었다. 즉, 제품의 마무리를 위한 가장자리 부분을 절단하는 공정이 없기 때문에 절단에 의한 분진발생을 방지할 수 있었다. 또한 이 사업장의 블랭킷(매트) 생산 공정에서는 폭 절단에 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 총섬유중 호흡성섬유의 비율이 적으며 따라서 호흡성 섬유의 농도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

대상 사업장은 규모가 비교적 큰 사업장으로 원료로부터 섬유를 제조

하는 공정과 생산된 섬유를 사용하여 파이프 카바, 보드 등의 단열재 제품도 생산하고 있었다. 그러나 동일한 사업장내 생산제품별 섬유농도는 비슷한 수준이었다.

업체를 구분하지 않고 생산 제품별로 본 근로자의 섬유노출 농도를 살펴보면, 유리면·블랭킷 0.008 f/cc, 보드 0.008 f/cc, 파이프보온재 0.016 f/cc 및 마후라 방음재 0.012 f/cc로 제품별로 농도는 유의한 차이가 없었다(Table not shown). 유리섬유 산업에서의 공기중 섬유농도는 제품 종류에 따른 차이가 없었고 사업장에 따른 차이가 있었다.

나. 공정 및 직무별 섬유 농도

Table 3은 공정 및 직무별로 근로자의 섬유 노출 농도를 보여주고 있다. 근로자의 호흡위치에서의 농도는 유리면 제조라인에서 섬유화설비(fiberizing machine) 또는 용해로를 운전하거나 점검(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 보온재 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(feeding)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 섬유형 성설비와 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/cc였다.

2. 암면 제조·가공산업의 공기중 섬유 농도

가. 사업장 및 제품별 농도

Table 4는 두 개 암면 섬유 제품 제조 사업장의 근로자 호흡위치에서 측정된 호흡성 섬유 농도이다. 전체

Table 2. Airborne fiber concentrations by factories in the glass wool fiber producing and processing industries

| Factory | Product | Fiber conc. | | | p value |
|---------|-----------------|-------------|--|--------------|---------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc | |
| BK | Pipe cover | 10 | 0.037 (2.0)** | 0.021-0.173 | p<0.01 |
| KS | Pipe cover | 12 | 0.010 (1.3) | 0.007-0.016 | |
| | Board | 5 | 0.008 (1.3) | 0.005-0.009 | |
| | Subtotal | 17 | 0.009 (1.4) | 0.005-0.016 | |
| HA | Pipe cover | 10 | 0.009 (3.1) | <0.001-0.068 | |
| | Wool and fibers | 5 | 0.008(2.0) | 0.002-0.014 | |
| | Subtotal | 17 | 0.008 (2.7) | < 0.00-0.068 | |
| SW | Muffler, bonnet | 14 | 0.012 (2.3) | < 0.00-0.048 | |
| Total | | 56 | 0.012 (2.4) | < 0.00-0.173 | |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation; **p<0.01

시료의 섬유 농도는 GM 0.032 f/cc, 범위 <0.001 - 0.119 f/cc로 TLV를 초과하는 시료는 한 건도 없었다. 두 사업장 섬유농도는 각각 0.054 f/cc 및 0.023 f/cc로 두 업체의 평균 섬유 농도는 차이가 있었다(p<0.05). 그러나 동일 사업장내 생산되는 제품에 따른 섬유 농도는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

업체에 상관없이 섬유농도를 생산되는 제품에 따라 비교한 결과, 압

면(loose wool) 생산라인에서 개인시료의 농도는 각각 0.048 f/cc로 가장 높은 값을 보이나(Table not shown) 다른 제품에서의 농도와 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 유리섬유와 마찬가지로 압면섬유 농도는 제품에 따른 차이는 없었으나(p>0.05) 사업장에 따른 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

나. 공정 및 직무별 농도

Table 5는 압면 및 제품 제조 사업장의 공정 또는 직무별로 본 공기중 호흡성 섬유 농도를 나타낸 것이다. 압면 제조 라인에서는 생산된 압면을 포장하는 공정 (wool packaging & sweeping)의 경우 섬유 농도는 0.46 f/cc로 다른 공정보다 높았다. 천장 흡음재 제조 라인에서는 건조 공정 (drying) (0.11 f/cc), 보드제조 라인에서는 생산된 제품을 검사(inspection)하는 작업자의 노출농도(0.036 f/cc)

Table 3. Airborne fiber concentrations by job in the glass wool fiber producing and processing industries

| Production line | Job or Process | Fiber conc. | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------|--|-------------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc |
| Wool | Fiber forming & furnace operation | 3 | 0.013(4.4) | 0.002-0.032 |
| | Wool packing | 4 | 0.011(1.3) | 0.007-0.014 |
| Pipe cover | Glass wool loading | 6 | 0.011(1.4) | 0.007-0.016 |
| | Packing and inspection | 3 | 0.007(1.4) | 0.005-0.009 |
| | Packing | 13 | 0.019(2.4) | 0.007-0.173 |
| | Machine maintenance | 4 | 0.012(4.4) | 0.004-0.096 |
| | Processing and grinding | 2 | 0.062(1.1) | 0.057-0.068 |
| Board | Fiber forming and furnace operation | 1 | 0.005 | - |
| | Packing | 4 | 0.009(1.1) | 0.008-0.009 |
| Muffler | Molding | 9 | 0.011(2.2) | 0.002-0.030 |
| | Cutting | 5 | 0.015(2.4) | 0.006-0.048 |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

Table 4. Airborne fiber concentrations by company in the rock wool fiber

| Factory | Product | Fiber conc. | | | p value |
|---------|-----------------|-------------|--|---------------|---------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc | |
| BN | Board | 6 | 0.031 (2.3) | 0.009-0.082 | p<0.05 |
| | Wool and fibers | 10 | 0.076 (3.6) | 0.010-0.709 | |
| | Subtotal | 16 | 0.054 (3.3) | 0.009-0.709 | |
| KE | Board | 8 | 0.014 (3.3) | < 0.001-0.041 | |
| | Wool | 3 | 0.011 (1.4) | 0.008-0.015 | |
| | Ceiling tile | 15 | 0.035 (2.0) | 0.012-0.119 | |
| | Subtotal | 26 | 0.023 (2.7) | < 0.001-0.119 | |
| Total | | 42 | 0.032 (3.1) | < 0.001-0.119 | |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

가 가장 높았다. 보드제조라인에서는 포장공정으로 가는 컨베이어 근처에 위치하고 있었는데, 제품이 자동으로 컨베이어 옮기는 과정에서 발생하는 분진에 근로자가 노출되고 있었다.

3. 장유리섬유 제조 · 가공산업의 공기중 섬유 농도

가. 사업장 및 제품별 섬유 농도
장유리섬유 제조 4개 사업장의 근로자의 섬유 노출농도는 Table 6과 같다. 각 사업장의 평균 섬유 농도는

0.008–0.025 f/cc 이었고 전체 사업장의 평균 농도는 0.010 f/cc 이었다. 전체 시료 중 최고치는 0.075 f/cc 로 TLV(1 f/cc)를 초과하는 시료는 없었다. 4개 사업장의 섬유 농도는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로

Table 5. Airborne fiber concentrations by job in the rock wool fiber producing and processing industries

| Production Line | Process or Job | Fiber Conc. | | |
|------------------|-----------------------------------|-------------|--|-------------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc |
| Wool | Fiber forming & furnace operation | 5 | 0.025 (4.3) | 0.008–0.30 |
| | Machine maintenance | 2 | 0.021 (2.8) | 0.010–0.045 |
| | Wool packaging | 2 | 0.055 (1.5) | 0.042–0.071 |
| | Packaging & sweeping | 2 | 0.46 (1.9) | 0.30–0.709 |
| | Piling | 2 | 0.054 (1.3) | 0.044–0.066 |
| | Wool lading | | | |
| Ceiling board | Wool feeding | 2 | 0.059 (1.5) | 0.044–0.079 |
| | Mixing | 3 | 0.031 (1.4) | 0.025–0.044 |
| | Molding | 1 | | 0.016 |
| | Drying | 2 | 0.11 (1.1) | 0.101–0.119 |
| | Cutting | 2 | 0.021 (1.9) | 0.032–0.013 |
| | Inspection | 2 | 0.036 (2.2) | 0.020–0.062 |
| | Packaging | 2 | 0.017 (1.6) | 0.012–0.023 |
| | Forklift driver | | | 0.016 |
| Insulation board | Fiber forming & furnace operation | 2 | 0.026 (2.3) | 0.015–0.029 |
| | Machine maintenance | 6 | 0.023 (3.5) | 0.005–0.082 |
| | Inspection | 2 | 0.036 (2.0) | 0.029–0.040 |
| | Packaging and piling | 3 | 0.012 (5.4) | 0.002–0.043 |
| | Forklift driver | 1 | | 0.009 |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

Table 6. Airborne fiber concentrations by company in the continuous filament glass fibers industries

| Factory* | Product | Fiber Conc. | | | p value |
|----------|----------------------------------|-------------|--|---------------|----------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc | |
| HC | Electronic base | 15 | 0.008 (2.4) | 0.002–0.024 | p < 0.05 |
| HF | Filaments | 17 | 0.006 (3.6) | < 0.001–0.039 | |
| OH | Mat | 12 | 0.011(3.2) | 0.002–0.075 | |
| WO | Brake lining enforcing materials | 12 | 0.025 (2.4) | 0.003–0.069 | |
| Total | | 56 | 0.010 (3.3) | < 0.001–0.075 | |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

나타났다($p < 0.05$). WO 사업장의 섬유 농도는 0.025 f/cc로 낮은 농도의 두 사업장(0.006-0.008 f/cc)과는 유의한 차이가 있었으나($p < 0.01$), 두 번째로 높은 농도를 보인 사업장과는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

나. 공정 및 직무별 섬유 농도

Table 7에는 공정별 섬유 농도를 보여주고 있다. 장유리섬유 또는 블랭킷 제조업체의 공정별 섬유농도는 로빙포장(GM 0.035 f/cc), 직포

(weaving)(0.029 f/cc), 조방(drawing)(0.014 f/cc), 파쇄(0.032 f/cc) 공정에서 비교적 높았다. 자동차 브레이크 라이닝 강화섬유의 경우 연사(twisting), 소면(carding), 정방(spinning), 배합 순으로 농도가 높은 경향을 보이고 있었다.

4. 보온재 설치 산업의 공기중 섬유 농도

Table 8은 조선업체에서 선실 벽에 단열재인 암면 및 유리면 보드를 시

공하는 작업과 동종 업체에서 사상 작업에서 측정된 공기중 섬유 농도이다. 동일한 작업공간에서 유리면을 시공하는 경우 개인시료 및 지역시료의 평균 섬유 농도는 각각 0.23 f/cc 및 0.19 f/cc였고, 암면을 시공하는 경우 각각 1.38 f/cc 및 0.56 f/cc로 단열재 종류에 따라 공기중 섬유농도는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 유리섬유 및 암면섬유의 TLV를 초과하는 비율은 암면 단열재를 설치하는 근로자의 약 73%이었으나 유

Table 7. Airborne fiber concentrations by product in the continuous filament glass fibers industries

| Production Line | Job | Fiber Conc. | | |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------|--|-------------|
| | | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc |
| Wool and basket | Fiber forming | 3 | 0.001 (1.1) | 0.001-0.002 |
| | Sizing | 4 | 0.004 (1.9) | 0.002-0.010 |
| | Drawing | 3 | 0.014 (2.6) | 0.005-0.030 |
| | Packaging of roving | 3 | 0.035 (1.1) | 0.032-0.039 |
| | Twisting | 4 | 0.003 (2.6) | 0.001-0.007 |
| | Braiding | 4 | 0.005 (1.9) | 0.002-0.009 |
| | Weaving | 5 | 0.029 (2.1) | 0.013-0.075 |
| | Grinding/recycling | 1 | - | 0.032 |
| | Chopping | 2 | 0.004 (1.5) | 0.003-0.006 |
| Enforcing fiber of brake lining | Mixing | 4 | 0.049 (1.3) | 0.040-0.069 |
| | Carding | 2 | 0.023 (1.2) | 0.021-0.026 |
| | Spinning | 3 | 0.027 (1.9) | 0.013-0.045 |
| | Twisting | 3 | 0.010 (3.6) | 0.003-0.033 |
| Epoxy resin | Cutting, and grinding | 6 | 0.012 (2.1) | 0.005-0.024 |
| Laminate | Laminate coating and inspection | 5 | 0.004 (2.1) | 0.002-0.013 |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

Table 8. Airborne fiber concentrations during installation of insulations

| Operation | Fiber Conc. | | | | No. of samples exceeding the TLV, 1 f/cc |
|-------------------------------------|-------------|--|-------------|------------|--|
| | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc | p value | |
| Insulation on cabin with glass wool | 6 | 0.029 (1.9) | 0.071-0.44 | $p < 0.05$ | 0 |
| Insulation on cabin with rock wool | 11 | 1.38 (1.58) | 0.70-2.9 | | 8 (72.7%) |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation

리면 단열재를 시공하는 작업에서는 TLV를 초과하는 시료는 없었다. 단열재 설치 작업에서는 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 압면은 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.

5. TLV 초과 비 비교

Table 9는 업종별 공기중 섬유 농도를 비교한 자료를 보여주고 있다. 여기에 제시된 5가지 업종 간 섬유 농도 차이를 살펴본 결과 업종 간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 보온

재를 설치하는 작업에서의 농도는 GM 0.73 f/cc, 최고 2.9 f/cc로 다른 업종에서의 농도보다 훨씬 높았다. 압면 제품 제조업의 농도는 GM 0.032 f/cc로 다른 두 섬유 제조업, 즉 유리면(GM 0.012 f/cc), 장유리섬유(GM 0.010 f/cc) 보다 유의하게 높았다($p < 0.01$). 유리면 및 장유리섬유 제품 제조업종의 섬유농도는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 세라믹 섬유유제품 제조업의 공기중 섬유 농도는 평균 0.26 f/cc(신용철, 2000)로 유리면(평균 0.012 f/cc), 압면(평균 0.032 f/cc) 및 장유리 섬유?제품 제조업(평균 0.010 f/cc)의 농도보다 높았다.

유리섬유, 압면, 장유리섬유 제조업의 섬유 농도가 세라믹 섬유에 제조업에 비해 낮은 것은 유리섬유, 압면, 장유리섬유의 경우 섬유의 결합력을 향상시키기 위해 결합제를 섬유 표면에 처리하나 세라믹 섬유는 결합제로 처리하지 않아 섬유가 공기중으로 잘 비산되고 또한 세라믹섬유의 두께가 다른 섬유에 비해 작기 때문인 것으로 판단된다.

동종의 인조광물섬유 또는 제품을 생산하는 업체들 중에서도 근로자의 섬유 노출농도는 차이가 있는 경우가 있었다($p < 0.05$). 이들 업체에서 근로자가 담당하는 공정 또는 직무

에 따라 노출되는 섬유 및 분진 농도는 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 동일한 인조광물 섬유라 하더라도 사업장간에 농도분포 차이가 나는 이유는 작업환경관리 상태, 공정 특성, 그리고 섬유의 크기 특성 등의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 특히 압면과 유리면 단열재를 시공하는 업체의 근로자는 이들 섬유 제품을 제조하는 업체보다 훨씬 높은 섬유 노출수준을 나타냈다.

Table 9에서 보듯이 국내 인조광물 섬유 업종별 평균 노출농도(GM)를 그의 TLV로 나누어 구한 비(기준 초과 비)는 유리면섬유 제품 및 장유리섬유 제조(약 0.01) < 압면섬유 제품 제조(약 0.03) < 압면 및 유리면 보온재 설치산업(약 0.7) < 세라믹 섬유제품 제조 및 가공(약 1.3) 순으로 높았다.

유해물질의 건강장해 위험을 결정하는 주요한 요인은 유해물질의 독성, 노출량, 개인의 감수성으로 알려져 있다. 섬유상물질의 위해성을 결정짓는 요인으로는 그 물질 자체가 가지고 있는 발암성과 같은 독성이나 잔류성 외에 직경과 길이 분포 그리고 노출농도도 중요하다.

섬유의 길이와 두께는 위해성과 관련이 있으며 섬유의 직경은 호흡기를 통해 폐포까지 도달하는 실제

Table 9. Comparison of airborne fiber concentrations among industrial types

| Type of Industries | N | GM ^a , f/cc (GSD ^b) | Range, f/cc | p value | GM/TLV ^c |
|---|----|--|-------------|----------|---------------------|
| Production of continuous filament glass fibers and the related products | 56 | 0.010 (3.3) | 0.001-0.075 | p < 0.01 | 0.010 |
| Production of glass wool and insulation | 56 | 0.012 (2.4) | 0.002-0.17 | | 0.012 |
| Production of rock wool and insulation | 42 | 0.032 (3.1) | 0.002-0.71 | | 0.032 |
| Installation of glass and rock wool insulations at a shipyard | 17 | 0.73 (2.8) | 0.071-2.9 | | 0.73 |
| Production of ceramic fiber, blanket, board and module ^e | 35 | 0.26 (2.5) | 0.16-0.41 | | 1.3 |

^aGM=geometric mean; ^bGSD=geometric standard deviation; ^cCited from other study(신용철, 2000); ^eTLV=Threshold Limit Values

노출량을 결정하는 요인이다. 총섬유수는 동일하더라도 직경이 작아 폐포에 도달할 수 있는 호흡성 섬유의 비율이 높은 경우 인체에 대한 유해성은 크다고 볼 수 있다. 이러한 크기 특성을 근로자의 섬유노출 농도를 호흡성 섬유로 측정하는 경우 이와 같은 요인에 의한 영향이 반영된다. 그러므로 섬유노출에 따른 위해도는 섬유자체의 독성, 지속성, 섬유크기특성, 노출량(노출농도 및 노출시간) 등의 인자에 의해 결정되므로 이러한 인자들을 고려하여 위해도를 평가하여야 한다.

인조광물중 세라믹 섬유는 다른 인조광물섬유에 비해 발암성에 대한 증거가 더 충분하고 체내 잔류성도 강하다. 따라서 ACGIH(2005)에서는 세라믹섬유의 독성은 석면(TLV, 0.1 f/cc)과 유리섬유나 암면 등 다른 MMMF(TLV, 1 f/cc)의 사이라 보고 있고 TLV를 0.2 f/cc로 설정하였다. 또한 직경(평균 1.0 μm)은 가장 작고 또한 공기중 섬유농도(신용철, 2000)가 다른 섬유 제품제조업종에서의 농도보다 훨씬 높기 때문에 건강위험도가 가장 크다고 볼 수 있다.

단열재를 시공하는 근로자는 공기중에 다량의 섬유가 발생하고 작업공간도 협소하고 밀폐된 조건이기 때문에 섬유 농도가 높게 나타난 것으로 추정된다. 장유리섬유 제조 및 가공 업종에서 발생된 공기중 섬유는 다른 종류의 섬유에 비해 직경이 비교적 크고 섬유노출 농도가 낮기 때문에 가장 위험도가 낮은 업종이다.

Jacob 등(1993)은 유리섬유 제조공장의 공기중 평균 총 유리섬유(total fiber) 농도는 0.002-0.14 f/cc이고 이중 호흡성 유리섬유 농도는 0.001-0.07 f/cc로 보고하였는데 본 연구 결과와 유사하였다. Corn Sansone(1974)은 대상 사업장 3개소 중 2개 공장의 평균 호흡성 섬유 농도는 0.006-

0.07 f/cc이고 다른 한 공장은 0.21-1.41 f/cc라고 보고하였다. Ottery 및 Chermi(1984)는 유리면 및 단열재를 생산하는 4개 사업장의 공정별 평균 호흡성 섬유농도는 0.003-0.03 f/cc로 보고하였다. TIMA(1990), Head 및 Wagg(1980)는 유리 섬유 제조업체의 평균 농도가 각각 0.11 f/cc 및 0.11 f/cc로 보고하였는데 본 연구 결과보다는 섬유농도가 비교적 높았다.

또한 TIMA(1990)는 광물 섬유를 제조 및 단열재 설치하는 업종에서의 사업장의 평균 농도는 각각 0.001-1.59 f/cc 및 1.0 f/cc, 세라믹 제조업 및 취급업의 평균 농도는 각각 0.65 f/cc 및 1.17 f/cc이라고 보고하였다.

유리면 또는 암면 단열재를 설치하거나 살포하는 작업자의 경우 비교적 높은 섬유 농도에 노출되는 것으로 보고되고 있다.

Head 및 Wagg(1980)는 유리섬유 단열재를 설치하는 작업에서의 공기중 노출농도는 평균 0.38-1.02 f/cc이라고 보고하였다. Lees 등(1993)은 주택 단열재인 유리면(fiber glass batt), 결합제 없는 유리섬유 단열제품, 살포용 암면(loose blowing rock wool)을 시공할 때 공기중 섬유농도는 각각 평균 <1.08 f/cc (8hr-TWA=0.3 f/cc), 7.67 f/cc (8hr-TWA=1.96 f/cc), 1.94 f/cc (8hr-TWA=0.97 f/cc)이라고 발표하였다.

Bender 등(1991)이 유리섬유 여러 연구자들이 발표한 연구결과를 고찰한 결과, 유리섬유 단열재를 시공하는 작업에서의 섬유 노출 농도는 대부분 0.1 f/cc 이하이지만 일부 연구자의 결과는 1 f/cc에 근접하는 수준이라고 하였다. 특히 밀폐 공간에서 유리면을 살포하는 작업(1-18 f/cc)과 동력 절단기로 절단하는 작업(0.2-4 f/cc)에서는 고농도의 섬유에 노출된다고 보고하였다.

전반적으로 세라믹섬유 제조·취

급, 미세 특수섬유 제조·취급, 및 단열재 시공업종의 근로자는 유리 섬유 제조업종의 근로자보다 높은 농도의 섬유에 노출되는 것으로 보고되었으며 이와 같은 사실은 본 연구 결과와 일치하였다.

6. 인조광물섬유에 대한 노출기준 고찰

우리나라 노동부를 비롯한 외국의 정부나 연구기관에서 규정하거나 권고하고 있는 인조광물섬유에 대한 노출기준은 Table 10과 같다.

노동부 노출기준(2002)에는 "유리 섬유분진"과 "광물섬유"만 포함되어 있으며 섬유농도는 없고 중량농도로 10 mg/m³으로 설정되어 있다. 세라믹섬유에 대한 노출기준은 따로 없으며 이들 섬유도 유리섬유와 동일하게 간주하고 있는 것으로 생각된다.

ACGIH에서는 1998년 이전에는 유리섬유에 대한 TLV를 총분진과 동일하게 설정하였으나 이후 섬유 농도로서 유리섬유의 TLV를 제정하고 다른 인조광물섬유의 TLV도 제정하였다. 유리면섬유 외에 암면섬유, 슬래그울섬유 및 특수목적섬유의 TLV는 자극작용 및 호흡기영향에 근거하여 모두 1 f/cc로 정하고 있다. 단, 장유리섬유의 경우 자극작용에 근거하여 섬유농도로서 1 f/cc 그리고 총분진 농도로서 5 mg/m³을 TLV로 정하고 있다. 그러나 ACGIH에서는 세라믹 섬유는 A2로 규정하고 TLV를 발암성, 폐섬유화증에 기초하여 0.2 f/cc로 정하였다(ACGIH, 2005).

미국 Occupational Safety and Health Administration(OSHA, 1992)에서는 1992년에 건설업에서의 인조섬유에 대한 Permissible Exposure Limit(PEL)를 제안하였다. 네덜란드의 경우 단열재 섬유(insulation fibers)와 slag wool은 1 f/cc, 유리면과 암면은 5 f/cc로 노출기준으로 설정하고 있으나, 다만 장

유리섬유는 비활성 분진으로 간주하고 있다. 스웨덴은 인조광물섬유에 대한 노출기준은 1 f/cc로, 그리고 NIOSH에서는 3 f/cc로 설정하고 있다(Smith et al, 1987). NIOSH(1988)에서는 세라믹섬유의 경우 미국 OSHA의 석면기준과 동일하게 관리를 하도록 주장한 바 있다.

유리섬유와 광물섬유는 피부 자극성이 강하고 호흡기에 영향을 주고 발암성이 의심되고 있기 때문에 현재와 같이 유리섬유 및 광물섬유의 노출기준을 총분진과 동일하게 10 mg/m³으로 설정하는 것은 타당하지 않다. 인조광물섬유를 불활성 또는 공해성 먼지로 간주하는 것은 타당하지 않다. 인조광물섬유의 노출은 총분진이 아니라 섬유농도에 근거하는 것이 타당하고 따라서 섬유농도

로서 노출기준을 설정하는 것이 적합하다. 세라믹 섬유 노출기준은 다른 종류보다 발암성에 대한 증거가 많이 있고 독성이 더 강한 점을 고려하여야 한다.

IV. 결론

인조광물섬유인 유리면섬유, 암면 섬유 및 장유리섬유를 제조 또는 그 제품을 제조하는 업체에서 종사하는 근로자와 보온재를 설치하는 근로자의 공기중 섬유 노출을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 업종별 섬유농도는 유리면 제품 (GM 0.012 f/cc, 범위 0.002-0.17 f/cc) 및 장유리섬유제품 제조업(GM 0.010 f/cc, 범위 0.001-0.075 f/cc) < 암면 제품 제조업(GM 0.032, 범위

0.002-0.71 f/cc) < 유리면보온재 및 암면 보온재 설치(GM 0.73 f/cc), 범위 0.071-2.9 f/cc) 순으로 높았으며 업종별로 농도는 유의한 차이가 있었다(p<0.01).

2. 동일사업장내 생산되는 제품에 따른 농도는 유의한 차이가 없었고, 유리면섬유, 암면섬유 및 장유리섬유 농도는 사업장에 따라 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 이것은 사업장에 따라 작업환경관리 상태, 생산공법, 생산량 등의 다르기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

3. 암면 및 유리섬유 단열재 시공 작업시 채취한 전체 시료중 약 70%가 TLV인 1 f/cc를 초과하였으나, 다른 유리섬유 산업에서는 1 f/cc를 초과하는 시료는 한건도 없었다. 유리면이나 암면 단열재를 시공하는 근

Table 10. Occupational exposure limits for man-made mineral fibers

| Agency/Organization | Fiber conc., f/cc | Dust conc., mg/m |
|---|--|-------------------------------|
| Ministry of Labor | | 10 (total) |
| OSHA | | |
| General Industry | — | 5 (respirable); 10 (total) |
| Construction | 1 (diameter<3 μm, aspect ratio>3) | 15 (total) |
| NIOSH | | |
| Respirable fibrous glass dust | 3 (diameter<3.5 μm, aspect ratio>10 μm) | 5 (total) |
| ACGIH | | |
| Continuous filaments | 1 | 5 (inhalable) |
| Slag wool | 1 | — |
| Glass and rock wool | 1 | — |
| Special purpose fibers | 1 | — |
| Refractory ceramic fibers | 0.2 | — |
| 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

로자는 인조광물섬유 관련 업종중 섬유노출이 현저하게 높고 TIV를 초과할 수 있기 때문에 이들에 대한 우선적인 노출 관리가 요망된다.

4. 인조광물섬유의 유해성은 섬유의 크기 특성과 개수농도와 관련성이 있으며 따라서 대부분의 선진외국이나 권위있는 기관에서는 이들의 노출기준을 섬유농도로 설정하고 있다. 그러나 우리나라 노출기준은 중량농도로 설정되어 있으므로 인조광물섬유에 대한 정확한 노출평가와 관리를 위해서는 노출기준을 섬유농도로서 설정하여야 할 것이다.

REFERENCES

- 노동부. 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제2002-8호, 노동부, 2002.
- 이광용, 박천재, 이나루, 정동인, 신용철, 오세민. 유리섬유 단열재 제조업 근로자의 공기중 유리섬유 노출 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
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1995-1996. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1998
- Bender JR, Konzen JL, Devit GE. Occupational Exposure Toxic Properties, and Work Practice Guidelines for Fiber Glass. Fairfax, VA, AIHA, 1991.
- 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.
- Com M and Sansone EB. Determination of Total Suspended Particulate Matter and Airborne Fiber Concentrations at Three Fibrous Glass Manufacturing Facilities. Environ. Res. 1974;8:37-52
- Head IWH and Wagg RM. A Survey of Occupational Exposure to Man-Made Mineral Fiber Dust. ann. Occup. Hyg. 1980;23:235-258
- Jacob TR, Hadley JG, Bender JR, Eastes W. Airborne Glass Fiber Concentrations During Manufacturing Operations Involving Glass Wool Insulation. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1993;54(6):320-326
- Lees PSJ, PN, McArthur BR, Miller ME, Rooney BC, Robbins CA and Com M. End User Exposure to Man-Made Vitreous Fibers: I. Installation of Residential Insulation Products. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1993;8(2), 1022-1030
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Docket Submission: Hearing on the Final Air contaminants Rule for General Industry, Doc. H-020, EX 8-47, 1988.
- National Toxicology Program(NTP). Seventh Annual Report on Carcinogens. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1994.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Method 7400: Fibers. In: NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, 1994.
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Preamble and Proposed Rule to Revised Air Contaminant Standards for Construction, Maritime and Agriculture. Fed. Reg. 57(114):26457, 26202, 26208, June 12, 1992.
- Ottery J, Cherri JW, Dodgson J, Harrison GE. 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.
- 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
- Thermal Insulation Manufacturing Association(TIMA). Health and Safety Aspects of Man-Made Vitreous Fibers. Submitted by TIMA in response to NIOSH's Request for Comments and Secondary Data Relevant to Occupational Exposure to Synthetic and Natural Mineral Fibers. Fed. Reg. 55: 5073, 1990.
- World Health Organization(WHO), International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 77: Man-Made Mineral Fibers. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1988.