

회귀분석에 의한 공기중 인조광물 섬유 허용기준과 부합하는 총분진 농도의 추정

인제대학교 산업안전시스템공학부, 산업안전보건연구원*
신용철[†]·이광용*

- Abstract -

Estimation of Total Dust Concentration Complying with the TLV of Airborne Man-made Mineral Fibers by Regression Analysis

Yong Chul Shin[†] and Gwang Yong Yi*

*School of Industrial Safety and System Engineering, Inje University, Kimhae
Industrial Safety and Health Research Institute, Incheon*

The purpose of this study was to investigate the correlation between airborne total dust and man-made mineral fibers (MMMMF), and to estimate total dust concentration to maintain below the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Value (TLV[®]) for the MMMF. The regression coefficients between airborne total dust concentrations and fiber concentrations determined in the industries producing glass fibers, rock wool, refractory ceramic and continuous filament glass fibers products were 0.41, 0.42, 0.20 and 0.19, respectively. The size characteristics of fibers as well as the amounts of contaminated non-fibrous dusts could affect the correlation intensities. When total dust and fiber exposure data were compared with the occupational exposure limits, there was a large gap

between two evaluation results. The regression coefficient between total dust and fiber data was increased ($r^2 = 0.88$) in the process of insulation installation generating in the higher levels of glass or rock wool fibers. In this case, an estimated total dust concentration of glass wool or rock wool fibers complying with the ACGIH TLV (1 f/cc) was 1.7 mg/m³. In conclusion, the total dust and fiber concentrations was highly correlated at the higher exposure levels so that total dust-monitoring data could be used to control simply and economically and to estimate worker's exposure to fibers.

Key Words : Man-made mineral fibers, MMMF, glass wool, rock wool and refractory ceramic fibers, correlation between total dust and fiber

[†] 교신저자 : 경남 김해시 어방동 607 인제대학교 산업안전시스템공학부

(Tel) 0525-320-3676, (Fax) 0525-325-2471, (E-mail) YCSHIN@IJNC.INJE.AC.KR

I .

(man-made mineral fibers, synthetic vitreous fibers, MMMF) 가 5 mg/m³ (Bender et al., 1991), Occupational Safety and Health Administration(OSHA) (NIOSH, 1988).

(inert dust) 10 mg/m³ MMMF (refractory ceramic fibers), (rock wool fibers), (continuous filament glass fibers) (slag wool fibers) 가 가 MMMF (, MMMF 1998). 가 MMMF , MMMF 가 (Bender et al., 1991; IARC, 1988). Corn and Sansone, 1974; Jaffery, 1990; Konzen, 1976) MMMF 가 , 가 가 가 (IARC, 1988) 가 MMMF (Bunn et al., 1993) , American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) , 가 Threshold Limit Value(TLV) (8-hour time weighted average) 1 f/cc , 가 가 (Suspected Human Carcinogen, A2) TLV 0.1 f/cc "Notice of Intended Changes" (ACGIH, 1999). ACGIH(1999) TLV , 5 mg/m³ 가 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) , (≤3.5 μm, ≥10 μm) 3 f/cc, .

II.

가

가 , , ,

III.

1.

NIOSH Method #0500(NIOSH, 1994)

37 mm cellulose ester membrane(MCE) (0.8- μm , Type AA, Millipore Corp.)

1

10% blank

MMM

Fig. 1 - Fig. 4

A rule

0.42,

0.46, 0.41,

0.19

MMM

0.19

, NIOSH Method # 7400(NIOSH, 1994)

MCE acetone/triacetin

($p < 0.001$).

Walton-Beckett graticule(G22,

Graticules Ltd, UK) (Carl

Zeiss, German) “A” “B”

0.41 - 0.46

. A 가 $5 \mu\text{m}$

0.20

(aspect ratio)가 3:1

, B 가 $5 \mu\text{m}$

: 5:1

$3 \mu\text{m}$ ()

“A” B

(regression coefficient,

r^2)

가

가

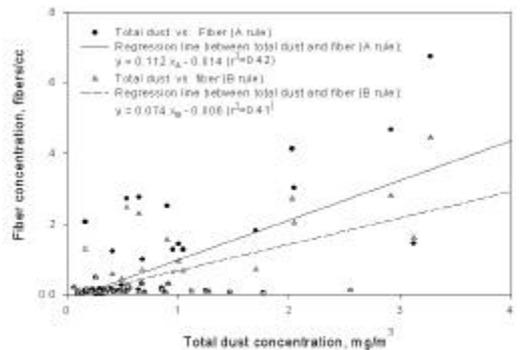


Fig. 1. Plot of total dust and fiber concentrations in air samples collected from glass wool fiber industries.

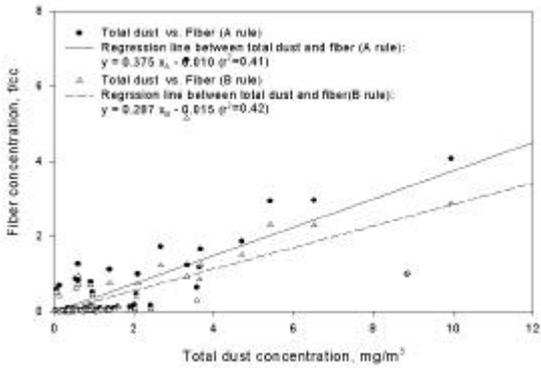


Fig. 2. Plot of total dust and fiber concentrations in air samples collected from rock wool fiber industries.

B

0.41, 0.19, 0.42,
0.20, 0.18
($p < 0.001$).

MMMf

가

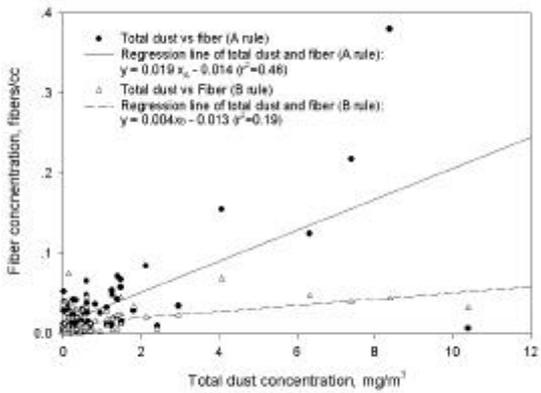


Fig. 3. Plot of total dust concentrations and fiber concentrations in air samples collected from continuous filament glass fiber industries.

가
MMMf
가

B A

MMMf

B

3 μ m 가

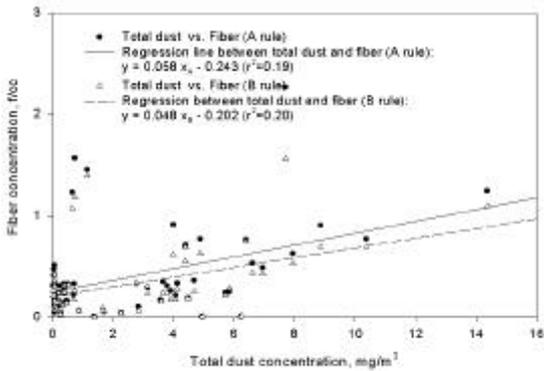


Fig. 4. Plot of total dust and fiber concentrations in air samples collected from ceramic fibers industries.

가

가

가

가

가

0.18 - 0.19

가

Table 1 . 15

MMMMF

10 mg/m³

ACGIH TLV 5 mg/m³

3

20%

(1 f/cc)

6 (40%)

Corn and Sansone(1974)

가

2

가 5 mg/m³

가

가 1 f/cc

. Lees et

가

10 mg/m³

al.(1993)

5 mg/m³

TLV

가

1 f/cc

가

. Bender et al.(1991)

가

2.66 mg/m³

2)

가

1 μm

가

Berum et al.(1986)

Schneider (1987)

가 , Talbe 1

가

가

3.4%가

10

mg/m³

0.1 f/cc

79.3%

가

가

5 mg/m³

2.

가

가

10

9 (90%)가 ACGIH가

TLV 0.1

1)

f/cc

가

5 mg/

m³

19

10

0.1 f/cc

가

가 가

가 5

mg/m³

(10 mg/m³)

(1 f/c)

가 0.1 f/cc

38

31

. ACGIH

TLV 5 mg/m³

Table 1. Comparison of Evaluation Results for Total Dust and Fiber Concentrations

Type of Process	No. of Sample	Evaluation Results for Exposure to Total Particulate	Evaluation Result for Exposure to Fiber
Installation of rock wool	15	Exceeding 5 mg/m ³ 3 (20%)	Exceeding 1 f/cc: 6 (40%)
		Exceeding 10 mg/m ³ None	Exceeding 1 f/cc of samples ≥5 mg/m ³ 4/4 (100%)
			Range of total dust concentrations of samples > 1 f/cc : 2.66 - 9.95 mg/m ³
Production of ceramic fiber products(wool and module)	29	Exceeding 5 mg/m ³ 10 (34.5%)	Exceeding 0.1 f/cc: 23 (79.3%)
		Exceeding 10 mg/m ³ 1 (3.4%)	Exceeding 0.1 f/cc of samples ≥5 mg : 9/10 (90%)
			Exceeding 0.1 f/cc of samples <5 mg : 10/19 (52.6%)
			Range of total dust concentrations of samples > 0.1 f/cc : 0.17 - 2.26 mg/m ³

Table 2. Estimated Value and 95% Confidence Intervals of Fiber Concentration at Given Total Dust Concentrations

Total Dust Conc., mg/m ³ (X)	Fiber Conc., f/cc (Y)	
	Estimated Value	95% Confidence Interval
1.7	0.83	0.66 - 1.00
2.0	0.91	0.74 - 1.07
2.5	1.04	0.88 - 1.19
3	1.17	1.01 - 1.32
5	1.69	1.50 - 1.87
10	2.98	2.55 - 3.40

3. Table 2
 Table 2
 10 mg/m³
 (95%) 2.98 f/cc (2.55
 1) - 3.40 f/cc) ACGIH TLV 1 f/cc
 Fig. 5 . 5 mg/m³ 1.69
 f/cc(1.50 - 1.87 f/cc) TLV .
 r = 0.94 10 mg/m³
 . 5 mg/m³
 Y = 0.258 X + 0.394 (r² = 0.88, p<0.001) TLV .

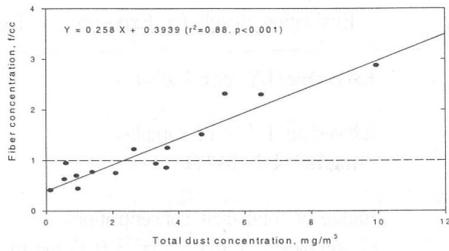


Fig. 5. Regression between fiber and total dust concentrations during in stalling rock wool or glass fiber insulations at a shipyard

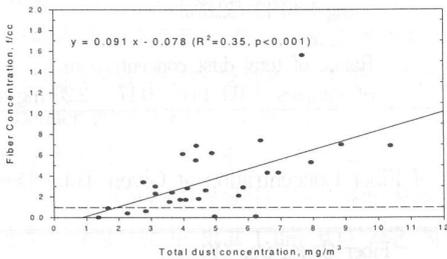


Fig. 6. Regression between fiber concentrations and total dust concentrations in a ceramic fiber manufacturing factory.

회귀식에 따르면 총분진 농도가 1.7 mg/m³에서는 섬유농도는 0.83 f/cc (0.66 - 1.00 f/cc)로 나타나, 이 수준의 총분진 농도는 95% 신뢰수준에서 섬유농도 기준을 만족시킬 수 있음을 보여준다.

2) 세라믹 섬유 및 제품 생산 공정

세라믹 섬유 관련 제품을 생산하는 한 사업장의 섬유 농도와 총분진 농도간의 회귀식은 $Y = 0.091X - 0.078$ ($Y =$ 섬유 농도, $X =$ 총분진 농도, $r^2 = 0.35$)으로 나타났다 (Fig. 6). 이와 같이 두 변수의 상관계수는 단열재 시공 작업의 경우보다 낮았다. 이 회귀식을 이용하여 섬유 농도 추정치의 95% 신뢰구간의 상한값이 0.1 f/cc를 초과하지 않는 총분진 농도는 0.5 mg/m³으로 나타났다. 이 사업장의 경우 섬유 농도를 95% 신뢰수준에서 섬유 농도를 0.1 f/cc 미만으

로 유지하려면 총분진 농도를 0.5 mg/m³ 미만으로 관리하여야 할 것이다.

다른 사업장의 총분진 및 섬유 농도간의 상관계수는 $r^2 = 0.13$ 으로 다른 사업장에 비해 상관성이 비교적 약한 것으로 나타났다. 이 사업장의 경우 구한 회귀식의 설명력이 약해 분진농도로 섬유 농도를 예측하는 것은 타당하지 않은 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

인조광물섬유 발생 공정에서 채취한 공기시료에서 호흡성 섬유 농도와 총분진 농도의 회귀계수(r^2)는 유리섬유 0.41, 암면 섬유 0.42, 세라믹 섬유 0.20, 장유리섬유 0.19로 나타났다. 유리면과 암면 섬유의 경우 두 변수간의 회귀계수는 비교적 높은 반면, 장유리섬유 및 세라믹 섬유의 경우 회귀계수는 비교적 낮았다. 이와 같이 섬유 종류에 따른 차이는 비섬유상의 입자상 물질의 영향뿐 만 아니라 섬유의 직경 및 길이 특성 차이에 기인하는 것으로 추정된다.

농도가 비교적 높은 유리 섬유 또는 암면 섬유 시공 작업에서 측정된 공기중 총분진과 섬유 농도의 각 기준 초과율은 큰 차이가 있었다. 총분진 농도가 10 mg/m³을 초과한 시료는 한 건도 없었으나 섬유농도가 1 f/cc를 초과하는 시료수는 전체의 40%로, 총분진 노출기준인 10 mg/m³은 섬유 노출기준 1 f/cc를 충족시키기에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 한편, 세라믹 섬유 제조 및 가공업체의 경우 총분진 농도가 10 mg/m³을 초과하는 시료는 3.4%였으나 개정 공고된 ACGIH TLV 0.1 f/cc를 초과하는 시료는 79.3%로 두 결과간에는 큰 차이가 있었다.

섬유분진이 높은 농도로 발생하는 암면 또는 유리면 단열재 시공 작업에서 측정된 총분진 농도와 섬유 농도의 상관성은 높게 나타났다($r^2 = 0.88$). 두 변수간의 회귀식을 이용하여 섬유 농도를 ACGIH TLV (1 f/cc) 미만으로 유지하기 위한 총분진 농도를 추정한 결과 5% 유의수준에서 1.7 mg/m³로 나타났다. 세라믹 섬유 제조 및 가공 공정에서는 총분진

농도를 0.5 mg/m³ 미만으로 관리하여야 5% 유의 수준에서 섬유 농도는 0.1 f/cc 미만으로 유지되는 것으로 나타났으나, 두 변수간의 상관성($r^2 = 0.35$)은 암면 또는 유리섬유 경우보다 비교적 낮았다.

결론적으로, 본 연구 대상과 같이 비교적 높은 농도로 발생하는 암면 또는 유리면 섬유 발생 공정에서는 총분진 농도와 섬유 노출 농도는 밀접한 상관관계가 있으므로, 총분진 자료는 과거의 섬유 노출력을 추정하거나 근로자의 섬유 노출관리에 활용될 수 있으리라 본다. 그러나 세라믹섬유 시료의 경우 두 변수간의 상관관계가 낮아 제한점이 있다. 한편, 총분진 기준인 10 mg/m³은 호흡성 섬유 농도에 대한 ACGIH 기준 1 f/cc를 훨씬 초과하며 이 섬유 기준과 부합하는 총분진 농도는 1.7 mg/m³인 것으로 연구결과 나타났다. 국내 유리 섬유의 노출기준은 총분진으로 10 mg/m³이기 때문에 유리섬유의 유해성에 근거하여 적절하게 개정되어야 하고 노출기준이 없는 다른 인조광물섬유의 경우 노출기준 제정이 필요하다.

REFERENCES

- 노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제 91-21호, 노동부, 1998
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 1999 TLVs[®] and BEIs.[®]
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1999
- Bender, JR, JL Konzen, GE Devit: Occupational Exposure Toxic Properties, and Work Practice Guidelines for Fiber Glass. AIHA, Fairfax, VA, 1991.
- Berum, NO, E Holst, and T Schneider: Evaluating Occupational Exposure to Man-Made Mineral Fibre Dust by a Screening Test. Staub Reinhalt Luft 1986;46:276-283.
- Bunn, III WB, JR Bender, TW Hesterberg, GR Chase and JL Konzen: Recent Studies of Man-Made Mineral Vitreous Fibers. J. Occup Med 1993;35:101-113.
- Corn, M and EB Sansone: Determination of Total Suspended Particulate Matter and Airborne Fiber Concentrations at Three Fibrous Glass Manufacturing Facilities. Environ. Res. 1974;8:37-52.
- 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.
- 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, 1976:115-120
- Lees, PSJ, PN Breyse, BR McArthur, ME Miller, BC Rooney, C.A. Robbins and M Corn: End User Exposure to Man-Made Vitreous Fibers: I. Installation of Residential Insulation Products. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1993;8(2):1022-1030.
- National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH Docket Submission: Hearing on the Final Air contaminants Rule for General Industry, Doc. H-020, EX 8-47, 1988
- National Institute for Occupational Safety and Health: Method 0500: Particulates Not Otherwise Regulated, Total. In: NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, 1994.

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.

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