연 구 자 료
위생95-4-6

암면(Rock Wool)등 단열재 제조업의 분진폭로 농도및 분포특성에 관한 연구

1995

한국산업안전공단
산업보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 연구결과를 1995년도 산업보건연구원의 연구사업중 암면(Rock Wool)등 단열재 제조업의 분진폭로 농도 및 분포 특성에 관한 연구에 대한 최종 결과보고서로 제출합니다.

이 연구보고서에 수록된 내용은 연구자 개인의 의견이며 본 연구원의 공식견해가 아님을 밝혀 드립니다.

1995.12.31

제 출 자 : 산업보건연구원장 문영한

연구책임자 : 산업위생연구실 수석연구원 정동인

공동연구자 : 문영한, 오세민, 신용철, 박승현, 이광용

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구배경 ····· 1

2. 연구목적 ····· 2

3. 암면 및 유리섬유의 일반적 현황 ····· 2

1) 섬유의 정의 ····· 2

2) 섬유의 분류 ····· 3

가) 종류 ····· 3

나) 화학조성 ····· 3

3) 유리섬유 및 암면의 성질 ····· 4

가) 유리섬유 ····· 4

나) 암면 ····· 5

4) 유리섬유의 직업성 노출한계 ····· 5

가) 개요 ····· 5

나) 미국의 직업성 노출한계 ····· 6

5) 섬유노출평가방법 ····· 6

Ⅱ. 연구대상 및 방법 ····· 8

1) 대상사업장 ····· 8

가) 개요 ····· 8

나) 유리면의 제조 ····· 9

다) 암면의 제조 ····· 10

2) 실험방법 ····· 11
가) 총분진농도측정 ····· 11
나) 호흡성분진농도추정 ····· 11
다) 시료측정위치 및 시간 ····· 13

III. H. I. 유리섬유 단열재 제조업체 ····· 14

1) 측정사업장 개요 ····· 14
2) 측정대상 및 방법 ····· 14
3) 제조공정개요 ····· 15

IV. 실험결과 ····· 17

1. 허용기준에 관한 평가 ····· 17
2. 유리섬유 및 암면제품 사업장측정 결과 ····· 20

1) 유리섬유(H. I.사)가공 취급사업장 ····· 20
2) 유리섬유(H. G.사)생산업체 ····· 22
3) 유리섬유(K. K.사)생산업체 ····· 25
4) 유리섬유(W. S산업)매트 생산업체 ····· 26
5) 유리섬유(B. S사)생산업체 ····· 27
6) 유리섬유 분진 분포특성에 관한 결과 ····· 29
7) K. K사 암면(Rock Wool) 생산업체 ····· 32
8) 암면분진 분포특성에 관한 결과 ····· 34

Ⅴ. 고찰(인공광물섬유) ····· 38

Ⅵ. 결론요약 ····· 47

Ⅶ. 참고문헌 ····· 49

Ⅰ. 서 론

1. 연구배경

천연섬유상 광물인 석면은 단열. 보온. 내마모성등이 뛰어나고 또한 저렴한 가격으로 대량으로 공급할 수 있기 때문에 옛날부터 건축자재 및 미찰재등 산업용으로 광범위하게 사용되어왔다. 그러나 석면의 발암성이 확인된 후 인 1970년대 초부터 대부분 선진국 에서는 분무식 석면 절연체의 사용이 금지되어 왔으며 특히 미국에서는 1973년부터 공공건물의 건축자재로 석면사용을 금지하고 있다. 이와 같이 석면의 사용규제가 강화되면서 석면 대체물질로 인공광물섬유(Man Made Mineral Fibers, MMMF) 제품에 대한 개발과 상품이 날로 증가되고 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[1].

우리 나라에서 석면 대체 품인 단열재로 사용되는 암면 및 유리섬유 제조업체는 모두 5곳이다. 즉 유리섬유(glass fiber)는 1958년부터 제조가 시작되어 현재 년간 총 생산량은 4만 8천톤에 이르고 근로자수는 약 1300여명 이며, 암면(Rock Wool)은 1981년 부터 생산이 시작되어 현재 년간 총 생산량은 6만 4천톤에 이르고 근로자수는 약 200여명 이다. 이와 같이 인공광물섬유(MMMF)는 대규모로 쓰이고 있으나 이들의 유해성에 대해서는 아직도 불분명한 요소가 많다. 따라서 인공광물섬유에 관한 연구의 필요성이 있다. 고로, 질량, 길이 직경 등의 크기가 어떻게 각 사업장에 분포되 있는가의 특성을 알고 근로자들에 대한 다양한 직업성 질환을 예방하기 위해 본연구를 수행하였다.

2. 연구목적

단열재 및 흡음재 등으로 사용되었든 석면은 인체에 유해한 암 발생을 유발한다는 보고에 따라 그 대체품으로 호평을 받고 있는 인공광물섬유가 현재 많이 사용되고 있는 실정이다. 이중 유리섬유 (Glass fiber)는 주로 건축물 자재로 사용되며 암면(Rock Wool)은 고온에서도 잘 견디는 산업용 단열재로 많이 활용된다. 현재 우리 나라에서는 암면이나 유리섬유와 같은 인공광물을 제조 또는 취급하는 근로자들에 대한 보건상의 관리 대책에 관한 지침서나 안내책자 등이 마련되 있지 않은 실정이므로 본 연구에서는 인공 광물섬유를 주로 생산하는 업체에 대한 노출농도와 분진입경이 어떻게 분포되어 있나를 파악하여 분석평가 한 후 문제점을 도출하여 그의 대한 개선대책과 자료를 제공하므로 암면 등 단열재를 제조 및 사용하는 근로자들에 대한 직업성 질환을 예방하고자 하는데 목적이 있다.

3. 인공광물섬유의 일반현황

1) 개요

일반적으로 광물섬유는 크게 세종류로 분류된다.

- 자연산 석면(Amosite, Chrystotile, Crocidolite 등)
- 인공광물섬유(Glass Fiber, Rock Wool 등)
- 합성유기질섬유 (Carbon, Aramid, Polyolefin 등) 가 있다.

이들중 석면(Asbestos)은 자연계에서 산출되는 광물질로서 일상생활에 매우 유용한 물질로 사용되고 있으나 제품이 손상되면 섬유 분진이 공기 중에 방출되어 호흡기를 통해 석면폐증은 물론 심하면 폐암이나 악성중피종상 등을 일으킨다는 보고는 이미 Hammond(1968년)와 Becklake(1976년)등이 발표하였다. 따라서 우리나라 산안법에는 특정 화학물질로 규정하고 있다(1991년, 노동부). 이와 같은 석면 사용 규제가 점차적으로 강화되면서 대체물질의 상품이 개발되고 있으며 현재 산업용이나 또는 일반 건축자재 원료도 사용되고 있다[2]. 그 중에

서 유리섬유(Glass Wool)는 섭씨 온도가 300도 이하의 일반 가정용 건축자재로서 판유리 특수유리 및 자동차유리등으로 쓰이며 암면(Rock Wool)은 섭씨 온도가 600도의 고온에서도 잘 견딜 수 있는 산업용 단열재(Insulation) 즉 보일러 및 열 교환기 카-버, 산업 환기닥트 등의 단열재로 많이 사용되고 있다.

2) 인공광물섬유 (MMEF)의 분류

가) 종류

[표 1.] 아스베스트 대체섬유 종류

인공광물섬유 (MMMF)	화 학 조 성
유리장섬유	SiO_2-Al_2O_3-B_2O_3-CaO
유리섬유(Glass Fiber)	SiO_2-Al_2O_3-CaO-Na_2O
락 울(Rock Wool)	SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3-Mgo-CaO
슬래그 울 (Slag Wool)	SiO_2-Al_2O_3-Mgo-CaO

유리장 섬유를 제외하고 다른 섬유들은 섬유가 선창에 엉킨 털모양을 하고 있다.

이들 인공광물섬유(MMMF)의 화학조성을 SiO_2와 Al_2O_3만으로 이루어지는 세라믹 화이버에서 부터 SiO_2와 Al_2O_3가 감소 되면서 CaO나 NaO등이 증가되는 순서로 glass wool 유리장 섬유, 락울, 슬래그울이 만들어진다.

나) 화학조성

[표 2] 인공광물섬유의 화학조성(%)

MMMF종류 / 화학조성	유리장섬유	글라스 화이버	락울	슬래그울
SiO_2	52-56	55-72	42-48	35-45
Al_2O_3	12-16	1- 7	9-14	10-20
Fe_2O_3	0- 0.4	0- 4	11-14	1-10
B_2O_3	5-13	1-12	-	-
MnO	-	-	-	1- 4
MgO	0- 6	2- 4	9-14	4- 8
CaO	16-25	3- 8	9-14	20-40
Na_2O	0- 0.08	10-18	2- 4	0- 2
K_2O	-	-	1 3	-

3) 유리섬유 및 암면의 성질

가) 유리섬유 (Glass Fiber)

Textile glass fiber(직물형 유리섬유)와 Wool glass fiber(솜모형 유리섬유)가 있다.

전자는 borosilicate와 낮은 알칼리성으로 제조되지만 Wool 타입의 유리섬유는 상당량의 알칼리성 이다. 유리섬유는 무결정 겸 단 섬유(Monofilament)이고 그 성분은 실리콘산화물이 주성분이고 칼슘과 나트륨의 산화물이 부성분으로 이루어진 물질인데 섬유의 강도를 증진시키기 위해 금속산화물, 접착제, 수지 및 윤활유 등을 간혹 배합하기도 한다.

유리섬유 물리 화학적 성질

분 자 량 : 다양함. 결정구조 : 비결정질
녹 는 점 : 약 1150℃(Wool), 약 1330℃(Textile)
끓 는 점 : 다양함 증 기 압 : 다양함
비중 (물=1) : 2.5 증기밀도 : 다양함
용 해 도 : 무시 폭발한계 : 없음
발 화 점 : 없음 인 화 점 : 없음
냄 새 : 없음 색 상 : 다양함
반 응 성 : 없음 주 용 도 : 건축자재 단열재, 흡음재 등사용
화학 조성 : SiO_2 - CaO - NaO.

나) 암면(Rock Wool)

암면은 산업용 단열재로 사용되며 주로 자연석을 섭씨 1800도 이상의 고열에서 용융하여 인공섬유화한 것임. 섭씨 600도에도 견딜 수 있어 산업용 단열재 및 보온 카-바로 활용된다. 주성분 으로는 실리콘과 칼슘의 산화물이고 부성분으로 알루미늄, 마그네시움 및 나트륨의 산화물이다.

암면의 물리 화학적 성질

분 자 량 : 다양함 결정구조 : 비결정질
유 해 성 : 없음 화학조성 : Sio_2-Al_2O_3-CaO 계
섬유 굵기 : 3~10㎛(1㎛이하 호흡성) 비표면적 : 0.22㎡/g
제 조 : 현무암, 화성암 등을 용융하여 인공 섬유화.

4) 유리섬유의 직업성 노출한계

가)개요

유리섬유에 대한 직업성 노출한계는 국제적 기구에서 수립하고 있다. 선정된 직업성 노출한계치는 작업장 내에서 8시간 근로할 때 시간가중 평균농도(TWA)로서 유리섬유의 노출한계를 정하는 것이 가장 보편적 모형이다. 일반적으로 단시간 노출 농도 치가 없는 국가들에 대하여는 작업환경에 따른 유리섬유의 노출 값이 채택될 수 없다. 노출한계 권장치는 강요할 수 있고 의무적인 기준치, 권장치 또는 충고치 등과 잘 조화를 이루어야 한다. 예로서 미국에서 강요되는 기준치는 산업안전보건청(OSHA) 에서 수립하였고 충고치는 NIOSH 와 ACGIH에 의해 문제가 야기되고 있다. OSHA에서는 유리섬유에 대해 허용할 수 있는 노출한계를 공포하고 있으며 NIOSH는 권장치를 문제삼고 있으며 ACGIH는 허용농도 값을 권장하고 있다. 일반적으로 대기중 유리섬유에 대한 노출 량은 두 가지 방법으로 정하고 있다. 하나는 섬유개수를 세는 방법이고 다른 하나는 중량분석 치이다. 개수를 측정하는 방법은 대기농도 즉 세제곱㎝당 섬유의 개수를 나타낸 것(f/cc) 이고 중량분석법의 표현은 미리그램당 ㎥로 표시한 값이다.

호흡성 분진과 총 분진의 량을 분리하여 직업성 노출한계를 정하고 있다.

나) 미국의 직업성 노출한계

미국 노동성의 산업안전보건청에서는 시간가중평균 근로시간을 8시간으로 기준으로 할 때 총분진의 량은 15㎎/㎥로 정하고 한편 호흡성 분진의 량은 5㎎/㎥로 허용한계치를 규정하고 있다(1987년).

1988년 7월 OSHA는 총 유리섬유 분진 량을 5㎎/㎥로 잠정적으로 설정하였다. 이것은 NIOSH(REL)에 기초한 것 이었으며 유리섬유 직경은 3.5㎛보다 큰 것이었다(1977년). 그러나 작은 입경의 유리섬유에 대해 NIOSH(REL)는 임시로 제안한 노출허용 한계치를 채택하지 않았다. 왜냐하면 OSHA (1988년)는 유리섬유에 이런 형태에 대한 노출 영향을 적절히 평가할 수 없다는 것을 알았기 때문이었다.

NIOSH(1977년)는 작은입경의 유리섬유 노출에 대해 독립된 기준을 권장하고 있다. 즉 직경이 3.5㎛와 같거나 작고 길이는 10㎛와 같거나 큰 입자에 대해서 CC당 3개의 섬유라 명시하였다. (주 40시간 작업중 10시간 교대작업까지)

한편 미국노동조합(AFL -C10) 안전보건위원회(1995년)는 유리섬유 노출 허용한계치(PEL)를 1.0개/cc 로 권장하고 있다. 미국의 단열재 제조협회(TIWA)에서는 특정한 해로부터 TLV를 사용하고 있다.

※ NIOSH REL(Recommend Exposure Limit)

권고 허용한계

5) 섬유노출에 대한 평가방법

시료분석 방법

미국 산업안전보건연구원(NIOSH)에서 발간한 분석방법 제3판에 따르면 대기중 유리섬유 수준을 평가할 수 있는 방법은 세 가지가 있다.(1984년)

i) 방법 7400

대기 중에 석면이나 유리섬유를 함유한 분진을 측정하기에 적절한 방법이다. 섬유 개수를 헤아리는 방법 A와 B 모두는 석면 시료를 사용하도록 법적으로 유효하다. 또 이 방법은 산

업보건기준 29CFR 1910·1001과 관련한 석면 개수를 헤아리는 것을 발전시킨 전 방법 P&CAM239를 개량한 방법이다.

NIOSH P&CAM239 방법은 석면 보다도 유리섬유에 대하여 더 효과적이라는 것을 주목하고 있다.

왜냐하면 작업장에서 발견되는 대부분의 유리섬유는 석면 분진보다 더 크고 숫자는 적기 때문이다.

ii) 방법 0500

이 방법은 NIOSH에서 1984년 2월에 발표한 것으로 총 유리섬유의 량을 중량법으로 측정할 수 있는 방법이다.

iii) 방법 0600

이 방법은 NIOSH에서 1989년 2월에 발표한 것으로 대기중 비휘발성 분진 농도중에 호흡성 분진 량을 측정할 수 있는 방법이다.

II. 연구대상 및 방법

1) 대상사업장

가) 개요

우리 나라 암면 및 유리면 제조업체수는 몇 개 되지 않으나 사용업체는 다수가 있다. 이중 제조업체는 모두 연구대상으로 하였고 사용업체는 소규모 공장(인천소재) 한곳만을 선정하였다.

제조업체 종류, 년간 생산량 및 근로자 수를 표1-1에 표시하였다.

표[1-1] : 업체별, 종류, 생산량 및 근로자

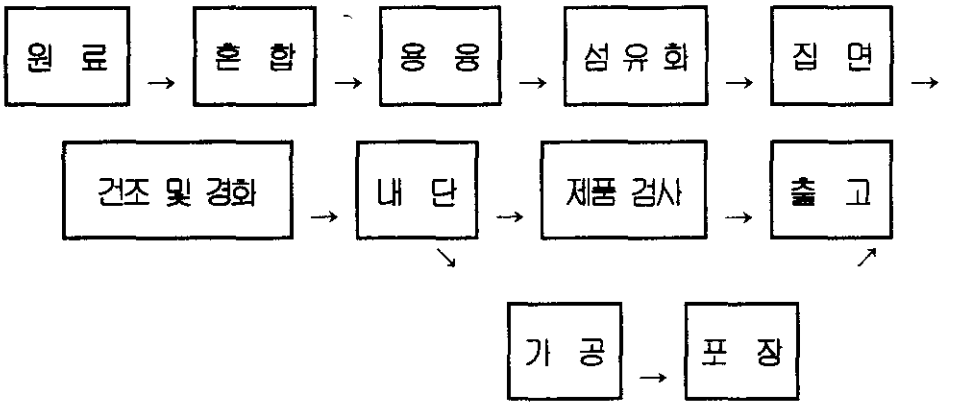
면 종류 / 업 체	유리면 년생산량/근로자수	암면 년생산량/근로자수	비 고
A (인천 소재)	18000톤 / 600명		건축자재, 단열재 및 흡음재 생산(300℃)
B (수원 소재)	22000톤 / 600명		"
C (경기도소재)	8000톤 / 70명		"
D (언양 소재)		40000톤 / 145명	산업용 단열재 및 흡음재 (600℃)
E (충북 소재)		24000톤 / 70명	"
년 총생산량/총근로자수	48000톤 /1270명	64000톤 / 215명	-

표 [1-1]에서는 우리 나라 전체의 년간 총 유리면 생산량은 약 4만8천톤 정도이고 근로자 총수는 약 1300여명이며 암면의 년간 총 생산량은 약 6만4톤이나 되는데 근로자수는 1/6정도 수준이다. 이는 유리면 보다는 암면의 제조역사가 짧고 또한 외국과의 기술제휴로 인해 거의 모든 공정이 자동화가 되어 생산량은 많으나 근로자수는 적다고 판단된다.

나) 유리면(Glass Fiber)의 제조

우리나라 유리섬유제조는 1958년부터 시작되었다. 유리면의 제조는 순수한 유리원석을 섭씨 1400도 내지 1500도로 용융 액화시켜 Bolwing 공법으로 일정한 크기에 통과시켜 제조되므로 섬유의 직경은 1~5㎛로 매우 섬세하고 균일하며 비섬유질이 없고 특수처리를 하여 어떠한 온도, 습도의 조건하에서도 보온단열 효과를 발휘한다. 따라서 보온단열성, 결로 방지, 및 소음방지의 특성을 지니고 있는 무기보온 단열재이다. 용도는 주로 건축물 내.외장재, 보온단열재, 흡음재 산업용 및 보온재로 사용된다.

그림[1-1] 유리면 제조공정 요약도



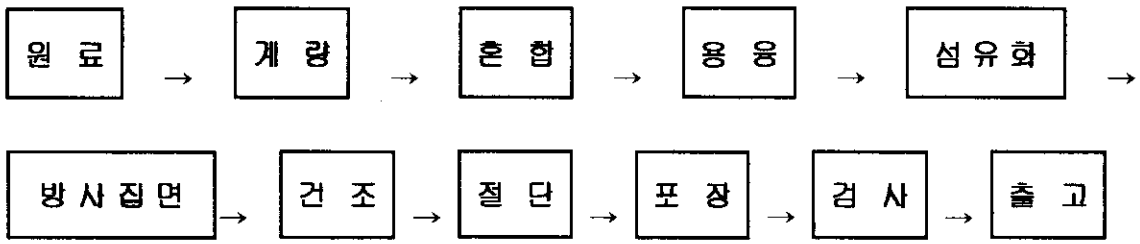
공정 요약도 에서 유리원석의 원료검사후 용융로에 부가하여 혼합한 다음 가열하여 1400-1500℃로 온도를 상승시키면 투입된 고체 원료는 액상의 용융상태로 변한다. 여기에 합성수지 접착제를 소량 가한 후 고속원심기를 이용하여 섬유 화를 시키면 온도가 100~120℃로 냉각되어 편차 없이 유리섬유를 집면하게 된다. 다음으로 건조 및 정화공정에서는 열을 이용하여 유리섬유를 경화시켜 일정한 형태로 성형후 규격별로 폭 및 길이에 알맞게 재단과정을 거쳐 은막지 등을 부착하는 가공공정후 규격별로 일정한 수량으로 포장하여 한국공업협회 규격이나 사규에 의한 제품검사후에 완제품을 저장하거나 출고하게 된다.

다) 암면(Rock Wool)의 제조

암면제조는 유리면 보다 늦은 1981년과 1986년부터 각각제조가 시작되었다. 암면은 규산 및 칼슘원소가 혼합된 광석을 섭씨 1500도 내지 1800도의 고열로 용융 액화시켜 고속회전 원심공법(Rapidly Centrifugal Spinning process)으로 만든 순수한 무기질섬유(Mineral Wool)이므로 사용온도의 범위가 다른 단열재보다 대단히 광범위하고 수명이 반 영구적으며 용도에 따라 여러 가지 형태로 생산되어 사용되고 있다. 또한 절연성이므로 유독가스가 발생치 않고 내수성과 보온단일성이 있으며 규격이 정확하고 다양한 형태로 생산되어 시공이 간편한 장점을 가지고 있다. 섬유화 직전에 온도는 1600℃±30℃로 매우 고온의 액체상태이다.

이 액상원료를 약 4000~6000RPM Wheel에 가해 원심력의 점도와 회전력을 이용하여 솜사탕의 모양의 암면을 제조한다. 이때 직경은 평균 5㎛이나 실제는 이것보다 작은 직경도 상당수 있다고 한다. 주 용도는 산업용 보온. 보냉. 단열. 내화. 흡음 및 결로방지등 모든 건축물은 물론 산업설비, 조선공업 등에 필요한 단열재로 사용되고 있다.

[1-2] 암면 제조공정 요약도



암면제조 공정도를 보면 먼저 규산·칼슘계 광석을 정확히 계량하여 혼합한 다음 용해로에 투입한 후 온도를 섭씨 약 1600도까지 코크스를 사용하여 상승시켜 용융액화 후 오일 및 바인더의 접착제를 1~4% 첨가 하여 고속집진기속에서 방사를 집면한다. 다음 전기로에서 건조시킨 후 경화시켜 필요한 형태로 성형후 제품별 특성에 맞도록 절단한다. 포장하여 규정에 맞도록 제품 검사후 완제품을 출고하거나 저장한다.

2. 실험방법

가) 총 분진농도 측정

작업장 대기중의 총분진의 농도측정은 미국 산업안전보건연구소(NIOSH)의 공정시험법 NO. 0500(1984)에 따라 측정하였고 공기중 유리섬유(Glass fiber)의 농도는 NIOSH 방법 (1994.8월) 7400을 이용하여 측정한다. 사업장에서 포집한 시료는 개인용 시료포집기 (Personal air Sampler, MSA Model Flow-Lite)를 사용하기전 후에 유량보정계로 유량을 보정한 후, Cellulose Ester Membrane filter(직경37mm, 공극크기 0.8㎛)를 장착시켜 1.8~2.5Liter per minute 의 유량으로 시료를 포집 한다. 여과지를 desiccator에 넣어 1일 방치 후에 0.01㎎까지 측정이 가능한 화학천평(독일산 Model 2000D)으로 평량하여 식에 따라 총분진농도를 산출한다.

$$\text{총분진 농도}(\text{㎎/㎥}) = \frac{\text{포집후 총여지무게} - \text{포집전여지무게}}{\text{포집유량(LPm)} \times \text{포집시간(m)}} \times 1000$$

나) 호흡성 분진농도 측정

호흡성 분진은 NIOSH 공정시험법(1984) NO.0600에 의해 측정할 때 10mm -mylon Cyclone을 시료포집기에 부착시켜 PVC여과지 (공극크기 0.5㎛, 직경 37mm)에 분당 1.7~1.8Liter의 유량으로 5~7시간동안 작업자의 호흡위치에서 포집한다. 호흡성 분진의 농도를 측정하기 위해 습도에 따른 중량변화를 최소화하기 위해 PVC여과지를 사용한다. 습도에 따른 중량을 보정하기 위해 시료포집 전 후에 건조기에서 24시간 이상동안 건조시킨 후 평량한다. 공기중 호흡성 분진의 농도는 총분진 농도 계산 식과 동일하다.

호흡성 분진질량(RPM)은 다음 식과 같은 포집 효율에 따라 포집된 입자로 구성되 있다.

$$SR(d) = SI(d)\ [1-F(X)]$$

SI(d) : 동 역학적 분진입경(d : ㎛)을 가진 입자들의 포집효율

$0 < d \leq 100$㎛ 임

$$\text{여기서 } X = \frac{\ln (d/\gamma)}{\ln(\Sigma)} \qquad \gamma = 4.25 \qquad \Sigma = 1.5$$

F(X)는 표준화된 정규변수(X)의 누적 확율함수 이와 같이 상대질량 비율에 따른 분진 입경을 나타내는 포집효율을 표[2-1]에서 볼 수 있다.

표[2-1] : 호흡성 분진의 폐포 침적율

동역학적 분진입경 (㎛)	호흡성 분진의량(%) (RPM)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

표[2-1]에서 보면 과거의 정의와 큰 차이점을 발견할 수 있다. 즉 호흡성 분진입경의 중위수 (median cut point)가 3.5㎛에서 4.0㎛로 증가된 것이다. 이러한 사실은 국제표준기구(ISO)나 유럽표준위원회(CEN)의정서와 잘 일치한다. 현재로서 1분에 1.7리터의 유속으로 10mm 나일론 싸이크론을 사용하여 호흡성 분진을 측정하여도 별 문제는 없다. Bartely[3] (1991년)와 Kenny[4] (1993년) 등에 따르면 여러 자료의 두 분석치는 분당 1.7리터의 유속을 10mm 나일론 싸이크론에 적용시키는 방법은 여기에서 정의된 이상적인 호흡성 분진측정 방법과 근사한 분진농도를 나타내고 있다.

다) 시료 측정위치 및 시간

총 유리섬유 및 암면분진과 암면 호흡성 분진을 서로 비교 평가하기 위하여 대체적으로 가능하면 거의 같은 위치에서 시료포집을 하였으며 근로자의 노출수준을 알기 위해 근로자의 호흡위치에서 개인시료(personal sample)를 주로 포집하였고 각 공정에서 장소시료(Area Sample)를 보조적으로 채취하였다. 시료포집시간은 검출한계와 작업시간을 고려하여 4~8시간 동안 취하였다.

III. 실험대상 및 작업환경측정

○ 유리섬유 사용업체(H. I)사에 작업환경을 측정하여 유리섬유의 총분진 노출농도를 파악하고 단위 cc당 섬유개수를 알기 위해 인천소재 유리섬유 가공업체의 실태를 조사하여 결과를 얻었으며 그 외에 유리섬유 및 암면을 직접 생산하여 보온 단열재를 제조하는 4개업체(HG. SK. WS. BS. UK등) 총 5개 단위 사업장의 총분진 농도 및 호흡성 분진의 농도를 파악하였다. 이에 대한 실험결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. H. I.유리섬유 단열재 제조업체

1) 측정사업장개요

총 근로자 수는 약 500여명이고 생산공장에 근무하는 작업자수는 15명 정도이었다. 공장 생산라인은 크게 3개 라인이었다. 1개 라인은 유리섬유 단열판을 제조하는 공정으로 주문에 따라 가동된다. 다른 한 개 라인은 스티로폴 단열판을 제조하는 공정으로 측정에 포함치 않았고 측정한 공정은 유리섬유를 사용하는 공정으로 약 200℃의 열을 이용하여 압축하여 Mat단열재를 제조하는 공정이었다. 이상의 단열재 제조업체 외에 유리섬유나 또는 암면을 직접 생산하는 업체들의 개요는 생략하였다.

2) 측정대상 및 방법

측정대상 공정은 유리섬유 보온원단을 생산하는 공정으로 열 압축 공정과 절단공정 및 재단공정 이었고 이들의 총 분진 노출농도를 측정하였다. 총분진은 NIOSH 방법 0500을 이용하였고 공기중 유리섬유는 NIOSH 방법 7400을 이용하여 측정하였다. 공기중 분진농도는 개인용 시료채취 펌프(Model Floodlit, MSA.USA)로 PVC 여과지에 약 2LPM의 유량으로 시료

를 포집하였다. 모든 시료는 6시간 이상 포집하였는데 단시간 노출농도를 점검하기 위해 1-2시간 측정한 경우도 있었다. 총분진의 량은 시료포집전 여과지의 무게와 시료포집후 여과지의 무게를 정밀한 화학천평(Model 2000D)으로 평량한후 공기중의 농도로 환산하였다. 공기중 유리섬유는 Cellulose ester membrane filter에 2LPm의 유속으로 시료를 포집하였는데 분진의 과다 포집을 방지하기위해 분진이 과량 발생하는 장소에서는 중간에 새로운 여과지로 교체하였다. 최종 섬유농도는 2개의 시료결과를 합하여 시간가중평균치(TWA)로 계산하였다.

작업시간 동안 각 개인시료(personal sample)뿐만 아니라 병행하여 근로자의 작업위치에서 장소시료(Area Sample)도 채취하였다. 총 분진과 섬유농도를 상호 비교하기 위해 동일한 근로자와 동일한 위치에서 동시에 시료를 포집하였다. 이상의 측정방법은 유리섬유 및 암면 생산업체들도 동일하게 시도하였다.

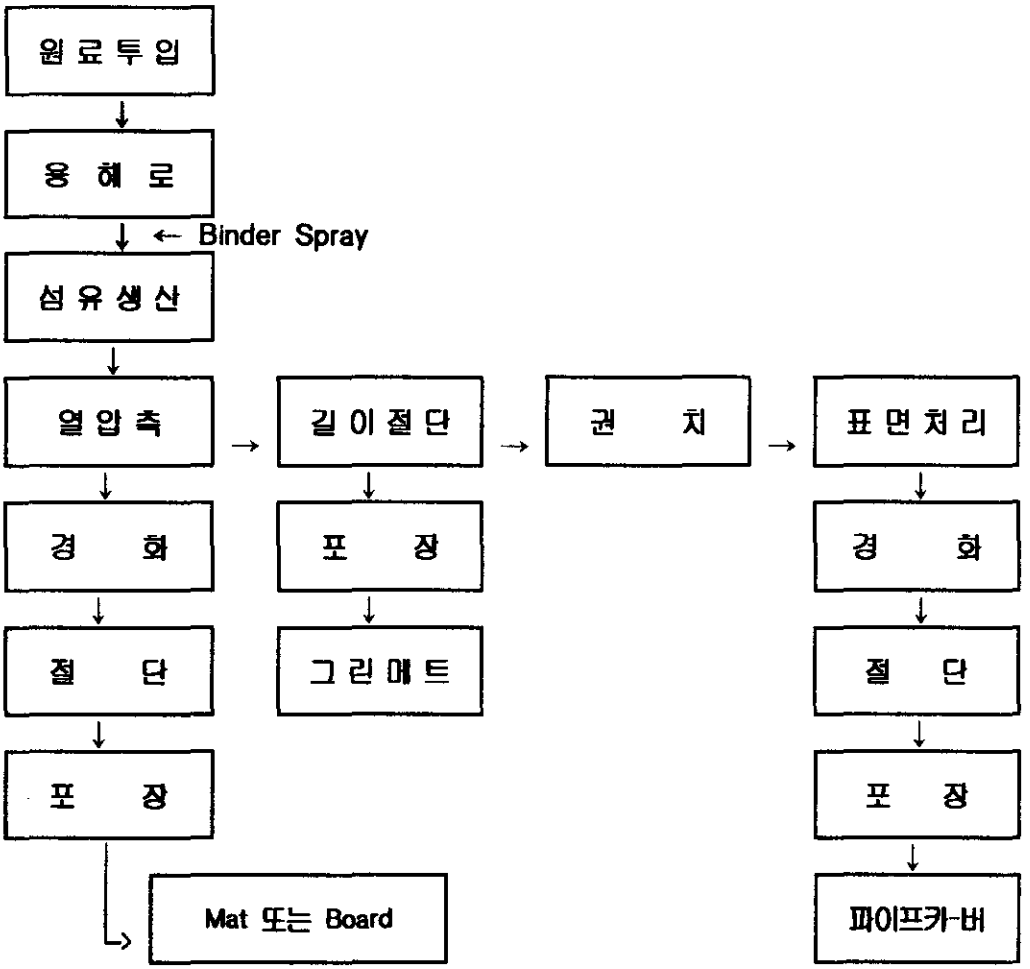
2) 측정사업장 현황

업 체 명	측 정 일 자	근로자수	교 대 수	측정교대	생 산 품
H. I	95. 2. 7	50	3	1	유리보온단열재. 파이프커버
H. G	95. 2.27-28	600	2	1	유리면. 단열재. 흡음재
S. K	95. 3. 3	600	3	1	유리면. 단열재. 흡음재
W. S	95. 3. 7	50	1	1	유리면. 메트.
B. S	95. 3. 9	50	3	1	유리면. 메트. 파이프커버
U. K	95.11. 3	145	3	1	암면. 산업용보온제

3) 제조공정 개요

다음 도표는 일반적인 유리섬유 단열재를 생산하는 공정 개략도 로서 각 공정별로 다소 차이가 날 수도 있다.

[그림3-1] 유리섬유 단열재의 생산공정 개략도



Ⅳ. 실험결과

1. 허용기준에 관한 평가[5),6)]

한국 노동부(1991년)에서는 여러 종류의 분진 중에 광물성 분진 분류는 총 분진과 흡입성 분진으로 구분하는데 그들에 대한 허용기준(TLV)은 각물질 특성에 따라 각각 달리 설정하고 있다. 유리섬유의 주성분은 실리콘산화물(SiO_2)로서 이것이 물질 중에 30%이상의 것은 제1종 분진으로 그리고 30%이하 1%이상 함유된 것은 제2종 분진으로 1%이하 함유한 분진은 제3종 분진으로 분류하고 있으며 이들의 허용기준의 농도는 각각 1종은 2㎎/㎥, 2종은 5㎎/㎥, 3종은 10㎎/㎥로 설정하고 있다. 예로서, 유리섬유의 원료 중에 이산화규소(SiO_2)는 약 60%가 함유되 있고 또한 암면 (Rock Wool)의 원료 중에 이산화규소(SiO_2)가 약 38-40% 함유되어있으나 미국 ACGIH에서 허용기준 농도는 10㎎/㎤로 되어있다(1995년). 고로 이 숫자는 제3종 분진종류의 허용농도가 이산화규소(SiO_2) 1%이하를 함유할 때에만 10㎎/㎥로 표기된 것과는 일치하지 않는다. 그러나 유리섬유 및 암면 등의 성분중의 이산화규소는 30%이상이나 이것은 유리되지 않은 상태이므로 허용기준치를 10㎎/㎥으로 규정하고 있다고 판단된다.

표[4-1]은 총분진의 분진 종류별 허용농도가 표기도 있고 표[4-2]는 호흡성 분진의 종류별 허용농도[㎎/㎥]가 표기되어 있는데 노동부와 미국 ACGIH에 대비 표도 함께 수록되어 있다.

[4-1] 총분진의 허용농도

분 진 의 종 류		허용농도
제1종분진	o 유리규산(SiO_2)30% 이상의 분진 o 활석 (Talc : $30MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) o 납석 (Agalmatolite : $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) o 알루미늄 (Aluminum :Al) o 활화광 (Sulfide ore)	2㎎/㎥

분 진 의 종 류		허용농도
제2종분진	o 유리규산(SiO_2)30%미만의 광물성 분진 o 산화철(Iron oxide : FeO) o 천연흑연(Natural Graphite) o 카본블랙(Cabon Black) o 활성탄(Activated carbon) o 석탄(Coal dust)	5㎎/㎥
제 3종분진	o 기타분진(유리규산 1%이하) · 알파 알루미나 (α-Alumina : Al_2O_3) · 알루미늄 금속 (Aluminum metal dust, as Al) · 탄산칼슘 (Calcium carbonate : $CaCO_3$) · 칼슘실리케이트 (Calcium Silicate) · 셀룰로우즈 (Cellulose, paper fiber : $(C_5H_{10}O_5)n$ · 에머리 (Emery) · 글리세린 미스트 (Glycerin mist : $C_3H_3O_3$) · 합성흑연 (Graphite, synthetic) · 석고 (Gypsum) · 고령토 (Kaolin) · 석회석 (Lime stone) · 자철광 (Magnetite : $MgCO_4$) · 대리석 (Marble) · 규조토 (Diatomaceous earth) · 광물털섬유 (Mineral wool fiber) · 사아질산 펜탄에리트리톨(Pentaerythritol) · 소석고 (Plaster of Paris) · 퍼라이트 (Pearlite) · 포틀랜드시멘트 (Portland cement) · 루지 (Rouge) · 규소-비결정체 (Silica-amorphous) · 실리콘 (Silicon)	10㎎/㎥
	· 탄화규소(Silicon carbide:SiC) · 전분(Starch :$(C_6H_{10}O_5)n$) · 자당 (Sucrose : $C_{12}H_{22}O_{11}$) · 이산화타타늄 (Titanum dioxide : TiO_2) · 식물성 오일 미스트 (Vagetable oil mist, except caster, cashew nut, or similar irritant oils) · 스테아린산 아연(Zinc stearate : $(C_{17}H_{33}COO)_2$) · 산화아연분진 (Zinc oxide dust : ZnO)	

분 진 의 종 류		허용농도
석면 및 기타 분 진	o 석면 (길이 ㎛이상) · 아모사이트 (Amosite : $5.5FeO \cdot 1.5MgO \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$) · 크리소타일 (Crysotile : $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) · 크로시도라이트 (Crocidolite : $NaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3FeO \cdot 8Sio_2 \cdot H_2O$) · 기타형태 (Other forms) o 면분진 (Cutton dust) o 소우프스톤 (Soap stone)	0.5개/㎤ 2개/㎤ 0.2개/㎤ 2개/㎤ 0.2개/㎤ 6㎎/㎥

표[4-2] 호흡성 분진의 허용농도

분 진 의 종 류	허용농도 ㎎/㎥	
	노동부	ACGIH
석탄분진 (Coal dust)	2	2[A]
천연흑연 (Graphite, natural)	2.5	2
파라쿼트 (Pararuat)	0.1	0.1
실리카, 결정체 (Silica, crystalline)	0.1	0.1
석영 (Quartz)		
크리스토바라이트(Cristobalite)	0.05	0.05
트리디마이트 (Tridymite)	0.05	0.05
트리폴리 (Tripoli)	0.1	0.1
실리카 (Silica, fused)	0.1	0.1
소우프스톤 (Soapstone)	3	3
활석 (Talc, 석면 비함유)	2	2
바나듐 분진 및 흄 (Vanadium dust & fume)	0.05	0.05[B]
카드뮴 분진 및 염 (Cadium dust & salt, as Cd)	0.5	0.01[C]

A : 결정형의 실리카 함량이 5%미만일 때 : 5%이상이면 호흡성 석영에 대한 허용농도 0.1 ㎎/㎥을 적용시킨다.

B : As V_2O_5

C : As Cd : Suspected Carcinogen(42).

표[4-2]에서 보듯이 인공광물섬유(암면, 유리섬유등)중에 호흡성 분진의 허용기준은 아직 미국의 ACGIH에서도 보고된바 없이 우리 나라에서도 허용농도 기준은 정하지 못하고 있다. 그러나 한 예를 들면 호흡성 분진표의 석탄분진(Coal dust)의 경우 결정형의 이산화규소의 함량이 5%미만 일 때는 2㎎/㎥로 정한 미국 ACGIH의 허용기준과 동일하게 정하였고 이산화규소의 함량이 5%이상일 경우 허용기준은 0.1㎎/㎥로 정하고 있으므로 본 연구에서 연구한 암면 및 유리섬유의 경우는 비결정형 이산화규소가 5%이상 함유되어 있어 이에 대한 호흡성 분진의 허용기준은 0.1㎎/㎥로 정하는 것이 타당할 것으로 판단되나 실제로 이들 인공광물섬유 중에 이산화규소(SiO_2)가 유리되 있지 않으므로 2㎎/㎤로 정하는 것이 타당하다고 판단된다. 그러나 인공광물섬유(MMMF) 즉 암면 및 유리섬유의 제품은 유리규산(SiO_2)의 함량이 비교적 높고 실제 측정한 값도 30%이상의 유리규산으로 분석되었다. 따라서 이들 업종에 종사하는 근로자의 직업병 발생빈도는 타 제조업에 비해 많은 것으로 보고되고 있으므로 분진 중에 유리규산의 함량이 질병에 크게 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 총 분진량에 따라 직업병이 발생하지만 분진입자 크기에 따라서도 좌우된다는 Grimm[7] (1986)씨가 이미 보고하였는데 내용은 직경이 0.25㎛이고 길이가 20㎛인 광물분진이 가장 유해하다고 발표하였다. 그러나 역학조사 결과 유사한 폐암사망률의 증가는 mineral wool에서 보고하였고 폐암과 섬유의 길이, 급수, 노출농도 등의 관계는 완전하게 정립되지 않은 상태이다.

Anonymous[8] (1989)는 인공광물섬유의 대부분은 무결정 실리케이트로 구성 되었으며 전세계적으로 1985년 기준으로 약 800만 톤이 생산되고 있으며 미국의 유리섬유공장 작업장의 분진농도는 0.01~0.05f/cc로 밝혀졌고 일반 건축물의 공기 속의 농도는 0.00004~0.00017f/cc로 보고되었는데 이때 직경이 3.5㎛이상이거나 길이가 5㎛이하인 유리섬유의 경우 질병의 가능성은 매우적다고 보고하였다.

2. 유리섬유 및 암면 제품 사업장 측정결과

1) H. I. 유리섬유 가공취급사업장

현재 유리섬유에 대한 유리나라 허용농도는 미국 OSHA 에서 정한 인공광물섬유의 허용농도인 10㎎/㎥로 정하고 있는데 이 값은 미국 ACGIH의 TLV 값과 동일하다. 석면을 제외하고 인공광물섬유에 대한 공기중의 섬유갯수에 근거한 허용기준은 설정되어 있지 않다. 특히 인공광물섬유의 경우 Potential human Carcinogen으로 고려되고 있기 때문에 근로자들의 노출을 가능한 한 낮추도록 권하고 있다. 일부 학자나 일부 국가에서는 인공섬유의 허용기준을 1f/cc로 설정하여 작업환경을 관리하는 기준치로 사용하고 있다.

실험대상 작업장 환경에 대한 분진 및 섬유농도의 측정결과는 표[4-1] 같다.

표[4-3] 공정별 공기중 총분진 및 섬유 노출농도

H. I사. 시료14개(95.2/8)

공정	근로자명 /측정위치	시료번호	측정시간	총분진 농도 (㎎/㎥)	섬유농도 (개수) (f/cc)
열 프레스 1 & 3호기					
	김J. K	1/8	11:55-18:15	0.36	0.10
	김J. O	14/10	12:38-18:20	0.36	0.06
	1호기 후드옆	11/5	11:24-18:30	0.22	0.01
	1호기 제어판위	3/9	11:32-18:25	0.21	0.02
	3호기 후드옆	15/23	15:00-18:25	0.27	0.03
열 프레스 2호기					
	J. R	2/4	10:55-18:12	0.84	0.06
	P. P	6/7	10:55-18:12	0.91	0.01
	제어판위	4/16	11:07-18:22	0.41	0.01
	작업대위	9/30	13:55-18:25	0.41	0.01
	제어판위	17/11	12:40-18:22	0.50	0.01
절단					
	이S. Y	13/2	12:42-18:12	0.28	0.15
	절단기옆, 1m	5/3	11:20-18:27	0.32	0.06
	절단기옆, 0.5m	7	17:33-18:27	0.28	-
	절단기옆, 0.5m	24	15:30-18:27	-	0.12

표[4-3] 에서 보면 작업환경측정은 열프레스기 1,2,3호 및 절단 공정으로 분류되는데 먼저 열프레스작업은 섬유원료를 일정한 면적으로 잘라 겹친 후 열 프레스기에 적재하여 온도

를 약 200~250℃로 상승시켜 가압건조가 완료된 후 제품을 프레스 2호기에 근무하는 근로자의 경우 0.84~0.91㎎/㎥로 가장 높게 나타났다. 이유는 열 프레스 1,3호기와 2호의 생산제품이 다르기 때문으로 풀이된다. 즉, 2호기는 원료를 열 프레스에 적재후 완성까지 작업간격이 5분 정도 걸려 작업수량이 1,3호기와 비교하여 10배이상 수량이 많다. 한편 1,3호기는 원료적재후 완성까지 60분 간격으로 수량은 1개를 생산하고 있었다. 따라서 이와 같은 적은 수량을 취급하고 있는 1,3호기의 작업공정의 이유로 총분진 농도는 0.36㎎/㎥로 2호기와 비교하여 2배이상 낮은 노출 값을 보였다. 완성품을 절단하는 공정에서는 열 프레스 1,3호기와 유사한 총분진 농도의 값인 0.28~0.32㎎/㎥를 보이고 있다. 그러나 공기중 섬유농도는 0.15f/cc로 타공정에서 보다도 가장 높아 총분진의 경우와 다른 경향을 보이고 있는데 그 이유는 유리섬유 제품만을 절단하는 작업이므로 총분진량은 적으므로 유리섬유의 농도만은 높게 나타나는 것으로 평가된다. 한편 열 프레스 1,3호기 근로자의 경우 0.06~0.10f/cc, 2호기 근로자의 경우 0.01~0.06f/cc로 총분진의 양과는 다른 경향을 보였다. 이상에서 본 바와 같이 유리섬유 제품의 원료가 제조될 때의 접착제를 사용하는데 페놀레진을 부가하여 제조된 유리섬유 원료를 사용했기 때문에 유리섬유 및 총분진의 비산이 억제되는 것으로 판단된다. 또한 절단공정의 경우를 제외하고 분진 비산과 연관된 작업행위가 그다지 많지 않은 것으로 사료되기 때문이다.

2) 유리섬유(H. G.사) 생산업체

석면을 제외하고 인공 광물섬유(Man Made Mineral Fiber)에 대한 공기 중에 노출농도는 설정되있지 않으므로 우리 나라에서는 미국 산업위생 전문가 협의회(ACGIH)에서 발행한 TLV에 준한 유리섬유의 허용농도인 10㎎/㎥로 정하고 있다. 특히 암면등 인공광물 섬유의 경우는 잠재적인 발암성 물질로 규정되고 있으므로 가능한 생산작업자들의 노출 량을 최소화 할 것을 권장하고 있다. 일부 국가들에서는 인공광물섬유의 공기중 허용기준은 1개/cc로 설정하여 작업환경을 관리하는 기준치로 하고 있다.

측정작업장(H · G)의 총분진 시료에 대한 결과는 표<4-4>에서 볼 수 있다.

표 <4-4> HG 유리섬유 생산부 장소 및 근로자의 공기중 총분진 농도

일련번호	시료번호	부서/공정	근로자명/측정위치	측정시간	공기중 총분진 농도, mg/㎥
1공장 A 라인 : Mat 생산					
1	HG-10	인도, 운반	오.C. K	16:00-20:28	0.80
2	HG-28	인도, 운반	이.J. K	16:22-20:24	0.57
3	HG-09	포장	정.H. K	14:06-20:25	0.28
4	HG-11	포장	김.C. C	16:16-20:32	N. D
5	HG-14	포장	김.K. C	16:07-20:26	0.35
6	HG-12	포장	허.J. K	16:09-20:27	0.08
7	HG-17	페이싱	양.S. B	16:11-20:17	0.86
8	HG-20	적재	김.S. W	16:14-20:20	0.71
9	HG-08	fiberizing	설비 옆	16:55-20:13	1.66
1 공장 B 라인 : Pipe cover 생산					
10	HG-19	B건조	임.J.J	16:22-20:26	0.42
11	HG-18	B포장	김.B.S	16:26-20:42	0.21
12	HG-31	B포장	이.W.S	16:29-20:36	0.37
13	HG-13	B운전	이.T.W	16:30-20:24	0.13
14	HG-02	폭절단	설비옆	16:50-20:12	0.40
15	HG-62	fiberizifiberi	설비옆	16:55-20:13	1.59
16	HG-60	conveconve	설비옆	09:50-13:45	0.37
17	HG-16	폭절단설비	설비옆	09:59-13:52	0.46
18	HG-34	폭절단설비	설비옆	09:59-13:52	0.9
1공장 분쇄장					
19	HG-06	분쇄	김. J.W	09:49-13:45	0.80
20	HG-44	분쇄	이.K.U	09:49-13:46	0.20

일련번호	시료번호	부서/공정	근로자명/측정위치	측정시간	공기중 총분진 농도,㎎/㎥
1 공장 3호기 : Mat 생산					
21	HG-15	3호기 점검	문.T.S.	16:45-20:42	0.27
1 공장 4호기 : 대형 Mat 생산					
22	HG-24	4호기 운전	이.W.K	16:42-20:50	0.60
2 공장 : Green Mat 생산					
23	HG-26	fiberizing	최.D.Y.	0.8:57-14:00	1.84
24	HG-30	용해로 점검	정.Y.K	08:58-14:02	3.42
25	HG-36	포장	이.B.H	09:00-14:10	0.54
26	HG-57	포장	김.L.K	09:00-14:00	0.56
27	HG-39	포장	강.B.Y	09:01-14:02	0.52
28	HG-32	포장	고.E.S	09:03-14:01	0.50
29	HG-52	포장	엄.B.S	09:04-13:59	0.89
30	HG-01	포장	판.Y.S	09:05-13:59	0.45
31	HG-05	fiberizing	설비옆	09:13-13:21	10.09
32	HG-03	Roll-up M/C	설비옆	09:18-13:24	0.08
33	HG-43	fiberizing설비	설비옆	10:00-13:52	0.23
34	HG-50	fiberizing설비	설비옆	10:00-13:52	0.69

표<4-4>를 보면 작업환경측정은 크게 세부분으로 나뉘어 생각할 수 있다. 즉 1공장 A라인 및 B라인과 2공장으로 분리하여 평가된다. 먼저 1공장의 A라인의 메트를 생산하는 근로자의 노출농도는 적게는 N. D.-0.86㎎으로 나타났고 근로자 수가 가장 많은 포장공정의 경우 최고 농도는 0.35㎎/㎥로 타공정과 비교하여 낮은 농도를 보였으며, 페이싱, 운반 및 적재공정의 근로자의 경우는 0.01~0.86㎎/㎥로 나타났다. 한편, 섬유화(Fiberizing)공정 주위농도는 1.66㎎/㎥로 가장 많은 총분진으로 분석됐는데 이유는 역시 섬유화하는 시설 주변이므로 많은 양의 분진이 발생됐다고 판단된다.

1공장 B라인의 파이프커버 생산공장에 근무하는 근로자의 노출농도는 0.13~0.42㎎/㎥로 분석됐고, A라인에서와 같이 섬유화 옆설비 위치에서 가장 높은 1.59㎎/㎥로 나타났다. 폭을 절단하는 설비 옆에 농도는 근로자들 보다 약간 높은 값을 보였다. 그리고 1공장 분쇄

장과 3,4호기 메트생산 근로자들의 노출농도는 0.20~0.80㎎/㎥를 보였다.

한편 2공장 그린메트 생산포장 근로자들은 0.45~0.89㎎/㎥로 나타났으나 시료번호 23과 31인 섬유화 공정의 개인시료 및 장소시료는 역시 1.84㎎/㎥와 10.09㎎/㎥를 각각 보였으며 섬유화를 위해 원료를 용융하는 용해로를 점검하는 근로자는 3.42㎎/㎥의 높은 노출농도를 보였다. 그리고 1공장의 섬유화 시설 옆 장소시료와는 달리 2공장 섬유화 설비 옆 장소시료인 시료번호 32~34에서 보면 비교적 적은 노출농도 값을 나타내고 있다. 개인시료 및 장소시료 34개중 대체적으로 많은 양의 섬유 분진을 발생시키는 곳은 개인시료 보다는 섬유와 기계설비 주변에서 많은 양의 분진이 발생되고 있다는 것을 알 수 있어 가능하면 작업자들은 다량 발생하는 근무장소에서 멀리 떨어져 자동화로 생산을 유도하는 것이 근로자의 분진노출을 최소로 억제시키는 방법이라고 판단된다.

3) 유리섬유(K. K사) 생산업체

본 사업장의 총분진 노출농도는 타 사업장과 비교해 볼 때, 비교적 낮은 수준의 농도 값을 보이고 있었다. 생산제품에 관계없이 전체적인 경향은 유사한 농도 치를 나타내고 있으며 개인시료의 경우 모두 0.5㎎/㎥이하의 농도 수준이었다. 이 사업장은 거의 모든 시설이 신규로 설치되 있어 노후된 시설이 거의 없고 파이프커버 생산공정이 타 공정과 달리 약간의 차이가 있어 폭절단 공정이 없는 것이 특징적이다. 따라서 절단에 의한 분진발생이 저감되었고 생산되는 제품의 경우 규격이 작아 분진발생이 상당히 감소되는 것으로 판단된다. 메트생산공정에서는 폭 절단에 의해 생성되는 부분이 흡입관으로 유입되므로 용해로로 회수되도록 되있으므로 분진발생이 매우 적은 것으로 간주된다.

표<4-5> K. K사 유리섬유 생산근로자의 공기중 총분진 노출농도

일련번호	시료번호	부서/공정	근로자명 /측정위치	측정시간	공기중 총분진 농도, ㎎/㎥
Mat 생산부					
1	KW-23	운전	이.H.S	10:44-16:30	0.36
2	KW-21	포장	채.S.K	10:52-16:25	0.17
3	KW-1	절단	절단기	10:59-16:30	0.12
Pipe Cover 생산부					
4	KW-4	1호기, 울 공급	박.Y.S	10:56-16:31	0.30
5	KW-20	1호기, 울 공급	황.K.M	11:00-16:32	0.24
6	KW-16	1호기, 포장	김.S.S	10:57-16:28	0.26
7	KW-13	1호기, 포장	송.K.H	10:59-16:31	0.27
울생산부					
8	KW-8	3호기, 울 생산	허.J.Y,김.Y.S	11:05-16:31	0.39
9	KW-6	2호기, 울 생산	김.Y.S	11:07-16:31	0.15
10	KW-25	3호기, 울 생산	임.W.S,채.Y.T	11:15-16:31	0.38
11	KW-14	섬유화	신.J.S,신.M.C	11:10-16:35	0.42
12	KW-9	섬유화 설비		11:30-16:35	0.51

표<4-5>를 보면 작업환경측정은 크게 세부분으로 나뉘어 생각할 수 있다. 즉, 메트, 파이프커버 및 울 생산 부분으로 조사되었다. 시료번호 1(운전)에서 10번(울 생산)까지 총분진 농도는 0.12~0.38㎎/㎥로 다른 섬유공장의 농도보다 아주 낮은 값을 보이고 있는데 이유는 사용원료의 종류가 다소 다른 원인도 있겠으나 작업장 분위기가 매우 청결하고 새로운 설비인 것으로 판단된다. 또한 시료번호 11번(섬유화)공정에서 근무하는 개인 시료의 총분진 농도도 0.42㎎/㎥ 밖에 되지 않았으며 시료 2번(설비)인 장소시료도 0.51㎎/㎥로 비교적 낮은 값을 보이고 있다. 이에 대한 이유도 역시 장비의 노후화가 거의 없고 또한 국소배기가 효율적으로 설치 운영되있으므로 총 분진농도값이 매우 낮은 것으로 평가된다.

4) 유리섬유(W. S.산업)메트 생산업체

이 사업장은 유리섬유를 원료로 사용하여 메트(Mat)를 제조하는 공장으로 제조공정은 다른 사업장과 차이가 있었다. 이 공장의 생산품은 세종류가 있는데 유리봉 유리면 직조 및 메트등이 있다. 유리원료를 용융로에서 용융하여 유리 봉을 만든 다음 이 유리 봉을 다시

가열하여 섬유모양으로 섬세하게 가공하여 직조기에 감아 유리섬유를 제조한다. 다음 이것을 일정한 크기의 면적으로 절단하여 사용할 수 있는 메트를 가공한다. 메트 제조라인에서는 직조기에서 절단한 유리섬유를 균일하게 판상으로 하여 메트제조설비에 이송한 후 가공한다. 다음 이 원사 표면 위에 자동장치를 이용하여 도포 된다. 도포된 유리원사는 건조기로 이송되어 건조된 후 일정한 크기의 면적으로 절단하여 포장한다.

표[4-6] W. S 유리섬유제품 근로자의 공기중 총노출농도

시료번호	부서/공정	근로자명 /측정위치	측정시간	공기중 총분진 농도㎎/㎥
1	가공기사	박.N.S	9:18-16:00	0.51
2	가공보조	김.W.J.	9:16-15:35	0.70
3	가공보조	박.S.W.	9:24-15:56	0.36
4	가공보조	심.S.S.	9:22-15:56	0.55
5	원사추출작업	양W.Y	9:29-16:02	0.60
6	반장	이.H.D	9:52-16:00	0.60
7	원사추출작업	장소시료	9:32-16:02	0.25
8	섬유절단기	장소시료	9:48-16:02	1.22
9	포장기 옆	장소시료	9:58-16:01	1.94

표[4-6] 의 실태분석 결과표를 보면 1번(가공)에서 4번까지의 노출 농도는 0.36-070㎎/㎥으로 타 사업장에서와 같이 큰 농도 차이는 없었고 시료번호 5번의 원사추출 작업에서는 0.6㎎/㎥로 나타났다. 반장은 주로 점검 및 포장을 동시에 수행하고 있었으나 총 분진의 노출은 심하지 않게 0.60㎎/㎥에 불과 하였다. 한편 장소시료인 시료번호 8번 및 9번(포장기) 등의 총분진 농도는 1.22-1.94㎎/㎤로 개인시료의 노출농도와 비교하여 2-3배 정도 높았다. 이유는 공장시설이 다소 노후화 됐고 또한 국소배기시설이 만족하지 못하기 때문으로 풀이된다.

5) 유리섬유(B. S.사)생산업체

이 생산업체는 근로자수 약 700여명이고 유리섬유 생산량은 년간 약800톤의 중소기업 형태의 공장으로 비교적 타업체와 비교해 볼 때 총분진 노출농도가 높이 측정되었고 앞으로

근로자 보호측면에서 많은 관심을 가지고 유리섬유 노출에 대한 관리대책을 적극적으로 조절 관리 해야 할 것으로 판단되는 업체이다. 근로자들의 총 분진노출농도 값도 타 생산업체 보다 월등히 큰 값을 나타낼 뿐만 아니라 장소시료의 분석 값도 비교적 큰 수치로 측정되었다.

표[4-7] 유리섬유(B. S.사) 근로자 및 장소의 총분진 노출농도

일련번호	시료번호	부서/공정	근로자명/측정위치	측정시간	공기중 총분진 농도, ㎎/㎥
용해로					
1	BSG-13	1,2호기 용융로 운전	전.Y.K	8:36-15:00	1.74
2	BSG-12	용융	작업장소	8:55-14:43	0.95
1호기 : 보드메트 생산					
3	BSG- 7	1호기, 포장	김.H.J	8:45-14:23	0.30
4	BSG- 2	1호기, 포장	박.D.C	8:44-14:27	0.81
5	BSG-18	1호기, 포장	조.Y.Y	8:46-14:23	1.32
6	BSG- 4	mat 절단	작업장소	9:04-14:00	2.63
2호기 : 파이프 카바 생산					
7	BSG- 6	2호기 .포장	김.C.S	8:19-14:45	0.29
8	BSG- 9	2호기 .포장	김.Y.K	8:25-14:44	0.74
9	BSG-10	2호기 .포장	최.Y.S	8:25-14:44	0.56
10	BSG- 3	2호기 .포장	이.S.S	8:29-15:04	0.66
11	BSG- 1	pipe cover절단기	작업장소	9:00-14:42	4.33
분쇄작업장					
12	BSG- 5	분쇄	최.S.M	11:08-14:50	18.81
13	BSG-11	분쇄	김.B.K	9:45-14:50	1.98

표[4-7]을 보면 생산라인의 공정은 크게 네부분으로 나누어 조사되었다. 용해로, 보드메트, 파이프커버 및 분해작업 등이다.

시료번호 1, 2번인 용해로 부위에서는 0.95~1.75㎎/㎥의 비교적 높은 농도를 보였으며 시료번호 3-5번까지의 개인시료에서는 0.30-1.32㎎/㎥로 약 4배이상의 큰 차이를 보였고 메트절단에서도 2.63㎎/㎥로 큰 값을 보였다.

파이프 커버 생산라인에서도 개인시료는 0.29~0.74㎎/㎥로 비교적 차이는 없으나 장소

시료인 11번에서는 무려 4.33㎎/㎥로 5배정도의 큰 차이를 보였다. 분쇄작업 공정에서는 최고 값인 18.81㎎/㎥의 값을 보였으나 시료 13번의 분쇄작업 근로자 시료에서는 1.98㎎/㎥로 나타나 이 둘 시료간의 농도차이는 무려 9배이상의 큰 차이를 보였다. 이유는 당시 작업량의 차이가 크므로 노출농도의 값도 큰 것으로 판단된다. 즉 이 공정은 근로자가 직접 분쇄기에 폐품을 넣어 분해 작업을 하므로 분진노출이 매우 심하게 나타났다. 따라서 이 공정은 가장 대책이 시급하며 적절한 분진농도 감소대책을 마련해야 될 것으로 사료되는 바이다.

´6)´ 유리섬유 분진 분포특성에 관한 결과[9)]

5곳의 유리섬유 제조 및 취급사업장에서 포집한 총분진 시료를 무작위로 선택하여 우리 나라 유리섬유업계에서 발생되는 유리섬유 분진의 분포특성 즉 길이와 직경크기의 경향을 알아보기 위해 먼저 위상차 현미경(배율400배)을 이용하여 각 섬유시료의 사진 촬영을 한 다음 각 각 섬유크기 및 직경을 측정하였다.

표[4-8]은 섬유크기에 따른 개수를 파악한 후 그림[4-1]은 이것을 도시(plot)한 것이다.

표 [4-8] 유리섬유 길이별 개수

유리섬유길이(㎛)	개 수	유리섬유길이 (㎛)	개 수
42.5	1	17.5	9
40.0	1	15.0	8
37.5	2	12.5	6
35.0	2	11.25	4
32.5	3	10.0	4
30.0	5	8.75	3
25.0	7	7.50	3
22.5	7	6.25	3
20.0	8	5.00	3
18.75	8		

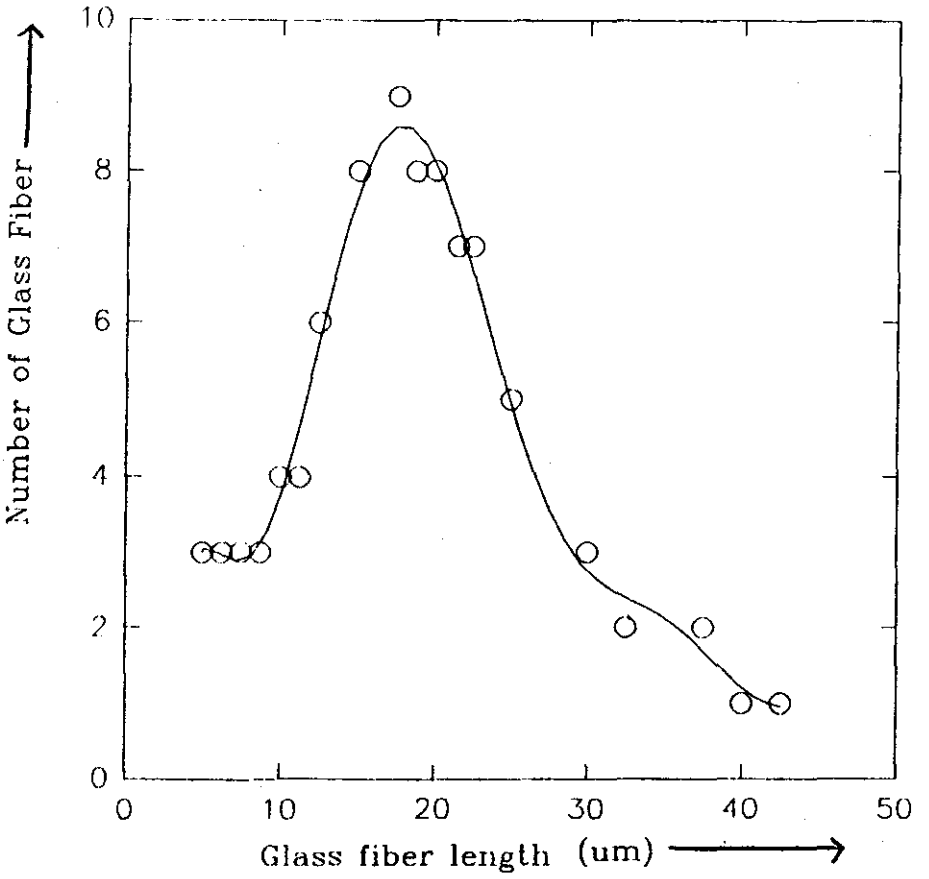


그림 [4-1] 유리섬유 길이별 개수 분포도

그림[4-1]에서 알 수 있는 사실은 측정한 총분진의 각 섬유길이에 따른 개수는 약 90개로 도시한 그림으로 섬유길이가 5㎛에서 약 40㎛에 이르는 분포로 되었어 우리 나라 유리섬유 공장에서 비산되는 유리섬유 크기는 주로 5㎛에서 30㎛ 사이의 입자 크기를 가진 섬유 분포 경향을 볼 수 있다.

표[4-9]는 유리섬유의 직경에 따른 섬유개수를 파악한 값이고 그림[4-2]는 이 값을 사용하여 도시(plot)한 것이다.

표[4-9] 유리섬유 직경별 개수

유리섬유 직경(㎛)	개수
3.50	2
3.00	4
2.75	5
2.50	9
2.25	12
2.00	17
1.75	18
1.50	10
1.40	6
1.30	3
1.00	2

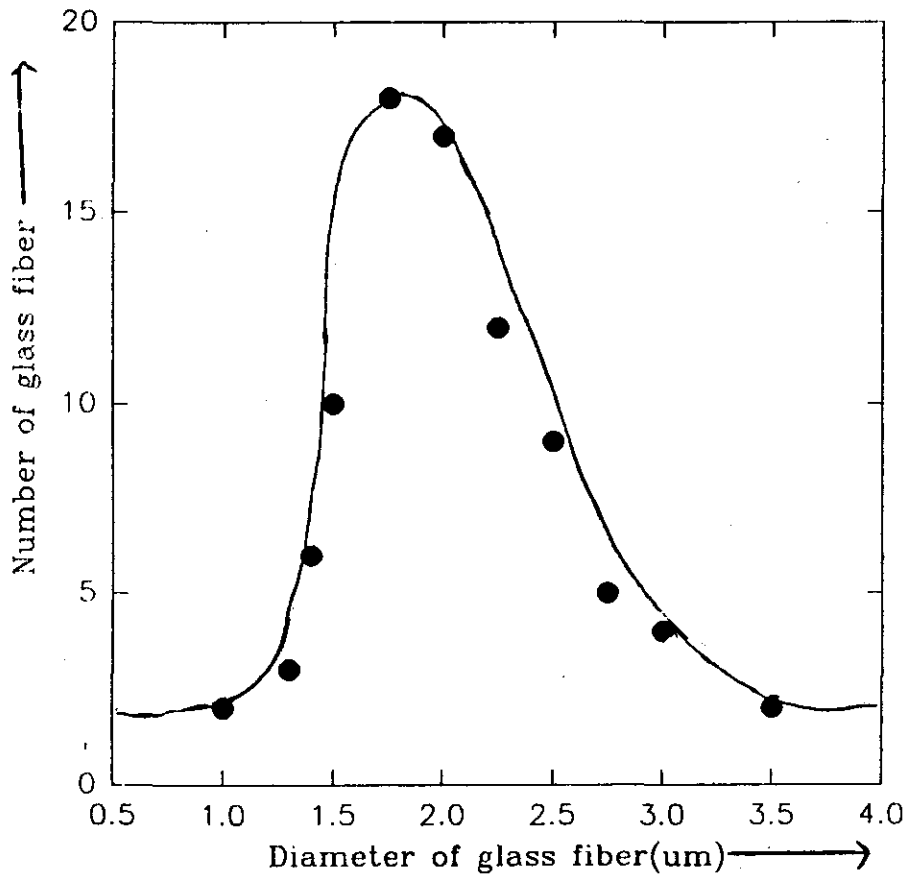


그림 [4-2] 유리섬유 직경별 개수 분포도

그림[4-2]에서 알 수 있는 사실은 측정한 총분진의 각 섬유직경에 따른 섬유개수 약 90개를 도시한 그림으로 섬유직경이 1.30㎛에서 3.5㎛사이에 분포도를 나타내고 있으나 우리나라 유리섬유 공장에서 취급되는 섬유 입경의 크기는 주로 1.0㎛에서 3.0사이의 입자직경을 가진 유리섬유 분포경향을 보이는 것을 알 수 있다.

7)K. K사 암면 (Rook Wool) 생산업체

우리 나라 암면 생산업체는 두 공장에서 생산되고 있는데 K. K사 근로자수는 약 150명이며 년간 총 생산량은 약 4만 톤이고 B. S.사는 근로자수가 약 70명이고 년간 총 생산량은 2만 4천톤이다. 이들중 본 연구는 K. K.사의 실태를 파악하였다. 암면의 허용기준도 이산화규소(SiO_2)가 30%이상 함유돼 있으므로 제1종 분진으로 분류되므로 허용기준 값은 2㎎/㎥ 이하로 규정해야 하는데 실질적으로 이 수치는 유리섬유에서와 같이 이산화규소의 함량이 1% 이하인 제 3종 분진의 경우와 같이 10㎎/㎥로 허용기준치를 정한 것은 이산화규소가(SiO_2) 유리상태로 되 있지 않고 무기질 혼합물이기 때문으로 판단된다. 따라서 암면의 경우도 30% 이상의 이산화규소를 함유하고 있으나 유리된 실리케이트가 아니므로 2㎎/㎥로 정한 것으로 판단된다. 실험방법으로서는 총 분진노출 농도는 미국 NIOSH의 공정 시험법 NO.0500(1984)에 따라 측정하였으며 개인시료(Model #22451)를 사용할 때 시료매체로는 직경이 37mm이며 공구크기가 0.8㎛인 Cellulose Ester Membrane Filter를 사용하였다. 이때 유량은 1.8 ℓ /min의 속도로 5-7시간 포집하였다.

한편 호흡성 분진은 NIOSH 공정시험법 NO.0600에 따라 시료를 포집하였으며 이때 개인용 호흡성 시료를 10mm Nylon Cyclon이 정착된 (SKC Model #224-51)을 사용하였고 시료매체로는 직경이 37mm인 공극크기가 0.5㎛인 PVC 여과지이었고 유량은 1.7 ℓ /min의 속도로 5-7 시간 동안 포집하였다. 이후 각 시료는 총분진이나 호흡성 분진이나 공히 여과지에 수분함량 오차를 최소화하기 위해 건조기에 24시간 방치후 독일산 화학천평(Model 2000D)으로 평량 하여 총 분진 농도 및 호흡성 분진 농도를 산출하였다.

표[4-10] K. K사 암면(Rock Wool)생산업체 총분진 및 호흡성분진 노출농도

시료번호	근 로 자 명	측 정 위 치	공기중 총분진농도 및 호흡성분진농도
1	안.S.C / 복.K.D	2호기포장	0.61㎎/㎥ , 0.06㎎/㎥
2	정.K.E	"	0.67㎎/㎥
3	장소시료	"	0.52㎎/㎥
4	공.C.H / 김.J.H	1호기 커버울	0.51㎎/㎥ , 0.03㎎/㎥
5	박.C.W	"	0.47㎎/㎥ , 0.01㎎/㎥
6	박.J.C / 박.J.K	"	0.67㎎/㎥
7	이.Y.S	"	0.54㎎/㎥
8	장소시료	"	0.47㎎/㎥
9	허.C.P	"	0.54㎎/㎥
10	박.B.D / 황.Y.D	2호기 포장	0.63㎎/㎥ , 0.11㎎/㎥

※ 포집시간 : 5~7시간

1, 4, 5,10번 시료 : 호흡성 분진 동시측정.

표[4-10]은 암면 제조공정 근로자들의 총분진 및 호흡성 분진농도를 측정한 값인데 이 도표에서 알 수 있는 사실은 먼저 제조공정은 크게 세부분으로 나누어 생각할 수 있다. 즉 용융로, 포장 및 카버울 생산 등이다. 용융로의 작업은 거의 자동화 작업이므로 근로자는 조절실(Control Box)내에서 작업이 진행되므로 분진 노출위험성이 거의 없다. 따라서 포장 및 카버울 생산 근로자들의 노출 농도만을 측정하였다.

시료 1, 2, 3번의 2호기 포장에 근무하는 근로자들의 총 분진 노출농도는 0.52-0.67㎎/㎥ 로 근소한 차이를 보였는데 이 값은 타 공장에 농도 값과 차이를 보이지 않고 있었다. 시료 4-9번까지의 카버울 1호기의 총 분진 노출농도는 0.47-0.67㎎/㎥로 시료 1-3번 의 농도와 매우 유사한 값을 보였다.

이 의미는 공장 전체의 노출 농도가 균일한 것은 모든 관리 상태가 양호 한 것으로 판단된다. 한편 호흡성 분진 노출 농도는 표[4-10]의 시료 1, 4, 5, 10번에서와 같이 총 분진과 동시에 측정하였는데 역시 0.01-0.11㎎/㎥로 큰 농도의 차이는 없었다. 이때 호흡성 분진의 종류는 일반 분진과 암면의 분진을 구별 할 수는 없으나 호흡성 분진의 공극크기가 0.5㎛ 이하인 미세한 분진 여과지(PVC)의 공극크기로 보아 아주 적은 입경의 분진임을 알 수 있다.

전체적으로 보아 이 K. K 암면공장은 주위환경이 매우 청결하고 설비가 잘 보수돼 있으며 또한 국소배기장치도 만족하여 기준치보다 훨씬 적은 총 분진 및 호흡성 분진의 농도 값을 보이고 있었다.

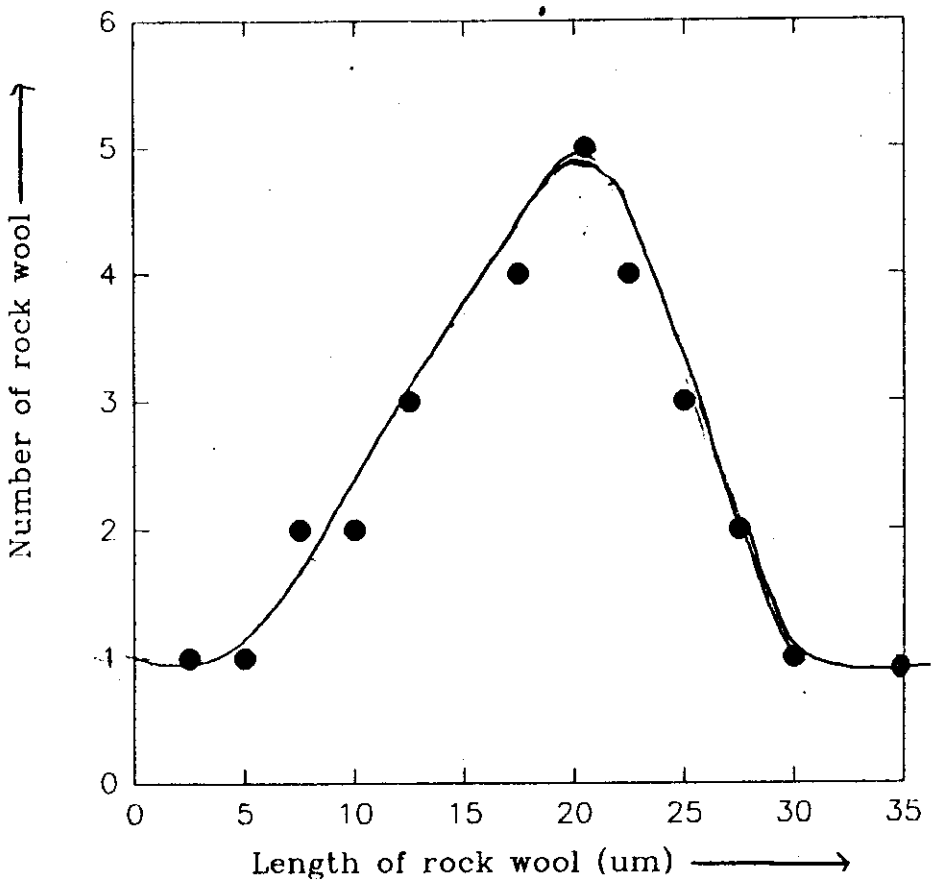
8) 암면(Rock Wool)분진 분포특성에 관한 결과

우리 나라 암면제조업체는 모두 2개 공장이 있는데 K. K사는 1981년에 또다른 B. S사는 1986년에 각각 창설되었다. K. K사는 년간 약 4만 톤의 암면을 생산하고 있고 근로자수는 약 150명이다. 본 연구는 K. K사에서 포집한 총 분진 시료를 위상차 현미경(배율400배)을 이용하여 암면분진의 분포특성 즉 길이와 직경크기의 경향을 알아보기 위해 각 암면시료의 사진 촬영을 한 다음 각 시료에 대해 크기와 직경을 측정하였다.

표[4-11]은 암면 크기에 따른 개수에 대하여 도시한 것이 그림 [4-3]이다.

표[4-11] 암면길이 별 개수

암면섬유길이 (㎛)	개수	암면 섬유길이 (㎛)	개수
45.0	1	17.5	4
35	1	12.5	3
30.1	1	10.0	2
27.5	2	7.5	2
25.0	3	5.0	1
22.5	4	2.5	1
20.5	5		



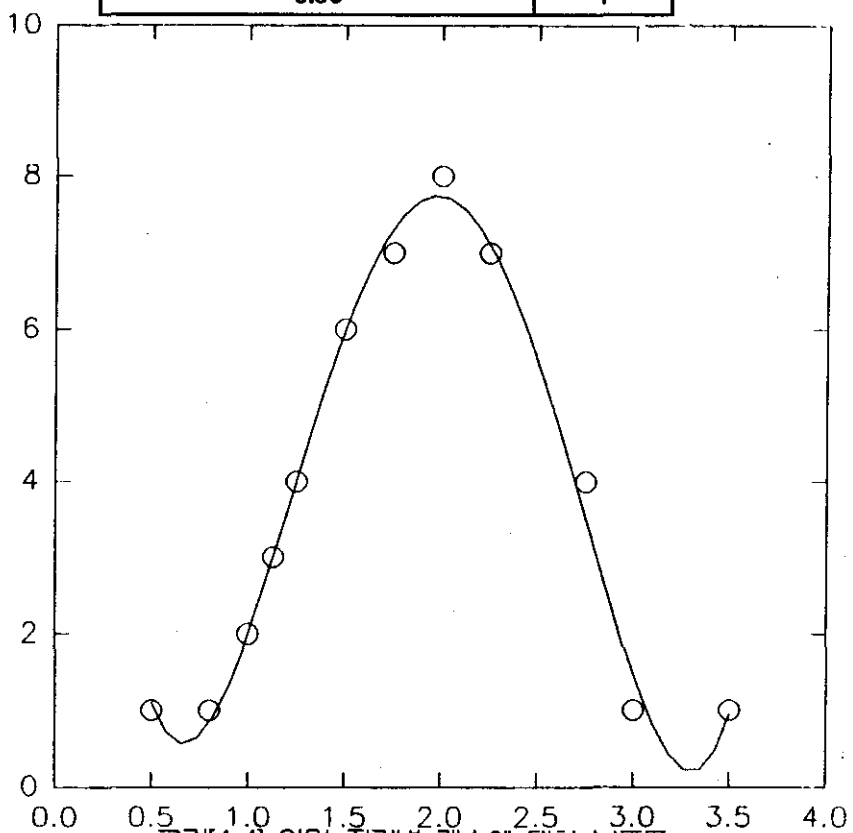
그림[4-3]암면길이 별 개수 분포도

그림[4-3]에서 약 300여개로서 다소 적은 숫자이지만 이것을 도시한 분진길이의 분포는 2.5㎛에서 45㎛까지 광범위하게 분포돼 있으나 암면 생산공장에서 비산되는 섬유크기 주로 5㎛에서 30㎛사이의 입자크기를 가진 섬유분포 경향을 볼 수 있다. 이 값은 그림[4-1]에서 본 유리섬유길이 크기 분포와 매우 유사하다. 즉 유리섬유나 암면등에 모두다 석면 대체물질로 인공광물섬유(MMMF)로서 크기분포경향은 유사 할 것으로 예측했던 값과 잘 일치하였다.

표[4-12]는 암면 분진의 직경을 측정한 후 크기별로 개수를 파악한 값을 종합한 후 이것을 도시 (plot)한 그림이 [4-4]이다.

표[4-12] : 암면 직경별 개수

암면섬유직경(㎛)	개수
3.50	1
3.00	1
2.75	4
2.25	7
2.00	8
1.75	7
1.50	6
1.25	4
1.13	3
1.00	2
0.80	1
0.50	1



그림[4-4] 암면 직경별 개수에 대한 분포도

그림[4-4]에서 알 수 있는 사실은 측정한 총 분진의 각 섬유직경에 따른 섬유 약 400여 개를 도시한 그림으로 암면 직경은 0.50㎛에서 3.5㎛사이의 분포를 나타내고 있으며 암면 공장(K. K사)에서 취급 사용되는 섬유직경의 크기는 주로 0.50㎛에서 3.00㎛사이의 암면 섬유분포경향을 보이는데 이 값은 그림[4-2]에서 본 유리섬유 직경크기 분포와 비교하여 직경이 약간 작은 값을 보이고 있다.

○ 포집한 암면 시료 중에 cc당 암면 개수를 알아보기 위해 NIOSH 방법 7400중 A 방법으로 측정한 석면 농도 값에 준한 각 시료 암면 농도 값은 표 [4-13]과 같다.

표 [4-13] 암면 세제곱㎝당 개수(f/cc)

시료번호	근 로 자	측 정 위 치	측정농도(f/cc)	크기농도(f/cc)
1	안.S. C/복.K. D	2호기 표상	0.005783	0.01
2	정.K. E/한K. H	2호기 표상	0.00187	<0.01
3	장소시료	2호기 표상	0.008069	0.01
4	공.C. H	1호기 카버울	0.004154	<0.01
5	박.C. W	1호기 카버울	0.012323	0.01
6	이.Y. S	1호기 카버울	0.006502	0.01
7	장소시료	1호기 카버울	0.006075	0.01
8	허.C. P	1호기 카버울	0.008383	0.01
9	박.Y. D/황.B. D	반장	0.006763	0.01

표[4-13]에서 알 수 있는 사실은 시료번호 2,4번은 세제곱 ㎝ 당 0.01개 보다 적은 값을 나타내고 있으며 나머지 시료는 세제곱Cm당 0.01개로서 권고 기준치인 세제곱 Cm 당 1개보다 매우 적은 백분의 일로 평가되어 매우 양호한 상태를 유지하고 있다. 이유는 K. U 암면 공장은 비교적 최신설비를 갖춘 현대식 기계화 시설로 되있고 또한 국소배기 시설의 효율성이 높게 평가되고 있는 것과 실험결과는 잘 일치하고 있다.

V . 고 찰

암면 및 유리섬유 제조공장에 장기간 근무한 근로자의 신체적 이상 유무를 평가하기 위한 분석자료를 알아보면 현재 우리나라 에서는 암면과 유리섬유 노출에 대한 연구조사가 거의 이루어지고 있지 못하다. 그러나 선진국 에서는 역학조사를 통해 암면과 유리섬유에 대한 인체에 미치는 영향을 찾아내려고 한 연구논문 들이 상당수 있어 아직 노출과 각종 질환과의 관계를 명확하게 판명하지 못하고 있는 상태이다. 즉 인공광물섬유(MMMF)의 노출과 질환과의 관계가 유의한 논문과 유의하지 않은 논문 양자가 다 존재하며 결론적으로 노출과 질환과의 관계는 명확하게 밝혀지지 못한 상태이다. 그러나 미국의 국제 암연구센타(IARC)에서는 유리섬유를 Possible Human Cancer(2-B)로 평가하고 있다.

암면과 유리섬유에 관한 인체에 발암성과 연관관계가 있는 논문내용을 간추려 보면 다음과 같다.

암면(Rock Wool)의 경우 :

Saracci[10] (1984)등은 20년 이상 노출된 근로자들중 기관지. 폐 등의 암 발생 율이 증가하며 이것은 통계학적 유의성과 매우 밀접하다. 또한 30년 이상 근무한 사람들에게서 암 발생의 위험도가 증가한다(SMR=192)라고 발표하였다.

Olsen[11] (1984)등은 유럽의 광물섬유(Mineral Wool)공장에서 20년 이상 근무한 근로자들 중 폐. 방광 및 피부암 의 발생이 증가 했다고 하였으며 Enterline[12] (1982)등은 미국 암면공장에서 30년이상 근무경력이 있는 근로자들 중 SMR가 1720이상 된다고 보고하였으며 Robinson[13] (1982)등은 암면공장에 노출된 근로자들 중에 소화기 계통의 암 발생 위험도가 증가했다고 보고하였고 Leanderson[14] (1987)등은 암면은 DNA의 손상을 주는 Super oxides의 생산을 증가시킨다고 발표하였다.

유리섬유의 (glass fiber)의 경우:

Pott[15] (1974)등은 실험동물에서 증피종 암을 유발한다고 하였고 Mohr[16] (1984)등은 유리섬유와 석면분진이 노출되고 있는 곳에 동물 실험 결과는 유사하다고 하였다. Miller[17]

(1980)등은 석면입자 크기와 유사한 입경을 가진 유리섬유는 세포독성을 일으킨다고 발표하였으며 Tilkes[18] (1983)등은 작은 입경을 갖는 유리섬유의 경우 기관지 조직을 배양한 곳에 세포변이를 일으킬 수 있다고 하였고 Woodworth[19] (1983)등은 호흡성 분진정도의 크기를 갖는 유리섬유의 경우 폐(lung)에 미치는 효과는 석면과 유사하다고 하였으며 Chiappino[20] (1981)등은 유리섬유 공장에서 30년 이상 근무한 근로자들에게 폐암 발생이 증가한다고 하였다. Saracci[21] (1984)등은 Super oxides의 생산을 증가시키고 benzo-d-pyrene으로의 전환을 일으켜 발암성 대사를 활성화시킨다고 발표하였다.

한편 암면이나 유리섬유가 인체에 미치는 영향을 명확하게 밝히지 못한 연구논문도 있다. Konzen[22] (1988)은 유리섬유와 직업성 건강장해 와의 관계는 노출된 근로자들의 연구에서 유리섬유가 발암성이거나 혹은 비발암성 질환과의 연관성을 명확하게 밝히지 못하고 있다. 그러나 1987년 미국의 국제암연구소(IARC)에서 밝힌 내용은 유리섬유는 "POSSIBLE HUMAN CARCINOGEN"이라고 정의하였다. Shannon[23] (1990)등은 유리섬유의 직업성 노출과 폐암으로 인한 사망률과는 연관돼 있지 않는 것 같다고 보고하였고 Enterline[24] (1983)등은 유리섬유의 노출로 인한 영향을 고려할 때 호흡기 계 암으로 인한 사망은 크지 않으나 광물솜(mineral wool)에서는 좀더 영향이 있는 것으로 발표하였다.

기타 국내외적으로 암면 및 유리섬유에 대한 인체 유해에 영향을 미치는 연구보고서에서 밝힌 내용을 보면 유리섬유는 가장 많이 사용되고 있으며 호흡성 섬유(Respirable fiber)가 건강장해를 일으킬 가능성이 크다. 인체와 동물을 대상으로 한 흡입 연구에서 유리섬유 노출과 질병과의 어떠한 상관관계가 있나를 알아내기 위한 실험에는 실패하였다. 그러나 석면(Chrysotile, Crocidolite 등)과는 심각한 건강장해가 발견되었다.

인공유리섬유(Man Made Vitreous Fiber)의 활동전기도 아직까지 정확히 밝혀져 있지 않기 때문에 미국에서는 MMVF에 대한 특수한 작업환경기준을 마련하지 못하고 있다. 고로 해당공장이나 노조에서는 독립적인 기준을 요구하고 있다. 예로서 미국의 TIMA 및 AFLC에서 정한 작업장 허용기준은 1f/㎖로 하고 있다.

유리섬유나 암면 등을 제조하는 근로자들이 일정한 작업장에서 발생한 경우는 아니므로 앞으로 인공광물섬유를 제조하거나 사용하면서 노출됐을 경우 추측할 수 있는 여러 종류의

직업병을 예방하기 위하여 실제 제조회사 및 사용업체를 방문하여 실태를 파악하여 분석평가 하므로 암면에 의한 각종직업병 발생을 예방하고자 한다. 먼저 외국의 경우 유리섬유나 암면과 같은 인공 광물섬유 분진크기 및 입경에 발표된 내용을 살표보면 다음과 같다.

Johnson(1969년)등은 유리솜 제조회사 근로자들의 노출을 조사하기 위해 네곳에 단열재 제조설비를 진단하였는데 섬유개수는 총 섬유개수(Total fibers), 5㎛보다 큰 호흡성 섬유의 평균농도는 0.41f/cc (범위 : 0.02~0.97f/cc)이었다. 가장 낮은 호흡성 섬유농도는 0.08f/cc 로 측정되었으며 이때 범위는 0~0.56f/cc 이었다.

시료 채취를 한 곳 대부분은 국소배기 시설이 없는 곳이었다. Cooper(1971년)등은 유리솜 시설주위 섬유의 개수를 측정평가 하였다. 작업자들은 위상차 현미경에 의해 측정한 값과 같이 0.5㎛크기가 총 8f/cc 이었고 단열재 작업에서 생성된 평균섬유의 입경은 원물질의 명목상 입견보다 적었다. 즉 원물질의 평균입경이 4.0~10.2㎛인데 반해서 공기시료 중의 평균섬유의 입경은 2.2~8.4㎛의 범위에 있었으며 단열재 시설로부터 생성된 공기중 섬유의 약 절반은 그 입경이 3.5㎛이하라고 발표하였다.

Corn[25] (1974)등은 미국의 3개의 유리섬유 공장의 섬유 노출을 분석하였다. 이때에 근로자 3명의 시료중의 평균농도는 0.11f/cc 이었으며 섬유길이는 5㎛보다 큰 것이었는데 농도의 범위는 0.08f/cc 에서0.17f/cc 이었다.

Dement[26] (1975년)는 국립산업안전보건연구원에 의해 수집된 유리섬유에 대한 근로자들의 노출평가를 하였다. 조사된 섬유의 직경은 1㎛보다 큰 단열재를 제조하는 공장이 4곳이고 1㎛보다 적은 섬유의 적경 제조공장은 6곳이었는데 제조하는 동안 총섬유의 농도는 21.9f/cc 이었고 항공기 단열재 제조 시에 원료섬유에서 관찰한 총 농도는 14.1f/cc 이었다.

Konzen(1976년)은 1970~1976년 동안 Owens-Corning 제조 공장에서 유리솜 시료의 결과를 발표한 것을 보면 평균직경은 1~4㎛이었으며 총섬유의 개수는 0.38f/cc 이었다. 그러나 보통 유리솜(wool fiber glass)제조 영역에서 총 섬유의 개수는 0.11f/cc~0.16f/cc 의 범위이었다.

Schneider(1979년)는 특수목적에 사용되는 유리섬유제품의 노출을 발표하였다. 이때 유리섬유 여과지(fiber glass filter paper)를 취급하는 동안 평균 호흡성 섬유농도는 10.1 f/cc 이

었고 항공기 단열재의 평균 호흡성농도는 4.6 f/cc 이었다. 같은 해 Esmen등은 공기중 유리섬유 노출 결과를 연구하였는데 매우섬세한 유리섬유(명목상 입경이 0.05~1.60㎛)를 제조하는 공장을 포함하여 총 16개 미국의 공장실태를 파악하였다. 이때 사용한 기구는 위상차현미경(PCOM, Phase Contrast Optical Microscopy) 이었으며 총 평균섬유 농도는 0.78f/cc 이었고 제품 생산 시에는 1.56f/cc 이었으며 해상운송 시에는 0.0097f/cc 이었다. 또한 주사전자현미경 (SEM, Scanning Electron Microscopy)을 이용한 측정치로는 PCOM을 사용한 결과보다 5배만큼 높았는데 총 평균섬유 농도의 범위는 0.58f/cc 에서 6.49f/cc 이었다. 전체평균은 4.4 f/cc 이었고 평균범위는 해상운송 시는 0.58f/cc 이고 제조 시에는 6.49f/cc 이었다. 매우 섬세한 섬유의 입경농도는 0.003f/cc 보다 적은 것부터 6f/cc 보다 큰 것까지 매우 변화폭이 컸다. 저자는 제조된 유리섬유 생산품의 명목상 크기를 기초로 하여 전체 섬유에 대한 매우 섬세한 섬유입경이 6㎛ 보다 큰 섬유는 2% 이하 이였고 1㎛ 보다 적은 유리섬유는 80~98% 이였다.

Esmem등은 호흡성 유리섬유의 크기는 입경이 3㎛ 보다 적고 길이가 5㎛ 보다 큰 입자로 정의 하였다. Head[27]와 Wagg(1980년)는 입경이 3 ㎛ 보다 적고 길이가 5㎛ 보다 큰 입경을 가진 섬유로 정의되는 호흡성 섬유를 영국에 있는 25개의 제조공장을 대상으로 조사한 결과를 발표하였는데 호흡성 섬유의 농도는 거의 검출이 안되는 부분에서 0.08f/cc 에 이르기까지 매우 낮은 농도 값을 보였고 명목상 입경의 크기는 5~15㎛ 의 범위에 있었으며 호흡성 섬유는 전체 섬유의 1% 이하에서 56% 범위에 있었다.

Balzer[28] (1976년)는 국소배기 시설에 연결된 유리섬유와 주변 공기로부터 채취한 시료에 대한 입경분포를 연구하였다. 이때 주변공기와 국소배기 시설주변에 있는 유리섬유는 단열재 시설(평균입경이 6.5㎛)보다 작은 4.3㎛ 와 3.7㎛ 이었다. 작업환경으로부터 채취한 섬유시료의 약 15%는 입경이 3㎛ 이하 이었고 3개소에서 채취한 시료의 평균농도중 주변공기의 그것은 0.0026f/cc 이었고 국소배기 주변의 그것은 0.009f/cc 이었으며 단열재 물질이 시설된 곳에는 0.406f/cc 이었다.

Ottery[29] (1984년)등은 유럽의 인공광물 섬유 공장에서 수행한 직물유리섬유의 산업위생 실태를 파악하여 종합 보고된 내용을 보면 평균농도는 0.004f/cc 이었다. 호흡성 섬유의

개수가 WHO/EURO 방법을 사용할 때는 증가하지만 직물유리섬유를 제조하고 사용하는 동안은 매우 낮은 0.01f/cc 이었고 특수목적용의 섬유농도는 1.00f/cc 이었고 범위는 0.17~4.02f/cc 이었다. 폴란드의 Indulski(1984년)등은 한 개 공장에서는 유리섬유를 생산하고 다른 세개 공장에서는 암면(Rock Wool)등과 같은 인공광물섬유(MMMF)를 생산하는 공장에서 채취한 시료를 조사하여 발표하였다. 유리섬유 공장에서 취한 5㎛ 보다 큰 호흡성 섬유의 평균농도는 0.101f/cc 에서 0.459f/cc 에 범위였으며 개인시료의 농도는 0.09f/cc 에서 0.639f/cc 의 결과를 보였으며 이때 섬유입경 평균치는 3.40㎛이었고, 3㎛이거나 작은 입경을 가진 섬유는 42.%이었다.

Esmen[30] (1982년)등은 항공기 단열재 공장에서 근무하는 작업자들의 유리섬유의 명목상 입경크기는 약 1㎛ 이었고 조립 시에 노출된 농도범위는 0.05~3.78f/cc 이었다. 이때 평균농도범위는 0.05~1.70f/cc 이었다. 가장 큰 호흡성 섬유노출은 절단 작업이었으며 평균농도 1.7f/cc 이고 범위는 0.18~3.78f/cc 이었다. 절단 과정 동안 생성되는 섬유의 99%는 호흡성 분진으로 간주되고 있다.

Riediger[31] (1984년)는 독일 연방공화국에서 인공 광물 섬유 업체에서 분진의 농도를 측정하여 발표한 결과를 보면 호흡성 입자 여과지를 생산하는 공장의 절단 공정에서 일하는 근로자들의 개인시료를 채취하여 PCOM법에 의한 결과는 0.1f/cc 에서 0.2f/cc 이었고 SEM법에 의한 것은 0.6f/cc 에서 2.6f/cc 이었으며 섬유의 중간크기는 10㎛ 이었고 입자크기는 0.7㎛ 이었다. 한편 매트를 절단할 때 내부작업 동안 PCOM법에 의한 농도의 범위는 0.2f/cc - 1.10f/cc 이 었고 SEM법에 의한 측정치는 5.40f/cc 이었으며 외부에서 측정한 값은 1.10f/cc 이었다. 이때 내부절단 공정에서 생성된 섬유는 짧고 섬세하였으며 중간길이는 3㎛ 이었고 중간입경은 0.14f/cc 이었다. Mat시설동안 생성된 섬유의 평균길이는 68㎛ 이었고 평균입경크기는 1.9㎛ 이었다.

Cherrie[32] (1986년)등은 1970년에서 1980년까지 발표됐든 결과를 기초로 하여 유럽의 인공광물섬유(MMMF)공장에서 발생한 섬유의 노출평가를 실시 하였다. Ottery(1984년)등이 초기에 보고한 자료들은 위상차 현미경 결과에 대한 섬유개수를 세는 방법과 세계보건기구(WHO)의 참고자료와 잘 일치되도록 재평가되었다. WHO와 EURO참고 값은 Ottery 등이 발

표했든 결과와 비교할 때 유리섬유의 수준은 2.2배나 증가했음을 지적하였다.

제조공장에서 호흡성 섬유의 평균농도는 0.05f/cc 보다 적은 대부분의 평균치를 갖는 것은 0.01f/cc 에서 0.16f/cc 범위에 들어있다. 한편 유리솜 (Wool Glass Fiber)공장에서 섬유 입경은 0.3㎛ 에서 2.5㎛ 이었다. 구라파 공장에서 발견한 대기중 유리섬유의 농도는 Esmen(1979년)등이 발표한 미국의 결과와 매우 잘 일치하였다. 저자들은 섬유분석기기 차이에 따른 농도를 비교하였는데 길이가 5㎛ 보다 큰 SEM 분석 치의 섬유농도는 PCOM에 의한 값보다 1.3배나 크다는 것을 알았다. 미국과 유럽의 자료를 종합하여 다음과 같이 유리섬유 노출 기준을 4개 부분으로 분류 하였다.

첫째, 매우 낮은 유리섬유작물(Textile fiber glass)의 농도는 생산 중에 나타나는데 0.01f/cc 이었다.

둘째, 명목상 입경이 5㎛ 보다 큰 섬유가 유리솜 생산 중에 발견됐는데 농도는 0.01f/cc 에서 0.10f/cc 이었다.

셋째, 중간크기인 0.1f/cc 에서 1.0f/cc 의 농도를 갖는 경우는 유리섬유의 직경이 3㎛ 와 유리솜 생산시설중에 발견하였다.

넷째, 농도가 1.0f/cc 보다 큰 경우는 매우 섬세한 유리섬유를 생산하는 중 과 유리솜 시설물 중에서 발견하였다.

Antonsson[33](1987년) 등은 플라스틱을 보강하기 위해 사용되는 유리섬유를 압축 및 절단하는 동안 발생되는 호흡성 유리섬유의 실태를 파악 하였다. 두 개 공장에서 측정한 플라스틱 제품의 보강제로서 사용되는 유리섬유의 입경은 9㎛ 에서 24㎛ 의 범위이었고 길이는 10㎛ 에서 17㎛ 의 범위이었다. 결과적으로 평균 fiber의 농도는 0.07f/cc 에서 0.24f/cc 를 보였다. 저자들은 호흡성 유리섬유가 플라스틱 제품을 보강하기 위해 사용되는 유리섬유를 압축하고 절단하는 동안 생성되지 않는다는 결론을 내렸다. 오히려 이러한 과정동안 생성된 호흡성 섬유는 섬유모양의 플라스틱 입자이거나 유기체 섬유 입자이다. 유리직물 생산품을 생산하는 동안 생성된 호흡성 섬유는 유리섬유가 아니라는 증거는 최근에 발표된 논문 (Konzen, 1988년)과 잘 일치하고 있다.

Lee[34] (1991년)등은 주거용 건물 내에 유리섬유 단열재를 시설하는 동안 발생된 일시

적인 시료의 결과를 발표하였다. 솜털모양(Batt)의 시설물에 대한 시간가중평균 호흡성 섬유의 농도는 0.15f/cc 이었고 접착제로 채워진 유리섬유의 농도는 0.15f/cc 이었고 접착제로 채워진 유리섬유의 농도는 시설물 및 배전선의 경우 각각 0.53f/cc 및 0.19f/cc 이었다. 그러나 접착제가 없는 건축물 내에서 시설물 및 배전선의 섬유농도는 각각 7.40f/cc 및 1.82f/cc 로서 접착제를 사용했을 때 보다 15배정도 많았다. 발표된 인공광물 섬유농도 및 입경의 경우를 정리해 보면 3㎛ 보다 큰 유리 솜의 평균농도는 0.1f/cc 보다 적었으며 범위는 0.02f/cc 에서 0.40f/cc 임을 알았으며 섬세한 유리 솜을 제조하는 과정에서 발생한 호흡성 섬유의 보다 큰 농도는 1.0-2.0f/cc 이었다. 그리고 가장 큰 섬유농도는 매우 섬세한 특정 유리섬유 제조 과정에서 22.0f/cc 범위였다. 일반적으로 제품의 명목상 입경이 감소함에 따라 평균 노출수준은 증가하는 경향이 발견됐다. 유리 솜을 생산하는 동안 호흡성 섬유의 함량은 생산하는 제품의 명목상 입경과는 반비례 관계에 있다. 즉 명목상 입경이 6㎛ 인 유리 솜의 호흡성 분진의 양은 40%이하이나 3㎛ 이하 입경의 섬유는 50-90% 수준이었다. 인공광물섬유 공장에 동력기구를 사용하는 절단과정에서의 섬유농도범위는 0.20f/cc 에서 4.0f/cc 이었고 시설물 주변에 발생된 총 섬유의 50%는 호흡성 분진이었다. 가장 낮은 호흡성 섬유의 평균농도는 유리섬유직물(Textile fiber glass)을 제조하는 동안 발견 하였고 그 농도의 범위는 0.01f/cc 에서 0.02f/cc 이었다. 직물(Textile)생산품을 제조할 때 생성된 호흡성 섬유는 섬유모양의 플라스틱 제품이나 또는 비 Textile glass fiber 물질로 구성돼 있었다. 위상차현미경 분석은 대부분 적절한 유리섬유 측정치를 제공 할 수 있으며 SEM 분석치는 요구되지 않는다. 왜냐하면 SEM 결과치는 보다 더 큰 값이 나올 수도 있기 때문이다.

이상에서 언급한 내용은 작업환경에 미치는 인공광물섬유(MMMF)의 시료를 직접 분석 평가한 값 들과 그들의 농도 및 입경크기에 관한 것이었으나 이번에는 MMMF가 인체에 미치는 독성영향에 관한 연구논문을 종합정리 하였다.

Joel R. Bender등은 1930년이래 유리섬유에 관한 생리적 의학적 영향에 관해 실험동물을 통하여 조사한 결과를 보면 주로 호흡기 내부기관의 축적물 및 내부흉강 및 내부늑막의 주입이 많고 대부분 자극성 영향은 피부자극이며 증후군은 피부의 가려움 증상이다. 피부손상은 전형적으로 손등, 양손, 얼굴 및 목에 분포 되어있다. 피부자극의 요소는 유리섬유 입

경이며 4㎛ 보다 큰 섬유들은 더 적은 섬유보다 자극되기 쉽다. 단지 1㎛ 보다 작은 섬유는 피부반응에 자극성이나 심한 정도에 아무영향이 없다고 발표하였다.

일반적으로 깨끗한 흰 피부와 푸른 눈을 가진 사람들은 다른 피부를 가진 사람들보다 더 피부자극이 쉽다. 눈에 대한 자극은 오염된 손의 접촉으로 인해 결막표면에 손상이 오게 되나 눈의 자극은 피부자극보다 훨씬 숫자가 적다는 보고가 있다. 유리섬유의 노출로 인한 상부호흡관 자극에 대한 영향으로 나타나는 증후군으로 코와 목 부분을 자극하게 되고 특히 가려움증이 수반되는 현상이 나타난다.

유리섬유에 관한 발암성 동물실험 논문을 살펴보면 Muble(1987년)은 매우적은 유리섬유에 노출된 동물(쥐)중에서 1차 폐종양의 증상은 발견하지 못하였고 이때 사용된 유리섬유 시료의 90%는 입경이 0.8㎛ 이하이고 길이는 12.4㎛ 이하 라고 발표하였다. 발암성에 관한 인체실험자료 연구는 유리섬유의 크기와 입경에 따라 중요한 영향을 받는다고 하였다.

Bayliss[35] (1976년)등은 1940년 에서 1949년 동안 유리섬유 건축자재 시설회사에서 5년 이상 근무한 백인근로자 1448명의 관한 연구 수행 결과 1940년에서 1972년까지 총사망자는 376명 이었는데 이 숫자는 기대치인 404.24 보다 적게 관찰된 것이고 이중에서 폐암 사망자는 기대치가 20.23 이었으나 실제 사망자는 16명 으로 나타났다.

Morgan(1981년)등은 1968년에서 1977년 사이 유리섬유를 10년이상 제조한 남자 근로자의 인체에 미치는 원인 분석결과를 보면 총 6536명 중 사망자수는 총 389명 이었으며 사망원인은 20년이하 근무함 전체집단과 30년 이하 일한 소집단으로 분류하였는데 이때 전체집단과 소집단 사이에 사망원인의 중요한 증거는 없었는데 전체집단의 폐암사망자는 39명 이었고 소집단 14명의 사망자가 발견 되었다고 보고하였다.

Enterline[36] (1983년)등은 유리섬유 및 광물섬유가 인체에 미치는 영향에 관한 연구에서 17개 제조 공장에 근무하는 16730 여명의 남자 근로자를 분석하였는데 기간은 1945년에서 1963년 사이에 적어도 1년 이상동안 근무한 근로자였는데 호흡성 암 사망자 총수는 247명이었고 이중 236명은 폐암이었고 10명은 후두암이며 1명은 격막암(mediastinal cancer)이었으며 중피종암 (mesothelioma)사망자는 관찰되지 않았다.

Marsh[37] (1987년) 등은 1978년 에서 1982년까지 인공광물섬유(MMMF)와 인간 과의

질환관계를 조사연구 하였는데 이때 미국전체와 국부지역의 사망률을 비교 하였다. 총 집단의 약 98%가 추정되었고 1982년 말까지 약 30%가 사망 하였다. 폐암 사망자들 사이에 가장 큰 숫자는 광물섬유 작업자와 섬세한 유리섬유에 노출됐든 경험 있는 근로자들 사이에서 발견되었다. 제한된 실험실내 연구에서 유리섬유의 잠재적인 돌연 변이성(mutagenic)과 세포유전성(Cytogernicity)도 평가되었다. 돌연변이성의 영향을 평가하기 위해 박테리아 시험 시스템을 사용 하였고 발육이상과 변형을 평가하기 위해 배양된 포유동물 세포를 사용 하였다. 시료는 JM Code100(직경 = 0.12㎛)과 JM Code101(직경=1.9㎛)을 사용하여 관찰한 결과 매우 섬세한 유리섬유(직경=0.2㎛)는 포유동물세포 배양액 속에 세포독성이 있다고 결론을 얻었다.

Tarny(1977년)등은 석면과 유리섬유의 돌연 변이성을 평가하기 위해 직경이 0.12㎛ 와 0.19㎛ 크기의 입경을 가진 박테리아를 사용하였다. 돌연 변이성 활동 도를 시험할 때 석면과 유리섬유는 서로 화합되지 않는다는 것을 알았고 유리섬유는 석면 보다 더 덜 활동적이라는 것도 알았다.

Oshimuar[38] (1984년) 등의 발표를 보면 유리섬유는 피부, 눈 및 호흡 관에 예민한 자극증상을 보이며 특히 피부 손상은 흔한 일이며 자극 정도는 개인 특성에 따라 다양하다. 심한 근로자의 경우는 피부자극으로 인해 작업 종을 바꿀 필요성 까지 있다. 유리섬유 노출에 따른 잠재적인 만성 건강장해 영향에 따른 검사를 위해 호흡. 주입 및 주사등 시험물질 종류에 따라 쥐, 토끼 등과 같은 설치류 동물에 노출 시키므로 유리섬유의 잠재적인 발암성에 관한 영향정도를 평가 하였다고 보고 하였다.

Ⅵ. 결론요약

산업안전보건법 제 24조에 명시되어 있는 내용은 분진에 의한 건강장해를 예방하기 위해 사업주는 필요한 조치를 취하도록 되어 있으나 석면 대체물질로 많이 사용되는 유리섬유, 암면등과 같은 단열재인 인공광물섬유(Man-Made Mineral Fiber, MMMF)의 경우는 산업안전보건법에 명시되어 있지 않고 우리나라에서 아직까지 이러한 단열재 물질의 유해성에 대한 연구도 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 근로자들의 폭로농도는 물론 크기 및 직경 등의 분포에 대한 연구자료도 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인공광물섬유중 산업용으로 많이 사용되고 있는 유리섬유 광물사업장을 대상으로 근로자 폭로농도와 섬유의 크기특성을 파악하고자 실시한 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

① 우리나라 유리섬유(Glass fiber) 제조는 1958년부터 생산되었고 년간 총 생산량은 현재 4만 8천 톤에 이르고 근로자수는 약 1300여명이며, 암면(Rock wool) 제조는 1981년부터 생산이 시작되었으며 년간 총 생산량은 현재 6만 4천톤에 이르고 근로자수는 약 200여명이다. 이들 제조공장에서 비산되는 총 분진의 농도는 대체적으로 권장치($10mg/m^3$) 범위내에 있다는 것을 알수 있다. 또한 암면의 경우 생산량 대비 근로자수가 적은 것은 거의 모든 공정이 자동화되어 있어 보다 나은 작업환경에서 근무한다고 판단된다.

② 단열재 유리섬유를 취급하는 H. I. 사의 총 분진 및 유리섬유 농도를 측정한 결과는 허용기준치 보다 매우 낮은 값을 보이고 있는데 이유는 페놀레진 접착제를 사용한 유리섬유 원료를 쓰므로 분진 비산량이 적은 것으로 판단된다.

③ 유리섬유 제조업체인 H. G. 사의 여러 공정중 특히 섬유화(Fiberizing) 공정에서 비산되는 총 분진량은 허용기준치 이내에는 들어 있으나 다른 공정과 비교할 때 5배 내지 30배 정도 큰 농도값을 보였다. 그러므로 이 섬유화 공정은 가능한 한 자동화 시설로 개선하여 노출량을 최소화 해야 할 것으로 사료된다.

④ 총 분진을 측정한 제조공정에 따라 여러 작업공정에서 균일하게 낮은 농도값을 보이는 사업장은 비교적 효율적인 국소배기 시설을 가동하고 있었다. 그러므로 이 시설의 효율적인 사용을 권장해야 할 것이다.

⑤ 우리나라 유리섬유 공장에서 실제 사용되고 있는 섬유크기 분진특성을 그림[4-1]에서 보는 바와 같이 입자직경이 5㎛~30㎛에 해당하는 분포를 보이고 있었다. 또한 유리섬유 직경은 그림[4-2]에서 보듯이 직경길이가 1.0㎛에서 3.5㎛의 분포를 보이고 있어 이값은 Konzen(1976년)등이 발표한 유리섬유의 평균직경이 1~4㎛로 본 연구 실험결과치와 매우 잘 일치 하였다.

⑥ 1995년 12월 현재까지 우리나라 유리섬유와 암면제조업체 및 사용업체에 근무하는 근로자들의 직업병 발생에 관한 보고는 없었다. 그러나 유리섬유 사용업체 공장주변의 수질오염으로 인한 주민들의 집단 괴 종양이 발생되었다는 95년 2월자 신문 보도가 있었기 때문에 인조섬유에 의한 직업병의 발병 가능성을 완전히 배제 할 수 없다. 따라서 잠재적인 직업병의 발생을 예방하기 위해서 인조섬유에 대한 노출관리가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

Ⅶ. 참 고 문 헌

1) 김현욱, 문지영, 한국산업위생학회지, 제 4권 2호, 157 (1994)

2) 박동욱, 신용철, 박승현, 이나루, 이광용, 오세민, 문영한 ibid , 제 4권 2호, 168 (1994)

3) Bartley. D. L : Letter to J. Doull, TLV Committee, July 9, (1991)

4) Kenny. L. C : Optimization of the performance of Respirable dust Samplers. Appl. Occup. Environ. Hyg. 8 (4), 386 (1993)

5) International Organization for standardization(ISO) : Air Quality-Particle size Fraction Definitions for Health-Related Sampling. Approved for publication as CD 7708. ISO.Geneva (1991)

6) European Standardization Committee(CEN) : Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne particles in the Workplace. Approved for publication as pr EN 481.CEN Brussels (1992)

7) Grimm HG, Carcinogenic risk of MMMF form mineral fiber Insulation products staub Reinhaltung Der Duft, 46(3), 105 (1986)

8) Anonymous et al., Man Made Mineral Fiber WHO, Env. Health Criteria, 77, 165 (1989)

9) TAQI, S. A. M. Jaffrey, Occup. Med. Hyg. Lab., Health & Safety Excutive, 403, Edgware Rd, Vol. 24A, No1, 133 (1989)

10) Sarracci. R. L. Simonato. E. O. Acheson and C. Zocchetti, Brit. J. Ind. med., 41, 425 (1984)

11) Olsen, J. H. et al., Scan. J. Work Environ. (1984)

12) Enterline. P. E. Marsh. G. M. and Callahan. G., Biological Effect of MMMF (1992)

13) Robinson. et al., Brit. J. Ind. Med., 39, 45 (1982)

14) Leanderson. P. et al., Int. Congress Occup. Health (1987)

15) Pott F. and K. H. Friedrichs, Environ, Health Perspect, 9, 313 (1974)

16) Mohr. U. F. Pott and F. J. Vonahme, Exper. Pathol. 26, 179 (1984)

17) Miller K. et al., Biological Effects of Mineral fibers I, 459 (1980)

18) Tilkes F. et al., E. H. P. 51, 275 (1983)

19) Wordsworth C. D. et al., Med. Del. Lavoro 72, 96 (1983)

20) Chiappino. G. Friedrichs K. H. and Todaro A. Med. del. Lavorv, 72, 101 (1981)

21) Saracci. R. L. Simonato, E. D. Acheson and C. Zocchetti., Brit. J. Ind. Med. 41, 425 (1984)

22) Konzen. J. L. Occup. Med. 54, 1067 (1988)

23) Shannon. H. S.and M. Hayes, Brit. J. Ind. Med., 47, 533 (1990)

24) Enterline. P. E. Marsh. G. M. and Esmen. N. A., Am. rev. resp. disease 128, 22 (1983)

25) Corn M. and E. B. Sansone, Envion. Res. 8, 37 (1974)

26) Dement, J. M. Ibid, 9, 295 (1975)

27) Head, I. W. H. and R. M. Wagg, Ann. Occup. Hyg. 23, 235 (1980)

28) Balzer, J. L., Environmental Data, NIOSH pub, (No 82-50)
Washington, D. C, Government printing office.

29) Ottery, J. J. W. Cherrie, J. dodgson and G. E. Harrison, WHO/IARC Conference Vol I, WHO. Apr. 20-22, 83, (1982)

30) Esmen, N. A. Sheeman. M, J. and N. Kotsko, Environ. Res. 38, 386, (1982)

31) Riediger, G, WHO/IARC Conference Vol I, WHO, 133 (1984)

32) Cherrie, J. J. dodgson. S. Groat and W. Maclaren, Scad, J. Work, Environs, Health 12(Suppl) 18-25 (1986)

33) Antonsson, A and S. Rummark, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 48(8), 684 (1987)

34) Lees, P. Baltimore, Md., March 4-5 (1991)

35) Bayliss D. L, J. M. Dement, J. K. Waggoner and H. P. Blejer., Am. N. Y. Acad. Sci., 271, 324 (1976)

36) Enterline, P. E. and V. Henderson, Arich. Environ. Health 30, 113 (1975)

37) Marsh, G. M., Enterline P. E., Stone. R.A., and V. L. Henderson. Med. 32(7), 594 (1990)

38) Oshimuar, M. T. W. Hesterberg and J. C. Barrett, Cancer Res. 44(11), 5017 (1984)