

## 시료채취방법에 따른 면분진의 공기 중 농도 비교

피영규\* · 김현욱\*\* · 변상훈†

고려대학교 보건과학대학 환경보건학과, \*대구한의대학교 보건치료대학 보건학부,

\*\*가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

(2009. 8. 20. 접수/2009. 9. 16. 수정/2009. 10. 13. 채택)

## A Comparison of Cotton Dust Concentrations Measured by Three Dust Samplers

Young-Gyu Phee\* · Hyun-Wook Kim\*\* · Sang-Hoon Byeon†

Department of Environmental Health, College of Health Sciences, Korea University

\*Department of Health Science, College of Health & Therapy, Daegu Haany University

\*\*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Catholic University

(Received August 20, 2009/Revised September 16, 2009/Accepted October 13, 2009)

### ABSTRACT

This study was undertaken to compare the performance of three dust samplers for collecting cotton dust fibers. For this study, three dust samplers including Vertical Elutriator (VE), Total Dust Method (TDM) using 37 mm cassette, and the Institute of Occupational Medicine (IOM) sampler were selected. A total of 6 cotton mills and 4 towel factories were investigated. When measured by VE, the GM for cotton dust was 0.19 mg/m<sup>3</sup> which was less than the current occupational exposure limit (OEL) 0.2 mg/m<sup>3</sup>. But when measured by TDM and IOM at the same locations, the GMs were 0.37 and 0.63 mg/m<sup>3</sup>, respectively. In Korea, most industrial hygienists have used the TDM for cotton dust measurements and the results were compared with either the TLV for cotton dust or the PNOC (particulates not otherwise classified) of 10 mg/m<sup>3</sup> for making decisions. The results of this study clearly showed that past cotton dust measurements and decisions made with such results were not correct. It needs to be noticed the related contents by using VE if it applies to the exposure limit, 0.2 mg/m<sup>3</sup>, and needs to be revised the exposure limit by IOM. Also, if TDM is used, it requires to be studied and suggested to the new OEL.

**Keywords:** cotton dust, vertical elutriator, total dust sampler, IOM sampler

### I. 서 론

면(Cotton)은 직물의 생산에 사용하기 위하여 원료물질로 재배된다. 면섬유 자체는 순수한 섬유상 물질일 수 있지만 성장, 수확 또는 취급하는 과정에서 면섬유 이외에 박테리아, 곰팡이, 흙, 살충제, 면 이외의 물질 등 여러 오염물질이 노출될 수 있다.<sup>1)</sup>

면폐증(byssinosis)은 짧은 호흡, 기침, 흉부압박감 등의 특이적인 증상이 있으며, 목화나 대마(soft hemp), 아마(flax)와 같은 유기섬유를 다루는 직업에서 생기는 질병이다. 이러한 증상은 1/2 등급(Grade)의 경우 월요

일에 가끔 나타나고, 1 등급은 월요일에 지속적으로 나타나며, 2 등급은 월요일뿐 아니라 다른 요일에도 나타날 수 있고, 마지막 단계에서는 폐의 영구적인 손상으로 진행된다.<sup>2)</sup> 또한 면은 그람음성균 박테리아 내독소(endotoxin)에 오염되어 만성 호흡기 증상과 폐기능 감소를 유발하고, 최근 연구에 의하면 내독소가 면폐증 발병시작의 원인이 되는 것으로도 추측하고 있다. 섬유산업의 면분진 노출로 인한 근로자 폐기능 저하와 면폐증의 관계는 이미 수백여 년 전부터 알려져 있는 사실이었다. 영국의 역학연구 결과에 의하면 면폐증의 이환율이 1950년대에 조사한 이후 노출농도의 감소와 더불어 지속적으로 감소됨을 알 수 있는데 최초 면방직공장의 노출농도가 가장 높은 부서의 근로자 약 50%가 이환되었음을 보고하였다.<sup>3)</sup> 그 이후 Cinkotai 등(1988)은 고위험군의 근로자들에게서 10%의 면폐증 이

†Corresponding author : Department of Environmental Health, Korea University  
Tel: 82-2-940-2866, Fax: 82-2-940-2866  
E-mail : shbyeon@korea.ac.kr

환율을 보고하였고,<sup>4)</sup> 1999년에는 전향적 연구결과로서 전체적으로 3%의 면폐증 이환율이 있는 것으로 조사하였다.<sup>5)</sup> 이렇듯 면폐증 이환율의 감소는 먼분진 노출의 감소와 연관되어 있다.

1978년 미국산업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)은 면섬유 가공과 관련된 종사 근로자의 수를 104,800명으로 추산하였으며 1972년과 1973년 사이에 약 3.3백만 톤의 면이 생산된 것으로 보고 하였다.<sup>6)</sup> 우리나라의 경우 원면은 거의 대부분 미국, 인도 등 외국에서 수입하고 있으며, 2005년에 약 27만 여 톤이 수입되었고 면 섬유 취급 근로자 수는 약 4,351명으로 파악하고 있다.<sup>7)</sup>

우리나라는 면폐증의 예방을 위하여 산업안전보건법에서 작업환경측정 및 특수건강진단을 실시하고 있으며 산업보건기준에 관한 규칙에서는 먼을 섞거나, 두드리는 장소에서의 작업에 대하여 설비, 관리, 보호구에 관한 사항을 규정하여 관리하고 있다.<sup>8)</sup> 노동부는 2005년 4,934명을 먼분진에 대한 특수건강진단을 실시하였으며 그 결과 직업병 요관찰자는 4명, 직업병 유소견자는 1명이 발생하였다고 발표하였다.<sup>9)</sup> 또한 먼분진에 대한 작업환경측정 실시사업장수는 분진으로 통합 발표되어 정확히 파악할 수는 없었지만 현재 노출기준은 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 규정하여 작업환경을 관리하고 있다.<sup>8)</sup>

먼분진의 크기는 5 μm 이하에서부터 2 mm에 이르며, 이 분진을 측정하는 데는 크기에 관계없이 총량을 채집하는 방법과 크기를 구분하여 채집하는 방법으로 크게 구분 된다(김정만, 1984). 미국의 경우 1960년대 이전에 먼분진의 시료채취는 개방형의 3단 카세트를 사용한 총분진 측정(Total Dust Measurement, TDM)을 기본으로 하였다.<sup>10)</sup> 그러나 생물학적으로 관계가 없는 긴 비흡입성 섬유 등의 포집에 의해 제기된 부정확성이 원인이 되어 Lumsden-Lynch 수직분리기(Vertical Elutriator, VE)가 개발되었고 1973년에 미국 섬유산업계에서 활용되기 시작하였다. 이 시료채취기는 공기역학적 직경이 15 μm 이하의 먼분진이 채취되도록 디자인된 것으로서 비흡입성 섬유의 채취와 관련된 부정확성의 제거에 목적을 두었다.<sup>10)</sup> 이후 OSHA는 VE를 미국 먼분진의 노출측정에 대한 표준 방법으로 채택하였고 이를 사용한 허용노출기준(Permissible Exposure Limits, PELs)을 방사공정의 경우 0.2 mg/m<sup>3</sup>, 베고 짜는 공정은 0.75 mg/m<sup>3</sup>로 설정하였다.<sup>1)</sup>

영국의 경우 먼분진에 대한 작업장노출기준(Workplace Exposure Limits, WELs)을 2.5 mg/m<sup>3</sup>로 규정하고 있으나 IOM 흡입성 분진 채취기(Institute of

Occupational Medicine Inhalable dust sampler, IOM sampler)를 활용한 개인시료 채취방법을 권고하고 있다.<sup>11)</sup> 일본은 먼분진을 2종 분진으로 구분하고 있으며 총분진은 4 mg/m<sup>3</sup>, 호흡성분진은 1 mg/m<sup>3</sup>로 규정하고 있다.<sup>12,13)</sup> Merchant 등(1973)은 15 μm 이하의 먼분진 0.3 mg/m<sup>3</sup>의 농도에서 20%의 면폐증 증상 발현율을 보고하였는데,<sup>13)</sup> 이 사실을 근거로 미국정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 기준(Threshold Limit Values)제정 위원회는 15 μm 이하의 먼분진에 대하여 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 규정하였고 현재까지 이 기준을 유지하고 있으며 수직분리기 사용을 원칙으로 하고 있다.<sup>14)</sup>

우리나라는 이미 언급한 바와 같이 먼분진에 대한 노출기준을 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 설정하고 있지만 측정방법에 대하여는 총분진으로 채취해야 하는지 수직분리기로 채취해야 하는지에 대한 정확한 언급이 없다. 따라서 현재 대부분의 작업환경측정기관에서는 총분진으로 시료채취를 하고 있으며, 수직분리기를 활용한 ACGIH의 노출기준과 동일한 기준을 적용함에 따라 대부분의 측정결과가 노출기준 초과로 나타나고 있다. 이로 인하여 일부에서는 기타분진의 노출기준인 10 mg/m<sup>3</sup>을 적용하는 등 혼란스럽게 운영되고 있다. 또한 외국에서는 먼분진과 관련된 연구가 어느 정도 이루어진 바 있지만 우리나라의 경우 먼분진에 대한 노출수준 등에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 면 취급 사업장에서 발생하는 먼분진의 노출수준을 파악하되 다양한 시료채취기를 활용하여 그 특성을 파악해보고 그 결과를 통하여 우리나라에 적절한 노출기준 및 측정방법을 제시하는데 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

2006년 5월부터 10월까지 전라도 지역을 중심으로 전국에 원면을 취급하는 6개의 방적사업장과 4개의 타월사업장에 대하여 먼분진의 노출수준을 측정하였고, 사업장의 작업환경실태는 현장조사를 통하여 파악하였다.

### 2. 연구방법

먼분진의 농도를 비교하기 위하여 세 가지의 시료채취기를 활용하였고 동시에 측정을 실시하였다. 첫 번째, 수직분리기를 이용한 측정은 시료채취기구로서 Lumsden-Lynch 수직 분리기를 활용하였으며 유속은 7.4±0.2

L/min으로 채취하기 위하여 펌프는 10 L/min 정도까지 채취할 수 있는 고용량 시료채취펌프(SK, USA)를 이용하였다. 5 µm 공경크기와 37 mm 직경의 PVC(Polyvinylchloride) 여과지를 폴리스틸렌 재질의 3단 카세트에 조립 후 수직분리기에 장착하여 먼분진을 측정하였고, 10 µg의 민감도를 가진 천칭(OHAUS, USA)을 사용하여 중량분석을 실시하였다. 또한 여과지 및 먼분진의 수분영향 제어를 위해서 측정 전·후에 데시케이터에 약 24시간 진처리 후 중량분석을 하였다.

두 번째, 총분진의 시료채취는 폴리스틸렌 재질의 3단 카세트를 이용하였으며 시료채취펌프(MSA, USA)는 시료채취 전·후에 유량보정을 하였고 유속은 약 2 L/min으로 채취하였다. 여과지는 PVC 여과지(공경 5 µm, 직경 37 mm)를 사용하였다.

세 번째, 흡입성 분진을 채취하기 위하여 IOM 시료채취기에 직경 25 mm, 공경 0.8 µm인 멤브레인 필터를 장착하였으며 시료채취펌프(MSA, USA)의 유속은 약 2.0 L/min으로 하였다.

세 개의 측정기구들 중에 수직분리기는 지역시료 채취용이고, 나머지는 개인시료 채취용이지만 먼분진 농도의 채취성능 평가를 위하여 동시에 한 위치에 놓고(side by side) 지역시료 채취방식으로 측정하였다. 측정 위치는 공정 중에 대표할 수 있는 지점을 선택하였고 측정시간은 정상 작업 중 오전부터 오후까지 약 6시간 이상을 채취 하였다.

또한 세 개의 시료채취기구들은 유량측정기(BIOS, DC-1, USA)를 이용하여 측정 전·후에 유량을 보정(calibration)하였다.

시료채취기구 별, 공정간 차이 등에 대한 통계분석은 통계 패키지인 SPSS(12.0, USA)로  $\alpha=0.05$ 의 수준에서 ANOVA를 이용하여 Scheffe의 다중비교로 검정하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 방직사업장의 공정 및 시료채취방법에 따른 먼분진의 노출 수준

6개의 방직회사에서 측정한 먼분진은 크게 5가지 공정으로 구분이 가능하였다. 소면(carding)의 경우 혼타에서 가공된 면을 빗질하여 섬유질을 가지런히 하는 공정과 불순물 제거하는 공정이며 코마(combing)는 빗질, 단섬유 제거공정이고, 연조(drawing)는 섬유들을 잡아 늘려 일직선으로 해서 실의 크기를 줄이는 것이다. 정방(spinning)은 꼬아진 원면을 고속 회전시켜 실을 생산하는 것이고 권사(winding)는 실을 상품화하기 위해 감이주는 공정이었다. 측정된 자료는 Sapiro wilks 검정결과 대수정규 분포하는 것으로 나타나, 기하평균과 기하표준편차로 결과를 나타내었다.

수직분리기를 이용하여 측정한 먼분진의 기하평균은 0.19 mg/m<sup>3</sup>이었다. 특히, 소면과 권사 공정의 기하평균은 각각 0.23 mg/m<sup>3</sup>과 0.50 mg/m<sup>3</sup>이었으며 권사공정은 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높은 결과를 보였다(Table 1). 총분진의 경우 먼분진의 기하평균은 0.48 mg/m<sup>3</sup>이었으며 소면공정이 0.96 mg/m<sup>3</sup>로 다른 공정에 비하여 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였다. IOM 시료채취기로 측정한 먼분진의 기하평균은 0.68 mg/m<sup>3</sup>이었고 기하표준편차는 5.04로 공정 별로 편차가 크게 나타났으며 공정 별로는 역시 소면공정이 1.51 mg/m<sup>3</sup>로 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였다. 이러한 이유는 소면공정이 면(cotton)을 빗질하여 가지런히 하기 때문에 다른 공정에 비해 분진을 많이 발생시키는 것으로 보인다.

#### 2. 타월 사업장의 시료채취방법에 따른 먼분진 노출 수준

타월사업장 4개소의 일반적인 공정은 면을 원료로 실

**Table 1.** Cotton dust concentrations by process in cotton mill industries

Sampler	N*	VE <sup>†</sup>		TD <sup>‡</sup>		IOM <sup>‡</sup>	
		GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD
Carding	5	0.23	1.01	0.96 <sup>§</sup>	3.51	1.51 <sup>§</sup>	10.06
Combing	4	0.12	1.06	0.30	1.12	0.77	1.84
Drawing	4	0.16	1.05	0.64	6.70	1.32	18.44
Spinning	6	0.12	1.13	0.38	2.14	0.43	2.29
Winding	7	0.50 <sup>§</sup>	1.06	0.41	1.64	0.45	1.59
Total	26	0.19	1.06	0.48	2.47	0.68	5.04

\*N : Number of samples

<sup>†</sup>VE : Vertical Elutriator

<sup>‡</sup>TD : Total Dust sampler

<sup>‡</sup>IOM : Institute of Occupational Medicine sampler

GM : Geometric Mean

GSD : Geometric Standard Deviation

<sup>§</sup>Significantly difference at  $\alpha=0.05$  level by Scheffe's analysis of variance for multiple comparisons

**Table 2.** Cotton dust concentrations of woven fabric process by sampling methods in towel mill industries

VE <sup>†</sup>			TD <sup>‡</sup>			IOM <sup>‡</sup>		
N*	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	N	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	N	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD
8	0.15 <sup>a</sup>	1.07	24	0.26	1.39	24	0.57 <sup>b</sup>	2.12

\*N : Number of samples

<sup>†</sup>VE : Vertical Elutriator

<sup>‡</sup>TD : Total Dust sampler

<sup>‡</sup>IOM : Institute of Occupational Medicine sampler

GM : Geometric Mean

GSD : Geometric Standard Deviation

a, b : Significantly different groups at  $\alpha=0.05$  level by Scheffe's analysis of variance for multiple comparisons

**Table 3.** Cotton dust concentrations by sampling methods and occupational exposure limits

Sampler	N	GM(mg/m <sup>3</sup> )	Range(mg/m <sup>3</sup> )	OEL(mg/m <sup>3</sup> )*	OEL rate(%) <sup>†</sup>	Exceed rate(%) <sup>‡</sup>
VE	34	0.19	0.06~0.54	0.2	95.0	47
IOMs	50	0.63	0.08~8.09	2.5	25.2	13
TD	50	0.36	0.04~4.34	10.0	3.6	0

\*OEL : Occupational Exposure Limits

<sup>†</sup>OEL rate: (GM/OEL)×100

<sup>‡</sup>Exceed rate : (No. of samples over OEL/No. of total samples)×100

을 수 천가닥으로 감는 정경(beaming) 공정과 그것으로 타월을 짜는 제직(woven fabrics) 공정, 박음질, 그리고 검사 등의 과정을 거친다. 그러나 현장조사 결과 타월 제작이 정경공정과 제직공정에서 동일하게 이루어지고 있었으며, 주로 제직공정에서 면분진이 발생하여 이 공정에서만 시료채취를 하였다. 수직분리기를 이용한 시료수가 다른 것에 비해 적은 이유로는 타월 사업장 측정 시 수직분리기의 추가적 입수가 곤란하여 시료 수에 제한을 받았다.

수직분리기로 측정된 면분진의 기하평균은 0.15 mg/이었으며 총분진은 0.26 mg/m<sup>3</sup>, IOM 시료채취기는 0.57 mg/m<sup>3</sup>로 나타났다(Table 2). 시료채취방법 별 면분진의 평균농도에 대한 ANOVA 다중비교 결과, 총분진 측정결과는 수직분리기에 비해 높았으나 통계적으로 유의하게 높은 수준은 아니었으며, IOM 시료채취기에 의한 농도는 수직분리기로 채취한 결과에 비하여 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p<0.05).

**3. 측정 기구에 따른 면분진 농도와 노출기준과의 관계**

수직분리기로 측정된 면분진의 기하평균은 0.19 mg/m<sup>3</sup>이었고 ACGIH의 노출기준 0.2 mg/m<sup>3</sup>을 적용한 노출기준 비(기하평균농도/노출기준)는 95%이었으며 노출기준 초과율(초과시료수/총시료수)은 47%로 나타나 작업환경개선이 시급한 것으로 파악되었다.

IOM 시료채취기의 경우 영국 HSE의 작업장 노출기준(2.5 mg/m<sup>3</sup>)을 적용하였을 때 노출기준 비는 25.2%, 노출기준 초과율은 13%로 나타나 역시 일부 취급 사업장의 작업환경이 개선이 필요한 것으로 나타났다. 우리나라 작업환경측정기관이 대부분 활용하는 총 분진

시료채취기와 기타분진 노출기준(10 mg/m<sup>3</sup>)을 적용 결과 노출기준 비는 3.6%, 노출기준 초과율은 0%로 나타나 면 취급사업장의 작업환경이 저 평가되고 있는 것으로 나타났다.

면분진의 시료채취방법에 따른 면분진 농도는 IOM>TDM>VE순 이었으나 노출기준 초과비는 VE>IOM>TDM 순으로 나타나 수직분리기로 채취할 경우 노출농도는 낮지만, 노출기준이 엄격한 이유로 노출기준 초과비율은 가장 높은 수준을 보였다. 반면 IOM 시료채취기나 총분진 채취기를 이용할 경우 노출농도는 높았지만, 노출기준이 높게 설정되어 초과율은 상대적으로 낮게 나타났다.

**IV. 고 찰**

1713년 Ramazzini는 “아마와 대마에 끝손질 직공의 질병”에 대하여 더럽고 유독한 먼지 등이 날아와서 입으로 들어오고 목과 폐에 들어와서 노동자들은 끊임없이 기침을 하고 천식까지 유발된다고 기술하였고 1832년 Kay는 방적공의 폐결핵을, 1863년 Leach는 환기가 되지 않는 좁은 방에서 면을 다루는 노동자들이 호흡기에 영향을 받고 있다는 보고한 바 있다.<sup>15)</sup> 이렇듯 면분진과 직업인의 질병과의 관계는 오랜 역사를 가지고 있다.

영국의 Roach와 Schilling(1960)은 노출기준으로서 1 mg/m<sup>3</sup>을 제시하며 이 농도 이하에서는 정기적인 의학 적 감시만 이루어진다면 안전할 수 있다고 하였다.<sup>16)</sup> 그러나 Molyneux와 Berry(1968)는 3년간의 전향적 연구(prospective study)결과 총 면분진중 호흡성(respira-

ble)과 중간크기(medium) 분진이 호흡기 증상과 중요한 관계가 있는 것으로 결론지었으며, 이를 근거로 영국직업위생협회(British Occupational Hygiene Society, BOHS)의 위생기준위원회에서는 호흡성분진과 중간크기분진으로 구성된 먼분진의 농도 0.3~0.4 mg/m<sup>3</sup>에서 근로자들 20%의 증상발현을 나타내었다고 하였다.<sup>17)</sup>

그러므로, 작업자의 면폐증을 예방하기 위하여, 작업자가 노출되는 먼분진의 크기를 고려하여 측정과 노출평가가 이루어질 필요가 있었다. 현재 국제적으로 가장 많이 사용되는 먼분진 측정기구에는 15 µm 이하의 입자를 채취하는 수직분리 시료채취기와 100 µm 이하의 흡입성 입자를 채취하는 IOM 등이 있다. Merchant 등(1973)은 수직분리 시료채취기를 사용하였으며 15 µm 이하의 먼분진 0.3 mg/m<sup>3</sup>의 농도에서 20%의 면폐증 증상 발현율을 보고하였다. 특히, 처리되지 않은 원면은 0.05 mg/m<sup>3</sup>의 농도에서 3%, 0.1 mg/m<sup>3</sup>에서 7%, 그리고 0.2 mg/m<sup>3</sup>에서 13%가 면폐증의 소견을 보였다고 하였다.<sup>17)</sup> 이와 같은 사실을 근거로 미국 정부산업위생 전문가협회의 기준제정 위원회는 15 µm 이하의 먼분진에 대하여 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 설정하였는데 이 기준은 월요일 아침 대부분의 근로자들에게서 “가슴 답답함”의 가능성을 최소화하고, 비가역적인 건강 손상의 방지를 목적으로 하고 있다. 이렇듯, 면폐증의 발현과 먼분진의 크기는 중요한 관계가 있음을 알 수 있다.

그러나 수직분리 시료채취기의 단점은 기구가 크기 때문에 지역시료 채취기로서 사용해야 한다는 것이다. 먼 작업장에서 근로자들은 계속 옮겨 다니며 작업해야 하는 특성상 개인노출평가가 적합하며, 근로자의 면폐증과 노출농도와의 상관성은 지역시료 채취기보다는 개인 시료 채취기를 이용했을 때 더 높게 나타난다고 보고되고 있다.<sup>18)</sup>

따라서 먼분진을 개인시료 채취기로 측정하려는 시도는 계속되고 있다. 본 연구에서도 IOM 시료채취기를 활용하였을 때, 기하평균이 0.63 mg/m<sup>3</sup>로 총분진 시료채취기를 이용한 결과(0.36 mg/m<sup>3</sup>)보다, 75% 더 많은 먼분진이 채취되었다. 그 이유로 IOM 시료채취기는 50% 절단점(cut-point)이 100 µm인 흡입성 분진을 채취하도록 설계되어 있는데, 작업장의 날아다니는(fly) 긴 섬유 분진을 적절히 제거하지 못하기 때문이다. 또한 IOM 시료채취기의 시료유입구의 직경은 약 9 mm로, 총 분진용 3단 카세트의 유입구 3 mm 보다 세배나 커서, 먼분진이 쉽게 채취된다. 따라서 날아다니는(fly) 먼분진 덩어리 채취를 제어하기 위해 여러 연구자들이 촘촘한 망으로 IOM 시료채취기의 입구에 망을 씌워 시료를 채취하는 실험을 한 바 있다.<sup>4,18,19)</sup> 따라서 세 측

정방법간에 먼분진의 시료채취 차이는 포집기의 형태학적 차이 때문에 수직분리기(VE)<총분진 시료채취기<IOM 시료채취기의 순으로 먼분진이 많이 채취된다고 볼 수 있다.

한편, 수직분리기로 채취한 결과에 비해서 IOM으로 채취한 경우 기하표준편차가 10.06, 18.44로 높게 나타났는데, 이는 먼분진 취급 사업장 특성상 멍쳐서 날아다니는(fly) 먼분진이 많아, 상대적으로 흡입입구가 큰 IOM으로 채취하였을 경우 쉽게 흡입되어 편차가 크게 나타난 것으로 볼 수 있다.

Astrakianakis(2006)의 연구에 따르면 중국 면사업장에서 수직분리기로 채취하였을 때 43개 시료에 대한 평균농도가 0.71 mg/m<sup>3</sup>로 보고하여,<sup>20)</sup> 우리나라의 타월사업장의 0.15 mg/m<sup>3</sup>과 방적사업장의 0.19 mg/m<sup>3</sup>의 농도보다 높게 나타났다. 이는 근로자의 건강보호를 위한 작업환경에 대한 국가 간의 규제가 달라 농도차이가 발생하는 것으로 해석될 수 있다. 또한 Metha(2008)에 따르면 중국 상하이 면 사업장에서 수직분리기로 채취 시 0.36 mg/m<sup>3</sup>, IOM으로 채취시 1.74 mg/m<sup>3</sup>로 보고하여,<sup>21)</sup> IOM으로 채취하였을 경우, 수직분리기에 비해 4.8배로 높게 나타나, 3.3배로 나타난 연구결과에 비해 다소 높게 나타났다. 또한 Kader(1987)는 미국 직물산업에서 3년간의 장기간 먼분진 농도를 조사한 결과, 첫째 해는 0.06~0.396 mg/m<sup>3</sup>, 둘째 해에는 0.089~0.391 mg/m<sup>3</sup> 그리고 셋째 해에는 0.106~0.210 mg/m<sup>3</sup>로 OSHA의 허용기준 이내로 점차 농도가 감소하는 추세를 보였는데, 이것은 정부의 지속적인 관리와 사업장의 현대적이고 자동화된 설비의 도입 때문이라고 하였다.<sup>22)</sup>

본 연구대상인 6개의 면방직 사업장 규모는 다양했지만 규모가 크다고 해서 다수의 공정을 보유하고 있지는 않았다. 따라서 공정을 대표할 수 있는 지역에 시료채취기를 설치하여 한 사업장 당 4~7개의 시료를 채취하였고 일부 소규모 사업장은 공정이 명확히 구분되지 않을 경우 그 중 한 공정을 선택하여 시료를 채취하였다.

우리나라의 경우 수직분리기를 이용한 먼분진 사업장의 기하평균은 0.19 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.06~0.54 mg/m<sup>3</sup>), ACGIH의 노출기준(0.2 mg/m<sup>3</sup>) 초과율은 47%로 상당수 면취급 공정의 작업환경개선이 시급한 것으로 나타났다. 또한 IOM으로 채취 시 기하평균은 0.36 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.08~8.09 mg/m<sup>3</sup>), HSE의 노출기준(2.5 mg/m<sup>3</sup>) 초과율은 13%로 일부 공정의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 총분진 시료채취기로 측정하였을 경우 기하평균은 0.36 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.04~4.34 mg/m<sup>3</sup>), 노출기준(10 mg/m<sup>3</sup>) 초과는 없는 것으로 나타났다. 이 결과가 의미하는 것은 현행 총분진 시료채취기로 먼분진

측정이 지속적으로 이루어진다면 상당한 노출 저평가로 면폐증 발생이 가능하다는 것이다. 따라서 충분진 시료채취기를 사용할 경우 작업장을 적절히 평가할 수 있는 노출기준 마련이 시급한 실정이다. 그러나 면폐증의 경우 면분진의 크기와 밀접한 관계가 입증되었고 그에 따라 미국에서는 수직분리기로 채취하도록 하고 있으며 노출기준을 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 제시하고 있다. 우리나라의 경우 이와 동일한 노출기준이 마련되어 있지만 명확한 측정방법을 제시하지 않아 혼란스럽게 운영되고 있다. 따라서 현재의 노출기준을 유지하고자 할 경우에는 수직분리기를 이용한 채취를 의무화해야 할 것이다. 또한, IOM 시료채취기의 경우 개인시료 채취를 할 수 있고 작고 경량의 채취기라는 장점이 있지만 면분진 특성상 뭉쳐서 날아다니는 면분진 제어가 곤란하고 새로운 노출기준을 도입해야 한다는 다소의 부담이 있을 수 있다. 중요한 것은 면분진 취급사업장 근로자의 건강보호를 위해서 사용하는 시료채취기에 따라 올바른 노출기준 적용이 필요하다는 것이다.

### V. 결 론

본 연구는 6개의 방적사업장과 4개의 타월사업장에 대한 면분진의 노출수준을 수직분리기, 충분진 및 IOM 시료채취기를 활용하여 측정된 후 그 결과를 비교하였다.

1. 방적회사에서 발생하는 면분진을 수직분리기로 채취한 결과 기하평균은 0.19 mg/m<sup>3</sup>이었으며, 권사 공정이 0.50 mg/m<sup>3</sup>으로 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높았다. 충분진 채취의 경우 기하평균은 0.48 mg/m<sup>3</sup>이었고 소면공정이 0.96 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았고 IOM 시료채취기는 기하평균 0.68 mg/m<sup>3</sup>로 나타났으며 역시 소면공정이 1.51 mg/m<sup>3</sup>로 통계적으로 유의하게 높았다. 그 이유는 날아다니는(fly) 면분진이 소면공정에서 많이 발생하기 때문으로 사료된다.

2. 타월사업장의 경우 수직분리기로 채취한 면분진의 기하평균은 0.15 mg/m<sup>3</sup>이었고 충분진 채취기는 0.26 mg/m<sup>3</sup>, IOM 시료채취기는 0.57 mg/m<sup>3</sup>로 IOM 시료채취기에 의한 농도는 수직분리기로 채취한 결과에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다.

3. 수직분리기를 이용한 면분진 농도 범위는 0.06~0.54 mg/m<sup>3</sup>, 노출기준 초과율은 47%이었고 IOM으로 채취 한 경우 농도 범위는 0.08~8.09 mg/m<sup>3</sup>, 노출기준 초과율은 13%로 나타나 올바른 노출기준 적용 시 일부 면분진 취급공정들의 작업환경개선이 필요한 것으로 나타났다. 한편 충분진 시료채취기 적용 시 농도는 0.04~4.34 mg/m<sup>3</sup>이었고 우리나라 충분진 노출기준(10

mg/m<sup>3</sup>)을 초과하는 시료는 없는 것으로 나타나 면분진이 상당히 저평가되고 있었다.

따라서 현행과 같이 충분진 시료채취기를 사용하여 면분진을 측정한다면 그에 타당한 새로운 기준이 마련되어야 하며, IOM 시료채취기를 활용할 경우도 새로운 노출기준 개정이 필수적이다. 다만, 우리나라 면분진의 노출기준을 올바르게 적용하기 위해서는 미국산업안전보건청과 미국산업위생전문가협회의와 같이 수직분리기를 사용하도록 관련 규정을 명확히 할 필요가 있다.

### 감사의 글

이 연구는 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원의 “화학물질 노출기준 제·개정연구”의 일환으로 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. OSHA : Regulations (Standards-29 Code of Federal Regulation) Cotton dust. **1910.1043**, 2006.
2. Imbus, H. R. : Cotton dust. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **47**, 712-716, 1986.
3. Schilling, R. S. F., Hughes, J. P. W., Dingwall Fordyce, I., Gilson, I. C. : Epidemiological study of byssinosis among Lancashire cotton workers. *British Journal of Industrial Medicine*, **12**, 217-227, 1955.
4. Cinkotai, F. F., Rigby, A., Pickering, C. A. C., Seaborn, D., Faragher, E. : Recent trends in the prevalence of byssinotic symptoms in the Lancashire textile industry. *British Journal of Industrial Medicine*, **45**, 782-789, 1988.
5. Niven, R. M. : Pickering CAC Byssinosis: a review. *Thorax*, **51**, 632-637, 1996.
6. NIOSH : Occupational Exposure to Cotton Dust. 75-118, 1974.
7. Ministry of Labor : Working environment measurement in Korea. 2004.
8. Ministry of Labor : Industrial Safety and Health Law. 2007.
9. Ministry of Labor : Results of the health examination of labors. 2006.
10. Neefus, J. D., Lumsden, J. C., Jones, M. T. J. : Cotton dust sampling. II-vertical elutriator. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **38**(8), 394-400, 1977.
11. HSE : Control of Cotton and Wool Process Dusts. QC742/2, 2007.
12. JSOH : Recommendation of Occupational Exposure Limits. *Journal of Occupational Health*, 2006.
13. Merchant, J. A., Lumsden, J. C., Kilburn, J. H. : An industrial study of the biological effects of cotton dust and cigarettes. *Journal of Occupational Medicine*, **15**, 212-221, 1973.

14. ACGIH : Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents & Biological Exposure Indices. Cincinnati. 2007.
15. Butcher, B. T., Salvaggio, J. E. : Occupational asthma. *The Journal of allergy and clinical immunology*, **78**, 547-556, 1986.
16. Roach, S. A., Schilling, R. S. F. : A clinical and environmental study of byssinosis in the Lancashire cotton industry. *British Journal of Industrial Medicine*, **17**, 1-9, 1960.
17. Molyneux, M. K., Berry, G. : The correlation of cotton dust exposures with the prevalence of respiratory symptoms. *Proceeding II, International Conference Respiratory Diseases in Textile Workers*, 177-183, 1972.
18. Niven, R. M., Fletcher, A. M., Pickering, C. A., Fishwick, D., Francis, H. C., Warburton, C. J., Oldham, L. A. : A comparison of performance of two personal sampling heads for cotton dust. *The Annals of Occupational Hygiene*, **42**, 253-258, 1998.
19. Ogden, T. L., Bartlett, I. W., Purnell, C. J., Wells, C. J., Armitage, F., Wolfson, H. : Dust from cotton manufacture: changing from static to personal sampling. *The Annals of Occupational Hygiene*, **37**, 271-285, 1993.
20. Astrakianakis, G., Seixas, N., Camp, J., Smith, T. J., Bartlett, K., Checkoway, H. : Cotton dust and endotoxin levels in three Shanghai textile factories: a comparison of samplers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, **3**, 418-427, 2006.
21. Mehta, A. J., Wang, X. R., Eisen, E. A., Dai, H. L., Astrakianakis, G., Seixas, N., Camp, J., Checkoway, H., Christiani, D. C. : Work area measurements as predictors of personal exposure to endotoxin and cotton dust in the cotton textile industry. *The Annals of Occupational Hygiene*, **52**, 45-54, 2008.
22. Abdel-Kader, H. M., Rando, R. J., Hammad, Y. Y. : Long-term cotton dust exposure in the textile industry. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **48**, 545-550, 1987.