

목재분진 농도 측정에 대한 37 mm closed-face 카세트법과 IPM 측정법 비교

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과

이 동 원 · 김 현 욱

— Abstract —

Comparison of Area vs Personal Total Dust Concentrations Measured by 37mm Closed-face Cassette and IPM Sampler

Dong-won Lee , Hyunwook Kim

*Department of Occupational Hygiene, Graduate School of
Occupational Health, Catholic University, Seoul, Korea*

This study was performed to estimate total dust concentrations and particle size distribution of wood dust in the furniture and sawmill industries.

To compare total wood dust concentrations, two samplers recommended by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists and by the National Institute for Occupational Safety and Health were used.

Concentration data were analyzed by paired-t tests using the SAS program and two parameters of the particle size distributions were determined by histogram.

The results were as follows:

1. Particle size distributions showed a unimodal pattern in cutting and a bimodal in sanding operations. Mass median aerodynamic diameters(MMAD) were 17.35 μm in cutting, and 1.39 μm for small mode and 18.89 μm for large mode in sanding operations. The proportions of particle size larger than 9.8 μm estimated by the impactor were 61.16 % in cutting and 62.33 % in sanding operations, respectively.
2. The average personal total dust concentrations measured by IPM sampler were 17.12 mg/m^3 (GSD=1.45) from indoor samples, 2.97 mg/m^3 (GSD=1.90) from outdoor samples in cutting, and 8.01 mg/m^3 (GSD=1.58) from sanding operation. And those of by 37 mm closed-face cassette were 9.12 mg/m^3 (GSD=1.46), 1.06 mg/m^3 (GSD=1.99) from cutting, and 3.32 mg/m^3 (GSD=2.16) from sanding operations.
3. The average area total dust concentrations measured by IPM sampler were 1.88 mg/m^3 (GSD=2.04)

from indoor cutting, 4.76 mg/m³ (GSD=2.83) from indoor sanding operations. And those of by 37mm closed-face cassette were 0.49 mg/m³(GSD=2.34) from cutting, and 1.32 mg/m³(GSD=3.03) from sanding operations.

4. The ratio of personal total dust concentrations measured by 37 mm closed-face cassette to those by IPM sampler were 35.7 %, 53.3 % from cutting, and 41.4 % from sanding operations.
5. The ratio of area total dust concentrations measured by 37 mm closed-face cassette to those by IPM sampler were 26.1 % from cutting, and 27.7 % from sanding operations.
6. A statistically significant difference of total dust concentrations between the 37 mm closed-face cassette and the IPM sampler was found.

I 서 론

목재 사업장에서 발생하는 분진은 일반적으로 80 %가 공기 역학적 입경 (aerodynamic diameter) 이 10 μ m 이상 150 μ m 까지 범위의 입자를 포함하고 있다(Whitehead et al, 1981). ISO(The International Standards Organization)와 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서는 인체의 두부 부분(head airways region)에 침착되는 모든 입자를 100 μ m 까지(geometric standard deviation, GSD=1.5)로 정의하고 있는데(ACGIH 1994), 이러한 분진은 주로 살충제, 중금속, 방사능 물질, 목재분진, 광산 등과 같은 사업장의 근로자에게서 노출되고 있다.

세계노동기구에서는 143 종류의 목재분진이 인체에 독성, 알러지성, 생화학적 반응을 일으킨다고 하였으며(ILO, 1983), 목재분진의 대부분은 상기도와 비강에 침착되어(Vincent & Mark, 1981), 알러지성 폐포염, 천식성 및 비천식성 만성기도 폐쇄, 만성기관지염 등의 호흡기 질환과 악성종양의 원인이 되는 것으로 알려져 있다(Enarson & Chan-yeung 1990; Ness, 1991).

우리나라는 밀도와 경도에 따라 나무의 종류를 구분하여 목재분진의 허용기준을 단단한 나무인 경우 1 mg/m³, 부드러운 나무는 5 mg/m³으로 구분하고 있으며(노동부, 1994), 그 측정방법으로는 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) 방법인 0500(NIOSH, 1994) 37 mm closed-face cassette로 측정하고 있으나, 이 방법으로는 15 μ m 이상의 분진 입자에 대한 노출정도를 평가하는 데 있어서 적절하지 못한 것으로 지적

되고 있다(Hinds, 1985).

ACGIH에서는 최근 Inhalable Particulate Mass(IPM)에 대한 연구가 진행됨에 따라 30 μ m 이상의 분진에서 50 %이상의 포집율을 일정하게 유지시키는(Hinds, 1988) IPM 포집기를 이용하여 흡입성 분진을 측정하도록 권고하고 있다. 그러나 IPM 포집기에 관한 연구는 실험실 조건 아래에서 이루어지고 있고, 실제 산업장에서 흡입성 분진의 개인 노출에 대한 IPM 포집기 연구는 빈약한 실정이다.

본 연구는 25 곳의 목재 사업장을 대상으로 개인용 입경 포집기(personal cascade impactor)를 이용하여 목재분진의 입경분포를 조사하고, 총분진 농도를 37-mm closed-face cassette방법과 IPM 포집기로 개인시료와 지역시료를 채취, 두 방법간의 포집량을 비교하여 흡입성 분진 사업장에서 IPM 포집기의 개인 포집에 대한 기초자료를 얻고자 한다.

II 대상 및 방법

1. 대 상

조사대상은 인천 지역과 성남 지역에 소재한 5인 이상 500인 이하의 목재소 및 가구공장 총 25 곳을 선정하여 절단작업(molding & cutting) 25 곳, 사상작업 15 곳을 연구대상으로 하였으며, 측정시간

Table 1. Number of samples collected by job category

Operation	IPM sampler		37 mm cassette	
	Personal	Area	Personal	Area
Cutting(indoor)	13	-	13	-
Cutting(outdoor)	12	9	12	9
Sanding(indoor)	15	9	40	9
Total	40	18	40	18

은 약 100 - 300분이었다(표 1).

목제소인 경우 절단작업은 molder와 원형톱이라고 불리는 기계에 의해 실외에서 원목을 자르는 작업과 내부에서 각재를 자르는 작업이 있었고, 사상 작업은 1차 도장작업이 끝난 후, 근로자가 사포를 사용한 수작업이 대부분 행하여지거나, sander 기계에 의한 작업이 이루어지고 있었다.

인천 지역의 경우 주로 부드러운 나무에 속하는 나왕이나 MDF(medium density fiberboard), 미국산 전나무(Douglas fir), 재생나무(reconstituted wood)가 사용되고 있었으며, 성남 지역의 가구공장에서는 비교적 고급 재료인 참나무, 밤나무 등의 단단한 나무가 사용되고 있었다.

2. 측정방법

1) 입경분포

목재 사업장에서 발생하는 분진의 크기를 측정하기 위하여 일반적으로 사용되는 8 단계의 Marple personal cascade impactor(Model 298, Anderson Sampler, Inc., USA)와 개인시료 채취기(Model 224-PCXR7, SKC, USA)를 사용하였으며, 유량은 비누 거품 보정계(Accuflow model 713, SKC, USA)를 이용하여 분당 2.0 리터로 보정하여 시료를 채취하였다. 시료 포집기 내에 일정 유속을 통과시키면 각 단계에서 50 %포집효율의 등가 공기역학적 절단입경에 의하여 입자를 크기별로 포집할 수 있으며, 8단계에서 포집되지 않는 미세한 입자는 마지막 필터에서 포집된다(Sierra

Instrument, Inc. 1982). 각 단계에서 구분되어 채취되는 목재 분진의 유효한계직경(effective cut-point diameter)은 표 2와 같다.

2) 총 분진

총 분진 포집 방법으로는 측정에 있어서 먼저 NIOSH method 0500방법인 37 mm closed-face cassette를 이용하여 37 mm, 5 μ m pore 크기의 polyvinylchloride (PVC) 멤브레인 필터를 사용하였으며, IPM 포집기는 SKC(Eighty Four, Pa.)에서 시판되는 Institute Occupational Medicine(IOM) 포집기에 25 mm, 0.8 μ m pore 크기의 멤브레인 필터를 사용하였다. 개인시료 채취기(Model 224-52, SKC, USA)를 사용하였으며, 유량은 각각 분당 2.0 리터로 보정하였다. 중량분석은 측정 전, 후에 0.01 mg 까지 판독할 수 있는 직시천평(Electrobalance, OHAUS, Switzerland)으로 5회 이상 측정 후 평균값을 사용하였다.

목재 분진의 포집위치에 있어서는 한 작업공정에서 지역시료와 개인시료를 동시에 채취하였으며, 지역 시료의 채취에 있어서는 분진이 발생하는 공정에서 종사하는 근로자의 작업 위치로부터 최대한 가까운 지점을 선정하여 카메라 삼각대를 이용, 지상 1.5 m 높이에서 다단계 입경포집기, 37 mm closed-face cassette, IPM 포집기로 시료를 채취하였고, 개인 시료채취에 있어서는 근로자의 호흡영역에서 37 mm closed-face cassette와 IPM 포집기를 부착시켜 시료를 채취하였다.

3. 분석 방법

목재분진에서의 크기분포를 알기 위하여 Quattropro™의 microcomputer spread-sheet를 이용하여 0.1-100 μ m 까지 분진의 크기를 히스토그램으로 작성하였고(Hewett & McCawley, 1991), SAS 통계 프로그램을 이용하여 목재분진 농도의 기하평균과 기하표준편차를 구하였다.

본 연구 목적인 IPM 포집법과 37 mm closed-face cassette에 의한 농도차를 보기 위하여 통계치는 먼저 누적도수분포표를 이용, 대수정규분포여부를 조사하였고, 분포가 대수정규분포를 함에 따라 기하평균을 취하여 paired t-test를 사용 분석하였다. 그리고 37 mm cassette와 IPM 포집기에 있어

Table 2. Cut-point diameters of personal cascade impactor at 2 l/min

Stage	Nozzle shape	No. of nozzles	Cut-point diameter(μ m)
1	slot	6	21.30
2	slot	6	14.80
3	slot	6	9.80
4	slot	6	6.00
5	slot	6	3.50
6	slot	6	1.55
7	round	12	0.93
8	round	12	0.52
F	-	-	0.00

서 개인과 지역, 작업 공정으로 나누어 포집방법과 공정별에 따라 목재분진을 채취할 때 농도에 차이가 있는지를 보기 위하여 t-test로 분석하여 조사하였다.

Ⅲ 성 적

1. 입경 분리 포집기를 이용한 분진의 크기 분포 분석

입경 분리 포집기에서 얻은 자료를 각 단계별로 평균값을 구하여 작성한 히스토그램의 기하평균과 기하표준편차를 그래프로 나타내었다(그림 1, 2).

사상작업에서 이산형(bimodal)분포를 볼 수 있었

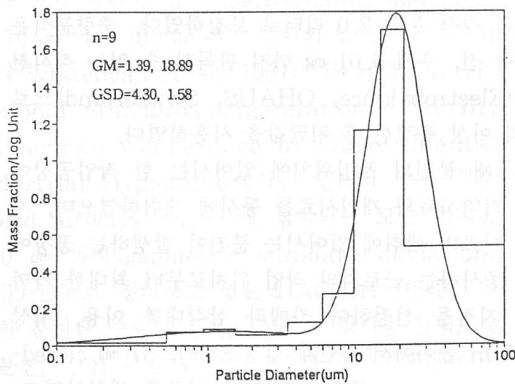


Fig. 1. Particle size distribution in sanding operation.

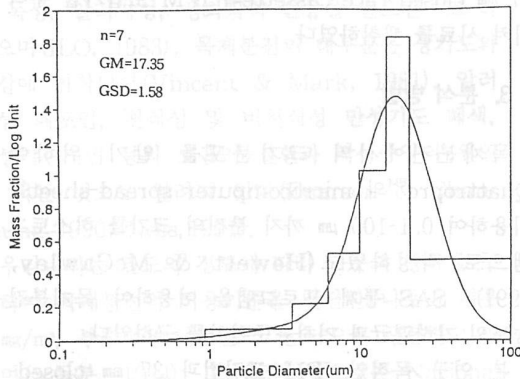


Fig. 2. Particle size distribution in cutting operation.

으며 분포별 기하평균과 기하 표준편차는 small mode에서 $1.39 \mu\text{m}$ (GSD=4.30) large mode가 $18.89 \mu\text{m}$ (GSD=1.58)이었다.

절단작업에서는 단일한(unimodal)분포를 볼 수 있었으며 기하평균은 $17.35 \mu\text{m}$ 기하표준편차는 GSD=1.58 였다.

입경분리포집기에서 큰 분진이 차지하는 비율을 보기 위하여 50 % 포집효율의 절단입경이 각각 $12.30 \mu\text{m}$, $14.80 \mu\text{m}$ 인 두 번째 단계까지 합한 포집량의 평균을 입경분리포집기의 전체 평균질량과 비교한 결과, 사상작업에서 62.33 % 이었으며 절단작업에서는 61.16 % 이었다.

2. 포집방법에 따른 평균 농도

절단작업은 실외작업과 실내작업의 두 가지 형태의 작업으로 나누어 결과를 산출하였으며, 그림 3, 4, 5에서 보듯 37 mm closed-face cassette법과 IPM 포집기 각각 대수정규분포를 보였으며 ($P < 0.05$), 같은 지역에서 채취된 시료에 대하여 paired t-test 결과 통계적으로 유의한 차이 ($P < 0.005$)를 보였다(표 3).

절단작업의 총 분진 포집결과 개인에서 37 mm

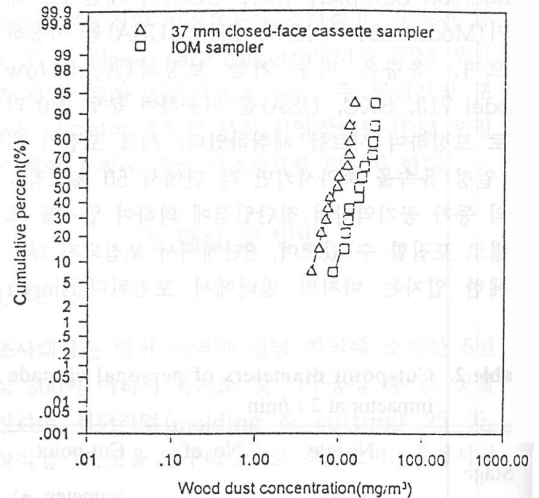


Fig. 3. Cumulative distribution of personal wood dust concentrations from indoor cutting operation.

closed-face cassette법에 의한 목재분진 농도의 기하평균은 실내작업에서 9.12 mg/m^3 (GSD=1.46), 실외작업에서 1.06 mg/m^3 (GSD=1.97) 이었고, 실외작업의 지역시료 농도는 0.49 mg/m^3 (GSD = 2.34)이었다. IPM 포집법에서 개인별 농도는 실내작업에서

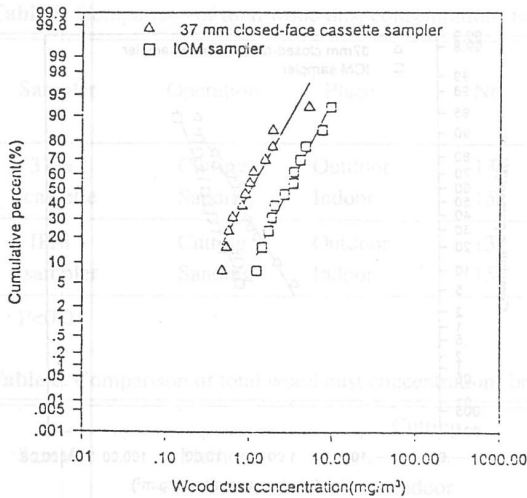


Fig. 4. Cumulative distribution of personal wood dust concentrations from outdoor cutting operation.

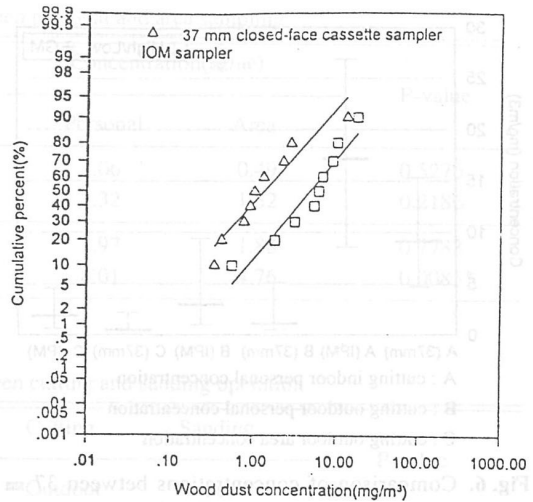


Fig. 5. Cumulative distribution of area wood dust concentrations from outdoor cutting operation.

Table 3. Total dust concentrations by IPM and 37 mm closed-face cassette from cutting operation

Operation	Place	Method	No.	Concentrations (mg/m³)			
				37 mm cassette		IPM sampler	
				GM	GSD	GM	GSD
Cutting	Indoor	Personal	13	9.12	1.46	17.12**	1.48
Cutting	Outdoor	Personal	12	1.06	1.99	2.97**	1.89
Cutting	Outdoor	Area	9	0.49	2.34	1.88**	2.04

GM : Geometric Mean

** : P<0.005

GSD : Geometric Standard Deviation

Table 4. Total dust concentrations by IPM and 37 mm closed-face cassette from sanding operation

Operation	Place	Method	No.	Concentrations (mg/m³)			
				37 mm cassette		IPM sampler	
				GM	GSD	GM	GSD
Sanding	Indoor	Personal	15	3.32	2.16	8.01**	1.58
Sanding	Indoor	Area	9	1.32	3.03	4.76**	2.83

GM : Geometric Mean

** : P<0.005

GSD : Geometric Standard Deviation

17.12 mg/m³(GSD=1.45), 실외작업에서 2.97 mg/m³(GSD=1.89), 실외작업시 지역농도는 1.88 mg/m³(GSD=2.04)이었다.

사상작업에서는 그림 8, 9에서 보는바와 같이 절단작업과 마찬가지로 37 mm closed-face cassette

와 IPM 포집기 각각 대수정규분포를 나타냈으며 (P<0.05), paired t-test 결과 유의한 차이 (P<0.005)를 보였다(표 4).

사상작업에서는 37 mm closed-face cassette방법으로 개인에서 채취한 시료농도는 기하평균이 3.32

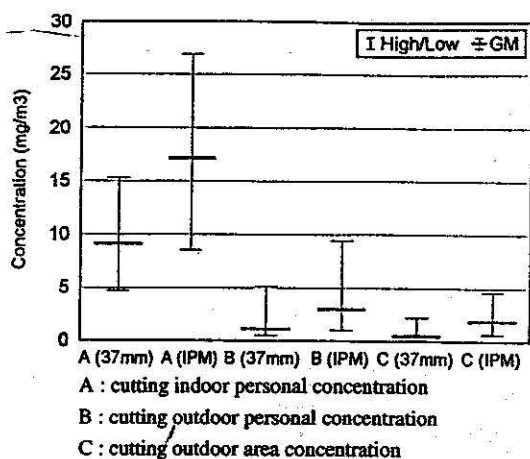


Fig. 6. Comparison of concentrations between 37 mm closed-face cassette and IPM in cutting operation.

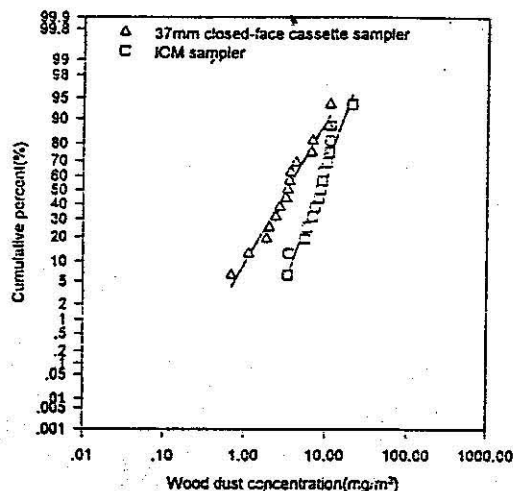


Fig. 8. Cumulative distribution of personal wood dust concentrations from sanding operation.

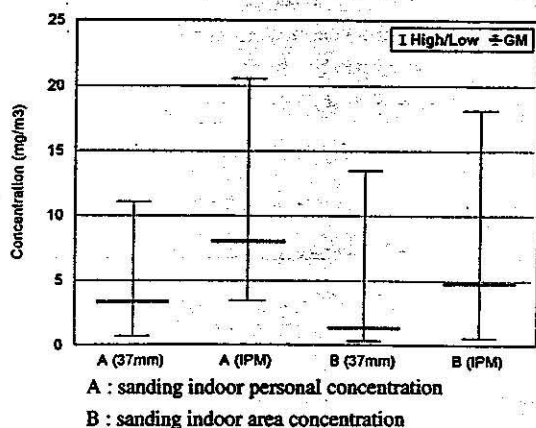


Fig. 7. Comparison of concentrations between 37 mm closed-face cassette and IPM in sanding operation.

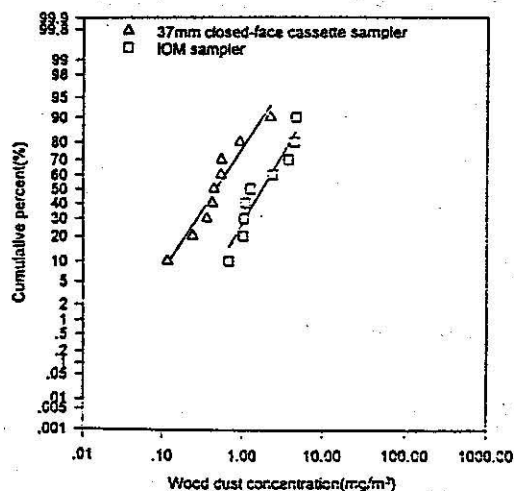


Fig. 9. Cumulative distribution of area wood dust concentrations from sanding operation.

Table 4. Total dust concentrations by IPM and 37 mm closed-face cassette from sanding operation

Operation	Place	Method	No.	Concentrations (mg/m ³)			
				37 mm cassette		IPM sampler	
				GM	GSD	GM	GSD
Sanding	Indoor	Personal	15	3.32	2.16	8.01**	1.58
Sanding	Indoor	Area	9	1.32	3.03	4.76**	2.83

GM : Geometric Mean

** : P<0.005

GSD : Geometric Standard Deviation

Table 5. Comparison of total wood dust concentrations between personal and area sampling

Sampler	Operation	Place	No.	Concentration(mg/m ³)		P-value
				Personal	Area	
37mm cassette	Cutting	Outdoor	13	1.06	0.49	0.5276
	Sanding	Indoor	15	3.32	1.32	0.2186
IPM sampler	Cutting	Outdoor	13	2.97	1.88	0.7783
	Sanding	Indoor	15	8.01	4.76	0.0085*

* : P<0.01

Table 6. Comparison of total wood dust concentrations between cutting and sanding operation

Sampler	Method	Cutting	Cutting	Sanding	P-value
		Indoor	Outdoor	Indoor	
37 mm closed-face cassette	Personal	-	1.06	3.32	0.7572
	Personal	9.12	-	3.32	0.0193*
	Area	-	0.49	1.32	0.4702
IPM sampler	Personal	-	2.97	8.01	0.2491
	Personal	17.12	-	8.01	0.4388
	Area	-	1.88	4.76	0.2865

* : P<0.05

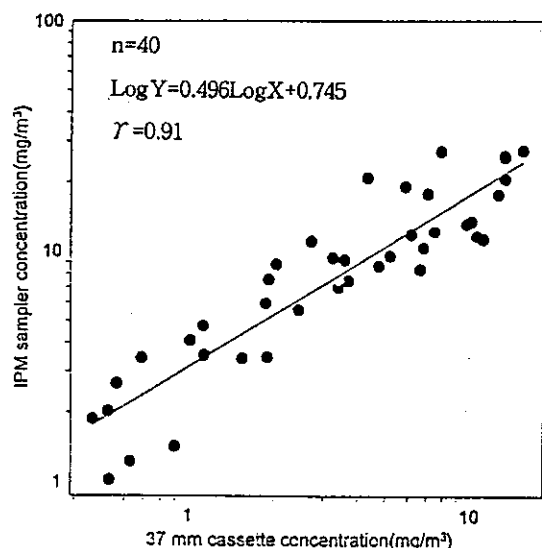


Fig. 10. Correlation of personal wood dust concentrations measured by 37 mm closed-face cassette and IPM sampler.

mg/m³ (GSD=2.16), 지역시료의 기하평균 농도는 1.32 mg/m³ (GSD=3.03) 이었고, IPM 포집방법에서

는 개인시료 농도의 기하평균은 8.01mg/m³ (GSD=1.58), 지역시료 기하평균은 4.76 mg/m³ (GSD=2.83) 이었다.

37 mm closed-face cassette에 포집된 목재분진 농도의 기하평균은 IPM 포집기로 포집한 농도에 비하여 절단작업이 개인에서 35.7 %, 53.3 %, 지역에서는 26.1 % 를 나타내었고, 사상작업은 개인이 41.4 % 지역이 27.7 %이었다.

개인과 지역의 목재분진 채취의 농도차이에 있어서 사상작업시 IPM 포집법으로 시료를 채취하였을 때 유의한 차이가 나타났으며(표 5), 작업공간간 목재분진의 채취에 있어서는 37 mm closed-face cassette 방법으로 채취시 실내에서 절단작업과 사상작업에서 유의한 차이가 있었다. (표 6).

그림 10은 37 mm closed-face cassette법과 IPM 포집기로 채취한 개인시료의 농도를 회귀직선으로 나타낸 것이다. 회귀방정식은 $\text{Log } Y = 0.496 \text{ Log } X + 0.745$ ($r=0.91$) 이었다.

IV 고 찰

목재 사업장에서 노출되어 생기는 질병은 다양하고, 이들 질병에서 가장 일반적인 질병으로는 만성 기관지염과 직업성 천식이며, 이때 원인이 되는 목재분진은 목재의 종류, 기후 상태, 취급하는 형태 등에 따라 사업장에서의 노출농도가 달라질 수 있다 (Enarson & Chan-yeung, 1990). 일반인에 있어서 비강암은 해마다 전체 인구 백만명 당 0.9명이 발생되는 드문 질병이지만 가구 공장이나 목재와 관련된 직업에 종사하는 사람이 이들 중에 3분의2를 차지하고 있다. 따라서 일반인에 비하여 비강암 발생율이 12-20 배로 높으며 목재 산업에 종사하는 근로자 120명 당 1명의 비율로 비강암이 발생하고 있고, 평균 발병 기간은 5년에서 40년으로 발표되었다 (Anderson et al, 1977; Acheson, 1982). 이에 NIOSH에서는 단단한 나무의 목재분진을 발암물질로, ACGIH는 발암가능물질로 규정하고 있다.

입경 분리 포집기로 채취된 목재 분진의 입경은 나무의 종류와 작업의 형태에 따라서 분진의 입경이 달라질 수 있고(Thrope & Brown, 1995), Pisaniello (1991)는 공기 역학적 입경으로 절단 작업에서 17-22 μm , 사상작업에서 16-19 μm 로 보고하였다. 본 연구에서는 절단작업이 단일형 분포를 보이며, 기하평균이 17.35 μm , 사상작업은 이산형 분포로 기하평균이 small mode에서 1.39 μm , large mode에서 18.89 μm 로 나타났다. 이는 절단 작업의 분진분포가 이산형 분포로 small mode 2.03 μm , large mode 19.10 μm 를 보인다는 김수연, 김현욱 (1994)과 비교시, 본 연구에서는 단일형 분포로 분진분포가 다르게 나타났으며, 본 연구의 사상작업시 분진분포는 김수연과 김현욱의 결과인 small mode 1.09 μm , large mode 19.75 μm 와 비교하여 크게 벗어나지는 않았다. 본 연구에서 흡입성 분진으로 볼 수 있는 9.8 μm 이상의 분진은 절단작업이 61.16 %, 사상작업이 62.33 %를 차지 하였으나, 이경주와 임영(1995)은 절단작업시 51 %, 사상작업시 49.5 %, 그리고 김수연과 김현욱(1994)은 약 60 %로 발표하였다. 이는 시료의 채취시 나무의 밀도와 경도, 작업공정의 상태에 의해 발생하는 분진 입경이 차이를 보일 수 있으며, 본 연구를 포함하여

국내에서 연구된 결과는 Whitehead(1981)가 목재 사업장에서 발생하는 분진의 80 %가 10 μm 이상의 공기 역학적 입경을 가진다는 보고와 비교시 20 % 정도의 낮은 비율을 나타내었다. 이러한 이유는 연구들에서 사용한 입경 분리 포집기인 Marple personal cascade impactor가 입자가 큰 분진을 저포집하기 때문으로 보인다.

목재 분진의 경우 일부 사상작업을 제외하고는 10 μm 보다 큰 입자를 포함하기 때문에 인체의 두부 부분에 침착되는 입자를 반영하는 IPM(Inspirable Particulate Mass) 포집방법이 가장 근접한 측정 방법이며, 현재 총분진 방법으로 사용되는 37 mm closed-face cassette 방법은 10 μm 이상의 분진에서 ACGIH 흡입성 분진 곡선과 비교해서 저포집되고 37 mm open-face 방법은 과포집 되므로 목재 사업장의 분진 농도를 알기 위해서는 적절하지 못한 것으로 보고하였다(Hind, 1988).

본 연구결과 37 mm closed-face cassette법과 IPM 포집기에 의한 평균 질량은 유의한 차가 있었으며, 37 mm closed-face cassette법으로 채취된 시료의 평균 농도가 IPM 법으로 채취된 평균 농도에 비하여 개인시료 채취시 절단 외부작업에서 35.7 %, 내부작업에서 53.3 % 였으며 지역에서는 26.1 % 를 나타내었고, 실내에서는 사상작업시 개인이 41.4 %, 지역이 27.7 % 를 나타내었다. 이것은 37 mm closed-face cassette 방법의 경우 10 μm 이상의 분진이 저포집 될 뿐만 아니라 분진 필터의 무게를 재는 과정에서 필터를 카세트에서 분리시 분진의 손실이 일어나며 카세트안 벽에 포집되는 분진은 측정이 불가능하기 때문이며, IPM 포집기는 삽입되는 cassette와 같이 측정함으로 이동중 손실이 없고 cassette 벽에 포집된 분진까지 측정이 가능하기 때문으로 생각된다. 이경주와 임영(1995)연구에서는 37 mm closed-face cassette법으로 채취된 시료의 평균 농도가 IPM 법으로 채취된 평균 농도에 비하여 절단작업이 38.4 %, 사상작업이 48.6 %를 나타내었으나, 본 연구에서는 지역시료 채취시 절단작업 26.1 %, 사상작업 27.7 % 로 IPM 포집법이 37 mm cassette법 보다 높게 나타났다. 본 연구에서 포집된 시료의 목재 작업장 조건은 절단작업이 실내에서와 실외에서 작업이 이루어졌고, 실내에서 작업 시 좁은 공간에서 국소배기 장치가 없거나 거의 가

등이 안되는 작업조건에서 각재를 자르는 작업이었으며, 실외에서의 작업은 원목을 각재로 절단하는 작업으로 특별한 환기 장치 없이 작업을 수행하고 있었다. 반면에 사상작업은 실내에서 손으로 사용한 사포작업이 대부분이었고, 환기 장치가 있는 경우도 거의 작동이 미비하거나 아예 없는 경우가 많았다. 이경주와 임영(1995)의 연구에 있어서는 실내에서 절단작업과 사상작업을 대상으로 지역시료를 가지고 발표한 결과이었으며, 본 연구에서 절단작업은 실외에서 지역시료를 대상으로 하였기 때문에 상대적으로 비교하기가 어려웠으며, 사상작업인 경우 실내에서 지역으로 채취한 경우 이경주와 임영(1995)의 연구보다 37 mm closed-face cassette법이 상대적으로 낮은 비율을 나타내었다.

Whitehead(1981)는 사상작업이 섬세한 작업이기 때문에 작은 입경의 분진이 절단작업보다 많이 발생하는 것으로 보고하고 있으나, 본 실험에서는 IPM 포집기와 37 mm closed-face cassette 방법에서 절단작업시 실내 개인농도가 사상작업보다 37 mm closed-face cassette에 많이 포집되었다. 이는 실내의 작업조건이 열악하여 기중에 있는 분진 농도가 사상작업 보다 높았기 때문이라 생각된다. 또한 개인 시료와 지역 시료를 IPM 포집기와 37 mm cassette로 채취한 농도에 있어서는 작업간 유의한 차이가 없었으나, 사상작업시 IPM 포집기로 개인과 지역 시료를 비교한 결과 유의한 차이($P < 0.01$)를 나타내었고, 직종간 농도에 있어서는 cassette로 측정시 실내에서 절단작업과 사상작업간에 유의한 차이를 나타내었다($P < 0.05$). IPM 포집기와 37 mm cassette 포집기의 분진포집 효율을 비교하기 위해 40개 개인시료 농도에 log 값을 취하여 회귀방정식을 구하였다. 결과는 기울기가 0.495이고 절편이 0.745이었으며, 상관계수는 0.91이었다. 따라서 IPM 포집기는 37 mm closed-face cassette 포집기보다 약 2배정도 포집효율이 높음을 알 수 있다. 그러나 Vinzents(1988)는 목재와 가구공장에서 IPM 포집기와 37 mm cassette를 가지고 개인시료를 채취한 결과 37 mm cassette로 측정시 기하평균이 0.71 mg/m³, IPM 포집기로 측정시 1.11 mg/m³로 보고하여 IPM 포집기가 37 mm closed-face cassette보다 1.6배정도 더 높은 포집효율을 보여주었다. 우리나라의 1993년도 통계에 따르면 베니어판 제조업과 목

제품 제조업에서의 허용기준 초과율이 각각 9.41%, 16.4% 이었는데(작업환경측정 기술협의회, 1993) 이는 37 mm cassette로 측정된 결과로, 흡입성 분진 포집기인 IPM으로 측정할 경우에는 2배정도 높은 허용기준 초과율을 보일것으로 예상된다.

본 연구에서는 근로자에게 37 mm closed-face cassette 를 착용시 부드러운 목재의 허용기준인 5 mg/m³이 실내 절단작업시 초과되었으며, IPM 으로 측정된 결과는 절단작업과 사상작업 모두 허용 기준을 초과하였다. 이러한 결과는 37 mm closed-face 법으로 측정시 목재분진의 저농도 포집으로 인하여 목재 분진의 분진농도를 올바르게 산출하기 어렵기 때문에 흡입성 분진을 측정하는 포집기를 사용하여 보다 정확한 농도를 산출하는 것이 바람직하다고 생각된다.

V 결 론

본 조사는 1995년 9월에서 11월까지 25개 사업장을 대상으로 절단작업과 사상작업시 발생하는 분진의 입경분포와 그 농도를 파악하기 위하여 목재 분진의 총 분진 측정방법인 37 mm closed-face cassette 와 IPM 포집기를 사용하여 발생하는 분진의 농도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 목재 분진의 입경분포는 사상작업에서 small mode는 기하평균이 1.38 μ m, large mode는 기하평균 18.85 μ m의 MMAD를 가지는 이산형의 분포를 보였고, 절단작업에서는 단일형 분포로 기하평균이 17.35 μ m 였다. 9.8 μ m 이상의 분진이 차지하는 비율은 사상작업에서 62.23% 이었고 절단작업에서는 61.16% 이었다.
2. 절단작업시 개인에게 채취된 평균 분진 농도는 IPM 포집기로 실내에서 17.12 mg/m³, 실외에서 2.97 mg/m³이고, 37 mm closed-face cassette 측정치로는 각각 9.12 mg/m³, 1.06 mg/m³ 이었다. 지역 시료 농도는 IPM 에서 1.88 mg/m³, 37 mm closed-face cassette에서 0.49 mg/m³이었다.
3. 사상작업시 개인에게 채취된 평균 분진 농도는 IPM 포집기로 8.01 mg/m³, 37 mm closed-face

cassette에 의한 방법으로 3.32 mg/m³이었으며, 지역에서의 농도는 각각 4.76 mg/m³, 1.32 mg/m³이었다.

4. 37 mm closed-face cassette를 사용시 분진의 평균 포집량은 IPM 포집법에 비교해 보았을 때 절단 작업시 실내에서 35.7 %, 실외에서 53.3 %, 지역에서는 26.1 %이었으며, 사상 작업시 실내에서 41.4 %, 지역은 27.7 %이었다.
5. 절단작업과 사상작업시 지역과 개인포집에서 채취된 분진의 농도들은 IPM 포집법이 37 mm closed-face cassette법보다 통계적으로 유의하게 높았다(P<0.005).

이와 같은 결과에서 볼 때 현재 사용되고 있는 37 mm closed-face cassette 법으로는 흡입성 분진인 목재 분진의 농도를 정확히 산출하기 어렵거나 낮게 평가 할 수 있으므로 흡입성 분진을 선택적으로 채취할 수 있는 IPM 포집기의 사용이 바람직한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

김수연, 김현욱. Cascade Impactor를 이용한 목분진의 입경 분포. 가톨릭대학교 산업 보건 대학원 학위 논문집, 1994;2:211-230.

노동부. 작업 환경 측정 편람, 1994;178.

작업환경측정 기술 협의회. 작업환경측정 종합 연보. 1993.

이경주, 임 영. 목재분진의 입경분포와 총 분진으로 측정시 37 mm closed-face 카세트법과 IPM 측정법에 의한 농도 비교. 가톨릭대학교 산업 보건 대학원 학위 논문집, 1995;3:342-60.

ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices 1994-1995. Cincinnati, ACGIH, 1994.

Acheson ED, Winter PD, Hadfield E, Macbeth RG. Is nasal adenocarcinoma in the Buckinghamshire furniture industry declining?. Nature 1982;299: 263-265.

Anderson HC, Anderson I, Solgaard J. Nasal cancers, symptoms and upper airway function in woodworkers.

Br. J. Ind. Med, 1977;34:201-7

Enarson DA, Chan-Yeung M. Characterization of health effects of wood dust exposures. Am. J. Ind. Med. 1990;17:33-38.

Hewett P, McCawley AM. A Microcomputer spreadsheet technique for analyzing multimodal particle size distribution. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1991;10:865-873.

Hinds WC. Sampler Efficiencies: Inspirable Mass Fraction. In: Particle Size-Selective Sampling in the Workplace, Chapter 5A. American Conference of Governmental Industrial Hygienists Committee on Air Sampling Procedures. ACGIH, Cincinnati, OH 1985.

Hinds WC. Basis for Particle Size-Selective Sampling for Wood Dust in Advances in Air Sampling 1988;53-55, Michigan, Lewis Publisher.

ILO. Encyclopedia of Occupational Health and Safety, 1983;2:2308-2316, Geneva, ILO.

NIOSH. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Washington, D.C., Government Printing Office, 1994.

Ness SA. Integrated Sampling for Aerosols in Monitoring for Toxic Exposure 1991; 94-130, New York, Van Nostrand Reinhold.

Pisniello DL, Connell KE, Muriale L. Wood dust exposure furniture manufacture-results from an Australian survey and consideration for Threshold Limit Value development. Am Ind. Hyg. Assoc. J. 1991;52:485-492.

Sierra Instruments Inc. Marple Cascade Impactor Series 290K (Bulletin No. 290 I. M. 3-82) Carmel valley California, 1982.

Thorpe A, Brown RC. Factors influencing the production of dust during The 8hand sanding of wood. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1995;56:236-24.

Vinzents P. Personal sampling of total and inspirable dust. Results from a survey in the Danish wood and furniture industry. J. Aero. Sci, 1988;19:1437-1439

Vincent JH, Mark D. The basis of dust sampling in occupational hygiene: A critical review. Ann. Occup. Hyg. 1981;24:375-390.

Whithead LW, Freund T, Hahn LL. Suspended dust concentrations and size distributions and qualitative analysis of inorganic particles, from wood working operations, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1981;42:461-467.