

碩士學位論文

일부 작업환경 측정기관의  
먼지 농도분석의 정확도에 관한연구

2005年

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

林 臣 燮

碩士學位論文  
指導教授 朴杜用

일부 작업환경 측정기관의  
먼지 농도분석의 정확도에 관한연구

A Study on the Precision of Dust Measurement of Some  
Occupational Health Laboratories

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

林 臣 燮

碩士學位論文

指導教授 朴杜用

일부 작업환경 측정기관의  
먼지 농도분석의 정확도에 관한연구

A Study on the Precision of Dust Measurement of Some  
Occupational Health Laboratories

위 論文을 産業衛生工學 碩士論文으로 提出함

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

林 臣 燮

林臣燮의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2004年 12月

심사위원장 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

# 목 차

I. 서론 .....	1
1. 연구 배경 및 필요성 .....	1
2. 연구 목적 .....	4
II 연구 및 평가방법 .....	5
1. 연구대상 .....	5
2. 연구방법 .....	6
2-1. 설문조사 .....	6
2-2. 먼지측정의 정확도 평가 .....	6
III. 연구결과 및 고찰 .....	9
1. 설문분석 결과 .....	9
2. 시료 분석 결과에 따른 항목비교 .....	11
2-1. 기관별 먼지 분석값 분석 .....	11
3. 기관별 먼지농도 정확성 비교 .....	13
3-1. 기관 먼지 분석실 상태에 따른 먼지분석의 오 차 평균비교 .....	13
3-2. 전체 기관평균 LOD, LOQ비교 .....	25
4. 연구대상의 LOD, LOQ 고찰 .....	27

IV. 결론 .....	29
참고 문헌 .....	31
Appendix. 1 .....	32
Abstract .....	33

## 표 차례

표 1. 참여기관 현황 .....	10
표 2. 기관별 분석실 현황 .....	10
표 3. 1차 칭량 결과와 2차 칭량 결과와의 차이 .....	12
표 4. 칭량저울의 정밀도와 기관별 먼지 분석오차와의 관계	13
표 5. 칭량저울 보정에 따른 먼지 분석오류비교 .....	15
표 6. 칭량저울 보정횟수에 따른 기관별 먼지 분석오차와의 관계 .....	16
표 7. 먼지 분석실의 독립여부 .....	18
표 8. 분석실에서의 향온, 향습에 따른 먼지 분석오차와의 관계비교 .....	19
표 9. 먼지 여과지 건조 방법에 따른 분석오차 비교 .....	21
표 10. 칭량횟수에 따른 분석오차 비교 .....	23
표 11. 먼지 분석경력에 따른 분석오차비교 .....	24
표 12. 기관별 LOD, LOQ .....	26

## 그림 차례

Fig 1. 먼지의 정확도 측정을 위한 평가방법의 흐름도. ....	6
Fig 2. 기관별 오차범위와 기관평균과의 비교. ....	11
Fig 3. 칭량저울 정밀도와 기관별 먼지분석오차와의 관계. ....	14
Fig 4. 칭량저울 보정유무에 따른 기관별 먼지농도 오차범 위 비교. ....	15
Fig 5. 보정횟수와 기관별 분석오차와의 관계. ....	17
Fig 6. 먼지분석실 독립여부와와의 관계. ....	18
Fig 7. 분석실의 향온, 향습에 따른 분석오차비교. ....	20
Fig 8. 여과지 건조 방법에 따른 분석오차비교. ....	22
Fig 9. 먼지분석 칭량횟수와 분석오차와의 관계. ....	23
Fig 10. 분석경력에 따른 분석오차비교. ....	25
Fig 11. 기관별 먼지분석오차 범위. ....	27

# I. 서론

## 1. 연구 배경 및 필요성

대기 중에 부유하고 있는 고체의 미립자를 먼지라 하며 먼지는 주로 광업 전체, 석재 채취 및 가공업, 건설업에서 터널 굴착, 발파, 굴삭도로나 건물 보수, 해체 등, 제조업에서 광물질을 사용하는 주물, 제철, 제련, 파쇄, 또는 분체, 도자기 요업등과 용접을 수행하는 작업, 연마재 사용 작업등이 있으며, 운수 창고업에서 하역, 청소, 실내나 용기 내 수리나 청소작업등에서 대표적으로 먼지가 많이 발생하게 된다.

먼지의 크기는  $1\mu\text{m}$ 미만으로부터 수백  $\mu\text{m}$ 에 이르고 있으나, 산업보건학적으로는 폐포 내에까지 도달 할 수 있는 크기의 흡입성 먼지가 주로 문제시 되며 먼지폭로 근로자 개인에 대한 먼지 폭로량 측정시는 흡입성 먼지만을, 그리고 먼지 작업환경 관리를 위해서는 총 먼지와 흡입성 먼지의 농도를 측정하는 것이 바람직하다. 먼지는 진폐를 비롯하여 급성폐염, 만성기관지염, 악성종양, 중독, 피부질환, 알러지 및 안질환 등의 건강장해와 기계 및 제품의 손상, 재해 유발의 원인이 되기도 하므로 비단 먼지의 크기뿐만 아니라 그 성분에 대한 분석도 고려 되어야한다. 선진국에서는 먼지의 허용농도를 교정하거나 먼지 측정기기의 개발 및 측정방법을 개선하는 따위의 먼지에 관련된 연구를 계속하여 진행해 오고 있다.

2000년도 노동부 자료에 의하면 1990년 까지 먼지노출에 의한 호흡기계장해가 가장 높은 유병율을 나타내었다(직업병, 2000) 먼지에 노출될 경우 체내의 생리화학적 과정을 거쳐 장해증상이 나타나기까지 오랜 시간이 소요되는 특징이 있다. 1990년대 이후 광산업종이 급격히

퇴조되고 있는 상황임에도 불구하고 우리나라 직업성 질환자 수를 유해인자별로 구분하면 소음, 먼지, 유기용제, 중금속, 특정화학물질 및 기타 순으로 먼지에 대한 과노출이 아직까지도 산업보건분야에서 직업병 발생에 많은 영향을 주고 있다.(노동부, 2003)

측정기관을 상대로 실시하고 있는 작업환경측정기관 정도관리 프로그램에 먼지의 측정 분석에 대한 정도관리는 포함되어 있지 않다. 즉, 유기용제나 중금속에 대해서는 그 분석에 대한 정도관리가 되고 있어 근로자의 노출평가에 대한 신뢰도가 높아지고 있으나, 먼지 노출에 대한 분석평가에서는 정확도를 보장하지 못하고 있다는 것이다. 이런 먼지노출의 결과에 비해 노출을 측정하고 분석하는 측정기관에서의 관리나 접근은 소홀한 편이라고 볼 수 있다. 따라서 측정기관의 먼지에 대한 정확도 여부를 파악하고 정도관리의 필요성을 검토하고자 본 연구를 조사하게 되었다.

2003년도 작업환경측정 통계결과에 따르면, 작업환경 총 측정건수(유해인자)는 144,330건 이었는데, 이중 총 먼지가 차지하고 있는 비율은 29,291건으로 20.29%인 것으로 나타나 있다. 측정 건수 중 총 먼지의 비율이 높다는 것은 아직도 사업장에서의 유해인자로 먼지 노출이 많은 부분을 차지하고 있으나, 호흡성먼지나 미세먼지로 노출 평가를 세분화 하지 않고 있다는 것을 보여주는 것이다.

작업환경 중의 먼지 중량측정평가에서 점점 더 적은 양을 정확하게 측정할 필요성이 증가되고 있다.

현재의 먼지는 총 먼지를 통한 폭로량의 측정 및 분석을 위주로 하였으나 점차로 미세먼지 및 호흡성먼지의 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 이러한 미세먼지 등의 분석을 위해서는 보다 정확한 먼지의 분

석이 필요하고 이에 따른 평가가 이루어져야 할 것이다.

또한 실내 환경의 중요성이 인식됨으로써 사무실환경에서 측정되는 미세하고 적은 양의 먼지를 평가하기 위해서라도 먼지 분석의 정확성에 대한 평가는 이루어져야한다. 이에 대한 근거의 하나로 작업환경중의 먼지 중량 측정평가에서 점점 더 적은 양을 정확하게 측정할 필요성이 증가되고 있다.

## 2. 연구 목적

본 연구의 목적은 기관별 먼지 분석의 오차를 파악하여 오차 원인과 해결방법을 찾기 위해 수행되었다.

1. 먼지 중량 분석을 실시하고 있는 기관의 실험실 실태를 알아내어 먼지 분석시에 나타날 수 있는 오류를 찾아내고자 한다.

2. 먼지 분석 결과에 따른 각 기관별 LOD(Limit of Detection)와 LOQ(Limit of Quantification)를 알아보고 각 값을 비교분석하여 각 기관의 분석오류 범위를 찾아본다.

3. 기관별 먼지 분석 오차의 원인, 이유를 찾아내어 그 해결책을 찾고자 한다.

## Ⅱ 연구 및 평가방법

### 1. 연구대상

본 연구는 먼지측정 및 분석이 가능한 기관으로 비영리법인 5개, 대학 3개, 병원 3개, 공공기관 1개 등을 대상으로 하였다(표 1).

**표 1. 참여기관 현황**

기관업종	기관수
비영리법인	5
대학	3
병원	3
공공기관	1
계	12개

## 2. 연구방법

### 2-1. 설문조사

설문조사는 각 기관별로 우편 및 인편으로 발송하여 회수하였다.

각 기관별 먼지 분석실에 대한 평가는 부록1 에서와 같은 설문을 배포하여 분석자가 직접 작성하게 함으로써 분석자가 파악하고 있는 분석실의 실태를 보다 정확하게 파악하고자 노력하였다.

설문을 통해서 각 기관별 분석자에 따른 분석의 오차원인, 실험실의 조건에 따른 분석의 오차원인, 분석기구의 관리에 따른 분석오차의 원인을 파악하고자 하였다.

### 2-2. 먼지측정의 정확도 평가

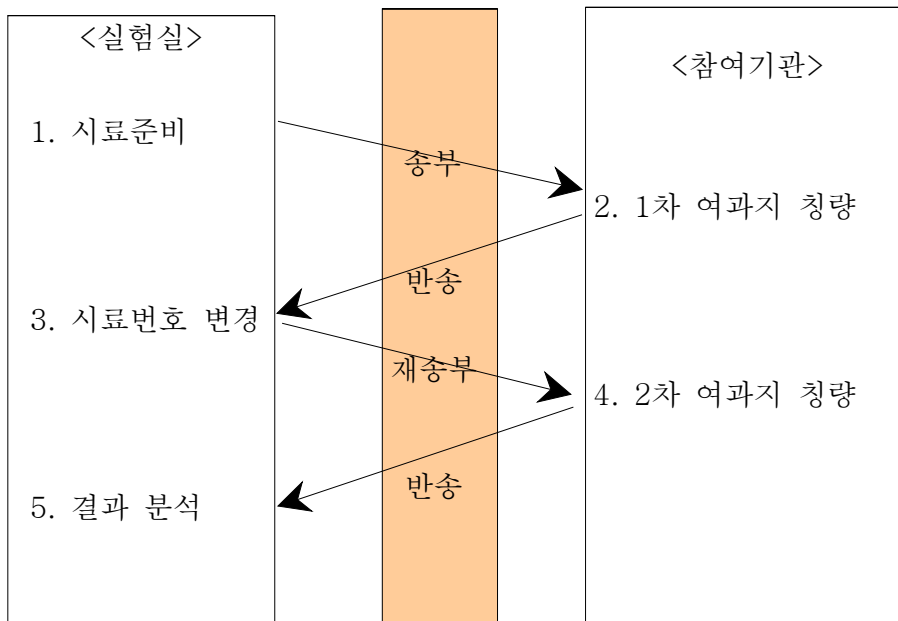


Fig 1. 먼지의 정확도 측정을 위한 평가방법의 흐름도.

### 2-2-1. 방법

실험실에서 직접 제작한 시료를 각 참여기관에 7-10개를 송부하고 1차 칭량을 의뢰했다. 시료와 칭량결과를 반송 받은 후 실험실에서 반송 받은 시료에 시료번호만 변경하여 참여기관에 다른 시료인 것으로 가장하여(blind test) 분석을 의뢰하였다. 참여기관에서 분석되어진 결과를 다시 재송부 받아 2차 칭량값으로 정하고 1차 칭량과 2차 칭량의 시료번호를 대조하여 시료를 맞춘 후 1차 칭량값과 2차 칭량값을 얻었다.

### 2-2-2. 시료 준비

본 연구에서는 NIOSH 0500 방법에 준해서 실제 먼지를 채취하기 위한 시료채취 기구를 준비하였다. 먼지 시료는 3pieces 카세트홀더에 Support pad를 넣고 그 위에 PVC(Omega Specialty Instrument co.사의 cat#p-503700 5.0 $\mu$ m PH-PVC Filters- 37mm)필터를 올려 카세트 상단부 뚜껑을 닫고 방진 테이트로 틈을 막고 시료번호를 붙인 후 참여기관에 발송하였다.

### 2-2-3. 결과분석방법

참여기관의 먼지시료에 대한 1차 칭량결과와 2차 칭량결과의 차이로 각각 LOD와 LOQ를 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{LOD} = 3 \times \text{SD}$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{SD}$$

SD : Standard Deviation

LOD(Limit of Detection)는 검출한계 값으로 ‘어느 정해진 분석절차로 신뢰성있게 분석할 수 있는 분석물질의 가장 낮은 농도’로 정의된다 (ACS). 또한 LOQ(Limit of Quantification)는 ‘어느 주어진 분석절차에 따라서 합리적인 신뢰성을 가지고 정량분석할 수 있는 가장 적은 양의 농도나 질량’으로 정의된다.

본 연구에서는 각 기관의 먼지분석 정확도를 나타내는 지표로 LOD와 LOQ를 사용하여 설문지를 통해 알려진 조건과 그 관계를 분석하였다.

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 설문분석 결과

설문 항목을 보면 칭량저울의 경우 모든 기관에서 법적인 기준인 0.01 mg까지 분석이 가능한 장비를 사용하고 있었으며 그중 일부기관의 경우에는 0.001 mg까지 분석이 가능한 칭량저울을 보유하고 있었다. 저울의 유지관리에서 가장 중요하다 할 수 있는 칭량저울의 저울보정은 일부 기관에서 1년에 1회 이상 실시하고 있는 기관이 있었으나 저울보정을 하는지 안하는지도 모르는 기관도 있었다. 먼지 분석실이 별도의 공간으로 독립되어있는 기관이 있었으며 독립된 공간을 갖는 기관의 대부분은 항온·항습이 가능하도록 장치되어 있다. J기관의 경우에는 별도의 먼지분석실이 독립되어있지 않은 상태이나 여과지를 건조시키는 전기데시케이터에 항온·항습이 가능한 장치가 부착되어 있는 장비를 사용하고 있었다. 모든 기관에서 여과지의 건조를 2시간 이상 실시하고 있었다. 먼지의 칭량횟수는 1회의 칭량으로 먼지 농도값을 구하는 기관이 일부 있었으며 대부분의 기관은 먼지의 무게를 2회 이상 칭량하여 구한 값의 평균값으로 먼지의 농도를 구하였다. 먼지의 무게를 칭량할 때 여과지를 칭량저울에 올려놓고 일정시간을 두어 칭량저울이 안정화된 후 그 평균값으로 먼지의 무게를 정하는 기관이 K기관을 제외한 기관 모두였다. 먼지분석의 경우 먼지 분석만을 전담으로 분석하는 경우는 없었으며 측정이나 분석등과 겸직을 하였다. 먼지분석의 경력은 1년 이상 분석하였으며 5년 이상 먼지의 분석을 담당하기도 하였다.

표 2. 기관별 분석실 현황

기관명	1		2		3		4		5		6		
	분석저울명, 구입년	정밀성	보정 유무	보정 횟수	독립 여부	항온항습 유 무	건조 방법	건조 시간	칭량 횟수	칭량 보정	전담 여부	검직 분야	분석 년차
A	CHAN,2000	10 <sup>-6</sup>	×	0	×	항습	전기	2hr이상	2	o	×	기타	1
B	AA-200DS, 1993	10 <sup>-6</sup>	×	0	×	×	유리	2hr이상	2	o	×	분석	8
C	AE240,1992	10 <sup>-5</sup>	o	1	×	×	유리	2hr이상	1	o	×	분석	1
D	40SM-200A, 1989	10 <sup>-5</sup>	o	0	×	×	유리	2hr이상	1	o	×	측정	6
E	40SM-200A, 1989	10 <sup>-5</sup>	o	1	×	항습	유리	2hr이상	2	o	×	개인별	1
F	METTLER-240S, 1992	10 <sup>-5</sup>	×	0	×	×	유리	2hr이상	2	o	×	측정	2
G	METTLER-AT261, 1994	10 <sup>-5</sup>	×	0	×	×	유리	2hr이상	2	o	×	측정, 분석	8
H	A-200DS, 1999	10 <sup>-5</sup>	o	1	o	o	전기	2hr이상	2	o	×	측정	1
I	Analytical plus 1996	10 <sup>-5</sup>	모른다	0	×	×	유리	2hr이상	1	o	×	측정	6
J	surtorius 1989	10 <sup>-5</sup>	모른다	0	o	o	전기	2hr이상	2	o	×	기타	1
K	GA200D, 1993	10 <sup>-5</sup>	×	0	×	항습	유리	2hr이상	1	×	×	분석	3
L	R200D, 1992	10 <sup>-5</sup>	×	0	o	×	유리	2hr이상	2	o	×	측정, 분석	6

## 2. 시료 분석 결과에 따른 항목비교

### 2-1. 기관별 먼지 분석값 분석

기관에서 송부된 결과는 1차 칭량값과 2차 칭량값의 차이를 구한 후에 차이의 평균과 편차를 구하여 각각 비교하였다.

각 기관별 먼지분석결과 오차에 대한 평균과 편차를 다음과 같이 계산한 것이다.

$$\text{평균 (Mean)} = \frac{(M_1 + M_2 + \dots + M_n)}{n} = \overline{M}$$

$$\text{편차 (SD)} = \sqrt{\frac{(M_1 - \overline{M})^2 + (M_2 - \overline{M})^2 + \dots + (M_n - \overline{M})^2}{(n-1)^2}}$$

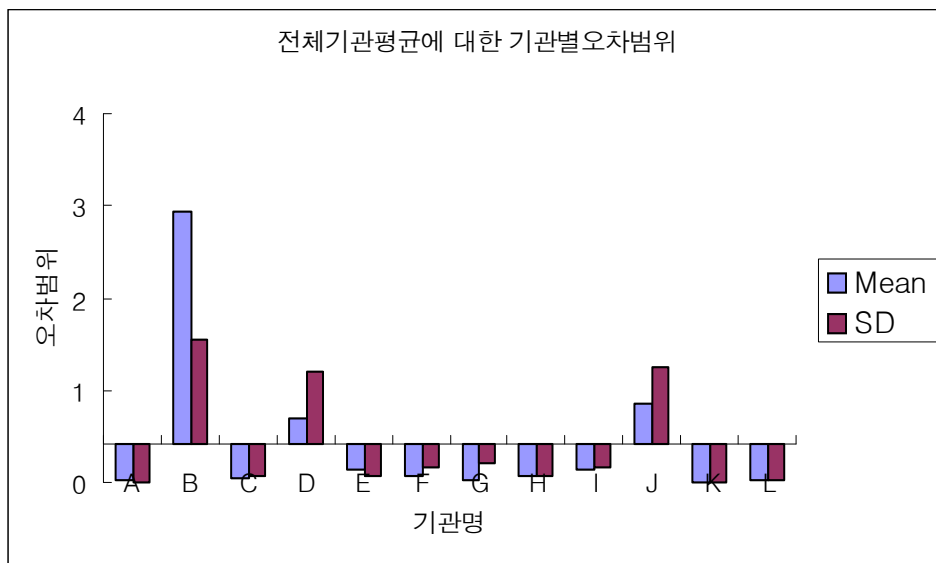


Fig 2. 기관별 오차범위와 기관평균과의 비교.

표 3. 1차 칭량 결과와 2차 칭량 결과와의 차이(mg)

기 관 명												
시료번호	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0.0110	3.8000	0.0500	0.4300	0.1300	0.5600	0.0600	0.0500	0.1500	0.2100	0	0.0130
2	0.0060	0.7600	0	3.3900	0.1000	0.0600	0.0200	0.0700	0.4100	0.0400	0	0.0230
3	0.0220	1.4000	0.2000	0.1200	0.1100	0.0200	0.0100	0.0100	0	0.1000	0.0200	0
4	0.0280	2.7800	0.0200	0.1500	0.0700	0.0100	0.0300	0.0100	0.0600	0.1500	0.0100	0.0130
5	0.0250	3.0000	0.0300	0.5600	0.2500	0.0200	0.0100	0.0200	0.0100	2.6100	0.0100	0.0300
6	0.0360	5.4500	0.0200	0.0400	0.0900	0.0300	0.0100	0.2300	0.2900	0.0600	0.0100	0.0160
7	0.0280	3.4300	0.0400	0.1900	0.2000	0.0100	0.0500	0.1000	0.1200	2.7000	0	0.0460
8	0.0290	-	-	-	-	0	0.0200	0.0200	-	0	0.0200	0.0130
9	0.0280	-	-	-	-	0.0200	0	0.0200	-	0.0400	0.0300	0.0370
10	0.0230	-	-	-	-	0.0300	0	-	-	2.7500	0.0100	0.0370
Mean	0.0236	2.9460	0.0510	0.6970	0.1360	0.0760	0.0210	0.0589	0.1486	0.8660	0.0110	0.0228
SD	0.00891	1.5510	0.0670	1.2020	0.0650	0.1708	0.2000	0.0710	0.1518	1.2580	0.0099	0.0143

### 3. 기관별 먼지농도 정확성 비교

#### 3-1. 기관 먼지 분석실 상태에 따른 먼지분석의 오차 평균비교

##### 3-1-1. 칭량저울의 정밀도와 오차와의 관계

칭량저울의 정밀도는 법적기준인  $10^{-5}g$  까지 분석이 가능한 기관이 대부분이었으며  $10^{-5}g$  보다 더 정밀한 칭량저울을 사용하는 곳은 2개 기관이었다.

표 4. 칭량저울의 정밀도와 기관별 먼지 분석오차와의 관계(mg)

정밀도 구분	연구대상순번	mean	SD
$10^{-6}g$	1	0.0236	0.0089
	2	2.9460	1.5510
평균		1.4848	0.7800
$10^{-5}g$	1	0.0510	0.0670
	2	0.6970	1.2020
	3	0.1360	0.0650
	4	0.0760	0.1708
	5	0.0210	0.2000
	6	0.0589	0.0710
	7	0.1486	0.1518
	8	0.8660	1.2580
	9	0.0110	0.0099
	10	0.0228	0.0143
평균		0.2088	0.3210

위 결과를 살펴보면 먼지 분석에 있어서 기관별 칭량저울의 정확도에 따른 오차는 없다고 분석되었다. 정밀한 칭량저울을 사용하는 기관에서의 먼지 분석오차가 더 크게 분석되었기 때문이다. 아래 그림에 보듯이 정밀도가 높은 저울에서 칭량한 먼지의 무게가 그렇지 못한 저울보다 평균오차가 더 크게 나왔다. 그 원인은 시료의 이동중에 생기는 여과지의 오염이나 분석 실험실 환경에 영향을 더 받기 때문으로 생각되어진다.

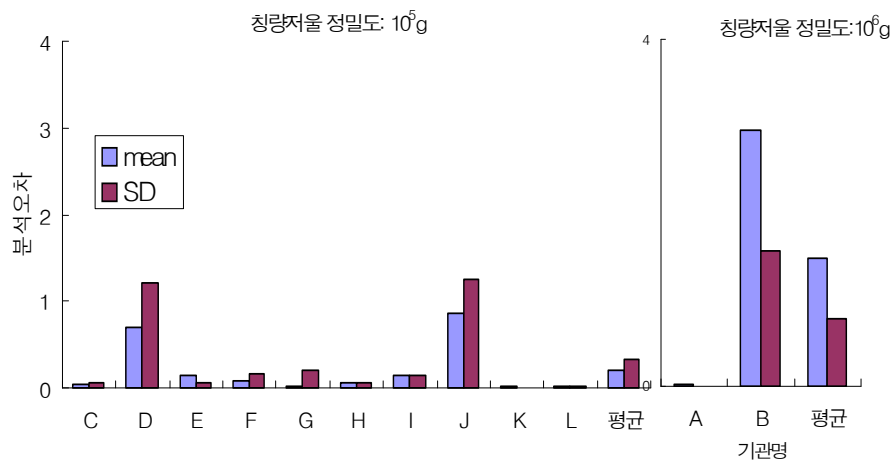


Fig 3. 칭량저울 정밀도와 기관별 먼지분석오차와의 관계.

### 3-1-2. 칭량저울 보정과 먼지 분석오차 비교

기관별 먼지 분석자들이 파악하고 있는 먼지 칭량 저울의 보정여부를 질문하여 칭량저울을 보정하는 경우와 하지 않는 경우를 먼지 분석오차와 비교하였다(표 5).

표 5. 칭량저울 보정에 따른 먼지 분석오류비교(mg)

보정유무	연구대상순번	mean	SD
보정 무	1	0.1486	0.1518
	2	0.8660	1.2580
	3	0.0236	0.0089
	4	2.9460	1.5510
	5	0.0760	0.1708
	6	0.0210	0.2000
	7	0.0110	0.0099
	8	0.0228	0.0143
평균		0.5144	0.4206
보정 유	1	0.0510	0.0670
	2	0.6970	1.2020
	3	0.1360	0.0650
	4	0.0589	0.0710
평균		0.2357	0.3513

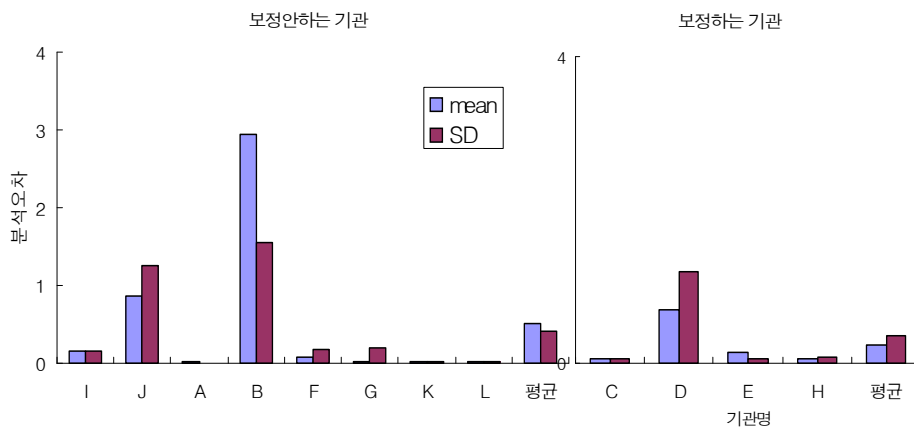


Fig 4. 칭량저울 보정유무에 따른 기관별 먼지농도 오차범위 비교.

각 기관별 먼지 분석오차는 일정주기에 저울을 보정해주는 기관에서 적게 나온다고 볼 수 있다. Fig 3 에서 보듯이 보정을 주기적으로 해주는 기관은 오차의 평균이 0.2357 인 반면 관리가 안되고 있는 경우라 할 수 있는 보정유무조차 모르는 기관의 경우 0.5144로 나타났다. 이렇듯이 주기적인 저울의 보정은 먼지에 대한 분석오차를 줄일 수 있는 중요한 방법 중 하나이다.

### 3-1-3. 청량저울 보정횟수와 먼지 분석오차 비교

청량저울의 보정횟수를 설문조사하여 횟수에 따른 기관별 먼지분석 오차를 비교하여 조사해보았다.

표 6. 청량저울 보정횟수에 따른 기관별 먼지 분석오차와의 관계(mg)

보정횟수	연구대상순번	mean	SD
1회	1	0.0510	0.0670
	2	0.1360	0.0650
	3	0.0589	0.0710
평균		0.0820	0.0677
보정안함	1	0.0236	0.0089
	2	2.9460	1.5510
	3	0.6970	1.2020
	4	0.0760	0.1708
	5	0.0210	0.2000
	6	0.1486	0.1518
	7	0.8660	1.2580
	8	0.0110	0.0099
	9	0.0228	0.0143
평균		0.5347	0.5074

위의 결과에서 보면 보정을 1회 이상 해주는 경우 그렇지 못한 경우보다 먼저 분석의 오차를 줄일 수 있는 것으로 분석되었으며 이를 위해서 외부 전문기관에 의뢰하여 실시하는 청량저울의 보정은 먼저분석 오차를 줄일 수 있는 방법으로 일정주기로 일정한 횟수를 보정해 주는 것이 필요하다.

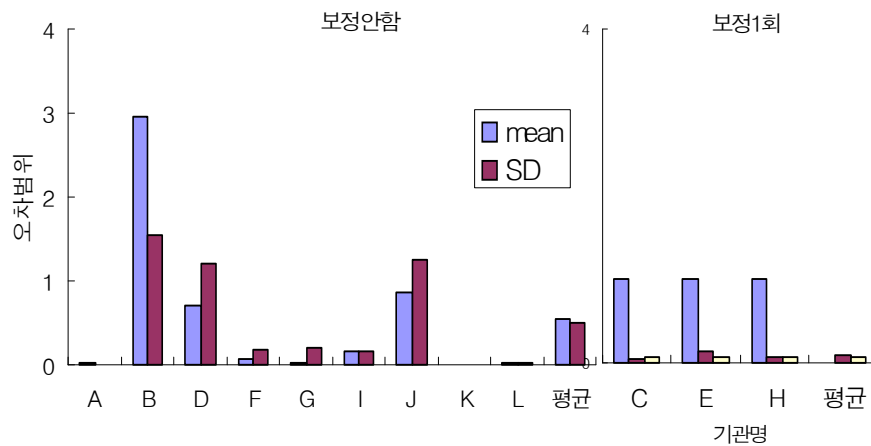


Fig 5. 보정횟수와 기관별 분석오차와의 관계.

### 3-1-4. 기관별 먼저 분석실 독립공간 여부와 분석오차와의 관계

각 기관에 존재하는 분석실 또는 준비실 등에 먼저 분석이 가능한 곳을 별도로 독립된 공간에서 실시하는지 여부를 파악하였다.

표 7. 먼지 분석실의 독립여부(mg)

분석실 독립여부	연구대상순번	mean	SD
독립안됨	1	0.0236	0.0089
	2	2.9460	1.5510
	3	0.0510	0.0670
	4	0.6970	1.2020
	5	0.1360	0.0650
	6	0.0760	0.1708
	7	0.0210	0.2000
	8	0.1486	0.1518
	9	0.0110	0.0099
평균		0.4567	0.3807
독립분석	1	0.0589	0.0710
	2	0.8660	1.2580
	3	0.0228	0.0143
평균		0.3159	0.4478

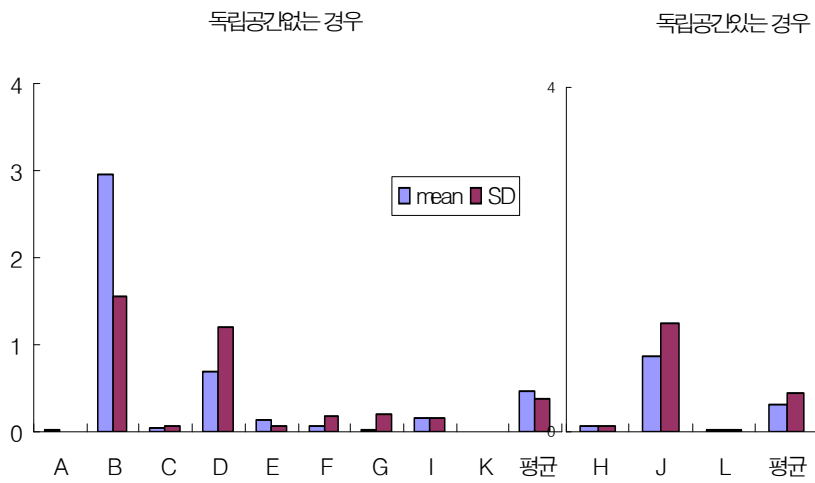


Fig 6. 먼지분석실 독립여부와와의 관계.

각 기관에서 먼지 분석실이 별도로 존재하는 곳은 많지 않지만 일부 기관에서 독립적인 장소에 먼지 분석실을 사용하고 있다. 먼지 분석실이 독립되어있는 경우에 독립공간이 없는 경우보다 분석오차가 적게 나타나는 것으로 분석 되었다. 먼지 분석실에서 독립공간을 갖는 경우에는 외부기류에 칭량저울의 영향을 적게 받으며 온·습도 조절을 일정하게 유지할 수 있어 여과지의 수분에 따른 오차를 줄일 수 있기 때문이다. 그래서 먼지 분석은 다른 분석실과 별도로 독립되어 있어야 보다 정확한 먼지 분석이 가능하다고 할 수 있다.

### 3-1-5. 먼지 분석실의 항온·항습 여부와 먼지분석오차와의 관계

기관에서 이루어지는 항온 항습이 이루어지는지를 조사하여 그에 따른 먼지 분석의 오차와 비교해 보았다.

표 8. 분석실에서의 항온, 항습에 따른 먼지 분석오차와의 관계비교(mg)

항온·항습	연구대상순번	mean	SD
안됨	1	2.9460	1.5510
	2	0.0510	0.0670
	3	0.6970	1.2020
	4	0.0760	0.1708
	5	0.0210	0.2000
	6	0.1486	0.1518
	7	0.0228	0.0143
평균		0.5661	0.4796
항온 또는 항습	1	0.0236	0.0089
	2	0.1360	0.0650
	3	0.0110	0.0099
	4	0.0589	0.0710
	5	0.8660	1.2580
평균		0.2191	0.2826

기관에서 향온 향습을 별도로 실시한다는 것은 어려운 일이다. 그러나 표 8 에서 보듯이 향온 또는 향습을 하지 않는 기관의 경우에는 향온, 향습을 하는 경우보다 10배 정도의 먼지 분석오차가 생기는 것으로 분석 되었다. 그러므로 기관에서 먼지 분석을 보다 정확하게 하기위해서는 독립된 장소에서 향온 향습이 가능한 장소에서 먼지를 분석 하는 것이 먼지 분석을 보다 정확하고 오차를 적게 할 수 있는 방법이다.

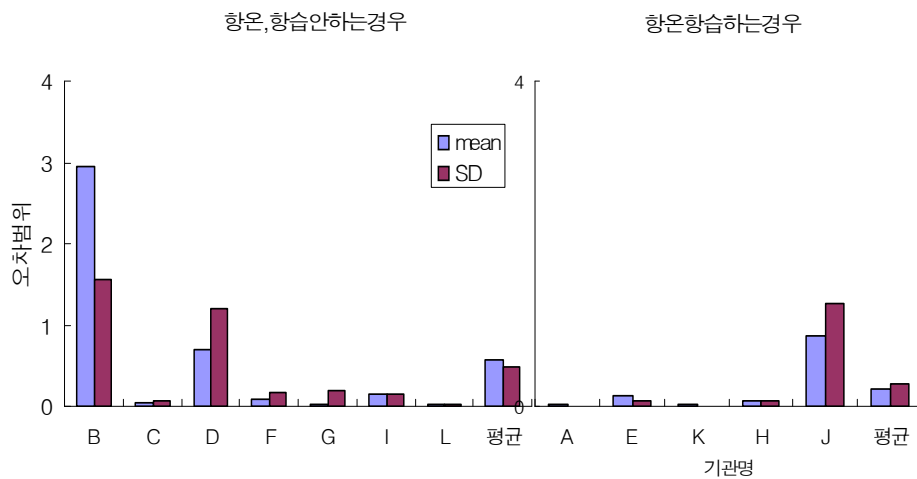


Fig 7. 분석실의 향온, 향습에 따른 분석오차비교.

### 3-1-6. 건조방법에 따른 분석오차비교

분석전 여과지를 건조시키는 방법에 따라서 먼지 분석에 어떠한 영향을 미치는지 조사해보았다.

표 9. 먼지 여과지 건조 방법에 따른 분석오차 비교(mg)

건조방법	연구대상순번	mean	SD
유리 데시케이터	1	2.9460	1.5510
	2	0.0510	0.0670
	3	0.6970	1.2020
	4	0.1360	0.0650
	5	0.0760	0.1708
	6	0.0210	0.2000
	7	0.1486	0.1518
	8	0.0110	0.0099
	9	0.0228	0.0143
평균		0.4566	0.3813
전기건조기	1	0.0236	0.0089
	2	0.0589	0.0710
	3	0.8660	1.2580
평균		0.3162	0.4460

각 기관에서 여과지의 건조는 유리 데시케이터를 이용한다. 일부 기관에서 사용하는 전기 건조기는 사용할 경우 향온, 향습도 가능한 모델도 있으며 전기 건조기를 사용할 경우에 일반 유리 데시케이터를 사용하여 건조하는 것보다 먼지 분석의 오차를 줄일 수 있는 것으로 분석되었다. 이것은 유리 데시케이터 보다 일정하게 여과지를 건조시킴으로써 여과지에 남아있는 수분농도가 유리 데시케이터보다 일정하기 때문이다.

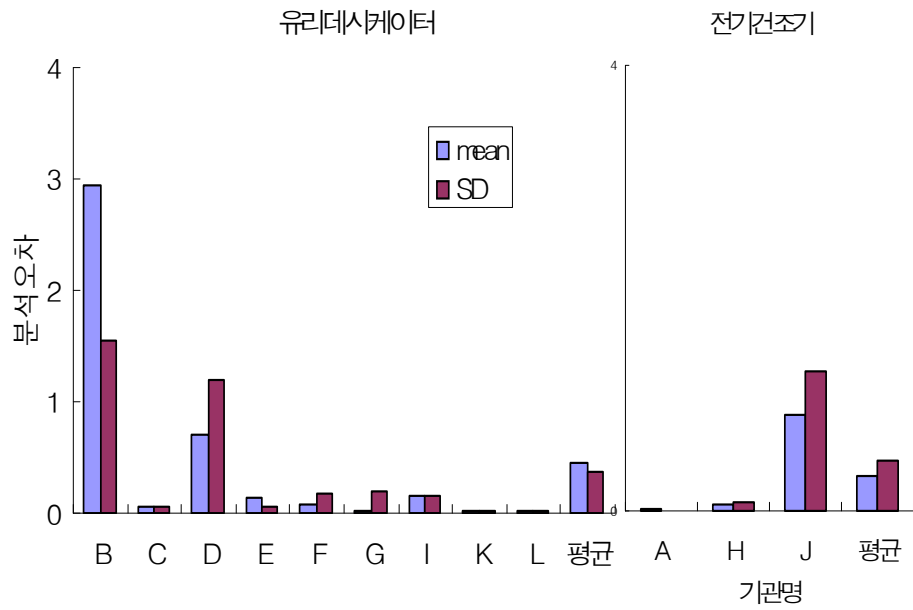


Fig 8. 여과지 건조 방법에 따른 분석오차비교.

### 3-1-7. 먼지 분석칭량횟수와 분석오차와의 비교

먼지 무게 칭량시 칭량횟수를 조사하여 칭량횟수에 따른 먼지 분석의 오차와 비교하여 보았다.

표 10 은 칭량횟수를 통한 먼지 분석 오차를 비교해보았다. 그 결과 1회 칭량으로 결과를 발송하는 기관이 2회 이상 칭량하여 평균값으로 분석값을 내는 기관보다 좋게 나왔다. 이 결과를 보면 2회 이상 칭량하는 것은 먼지농도 분석에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

표 10. 칭량횟수에 따른 분석오차 비교(mg)

칭량회수	연구대상순번	mean	SD
1회	1	0.0510	0.0670
	2	0.6970	1.2020
	3	0.1486	0.1518
	4	0.0110	0.0099
평균		0.2269	0.3577
2회이상	1	0.0236	0.0089
	2	2.9460	1.5510
	3	0.1360	0.0650
	4	0.0760	0.1708
	5	0.0210	0.2000
	6	0.0589	0.0710
	7	0.8660	1.2580
	8	0.0228	0.0143
평균		0.5188	0.4174

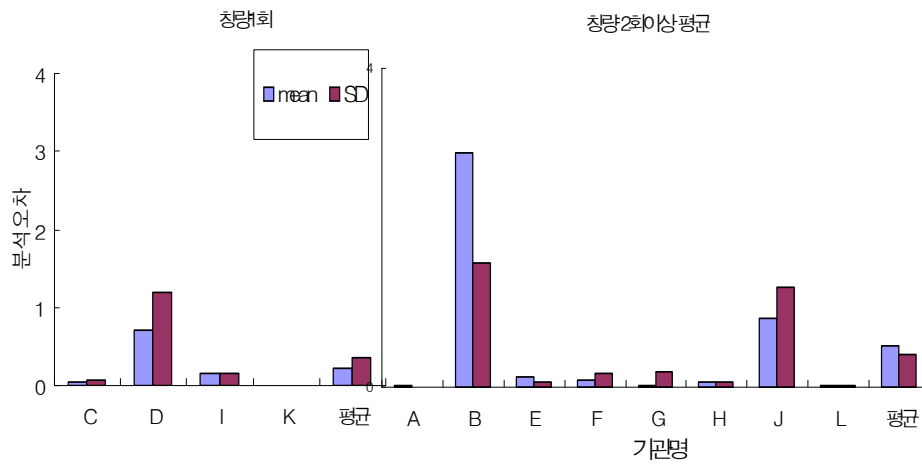


Fig 9. 먼지분석 칭량횟수와 분석오차와의 관계.

### 3-1-8. 먼지 분석경력과 분석오차와의 관계

먼지 분석경력에 따른 먼지 분석오차를 관찰해보았다.

표 11. 먼지 분석경력에 따른 분석오차비교(mg)

기관명	분석년차	mean	SD
A	1	0.0236	0.0089
C	1	0.0510	0.0670
E	1	0.1360	0.0650
J	1	0.8660	1.2580
H	1	0.0589	0.0710
F	2	0.0760	0.1708
K	3	0.0110	0.0099
D	6	0.6970	1.2020
I	6	0.1486	0.1518
L	6	0.0228	0.0143
B	8	2.9460	1.5510
G	8	0.0210	0.200
평균		0.4215	0.3975

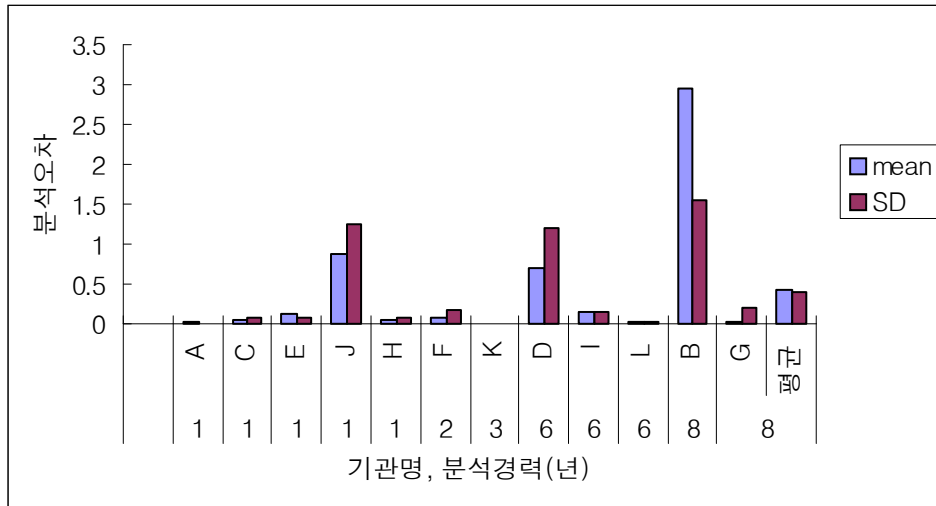


Fig 10. 분석경력에 따른 분석오차비교.

분석자의 경력에 따른 오차범위는 경력이 1년 이상된 경우에는 먼지분석의 분석자의 오차 보다는 기계적인 오차나 샘플자체의 오염 등에 의한 오차가 많이 기인한다.

### 3-2. 전체 기관평균 LOD, LOQ비교

참여기관에서 보내진 시료를 분석하여 기관별 오차와 LOD, LOQ를 구하였다. 각 기관별 LOD, LOQ는 표 12 에서 보는 바와 같이 분석되어졌다.

표 12. 기관별 LOD, LOQ(mg)

기관명	LOD	LOQ
A	0.0267	0.0891
B	4.6529	15.5096
C	0.2023	0.6744
D	3.6048	12.0161
E	0.1958	0.6528
F	0.5125	1.7083
G	0.0600	0.2000
H	0.2134	0.7114
I	0.4554	1.5181
J	3.7747	12.5824
K	0.0298	0.0994
L	0.0430	0.1433
평균	1.1476	3.2540

기관 평균 LOD는 1.1476, LOQ는 3.2540, 분석오차평균은 0.4215, 최대 오차값은 5.45, 최소 오차값은 0으로 분석되었다..

여기서 보면 기관 평균 LOD, LOQ값보다 높게 분석된 기관이 3개 기관이며 나머지 기관은. LOD, LOQ값이 평균보다 낮게 나왔다는 것을 볼 수 있다.

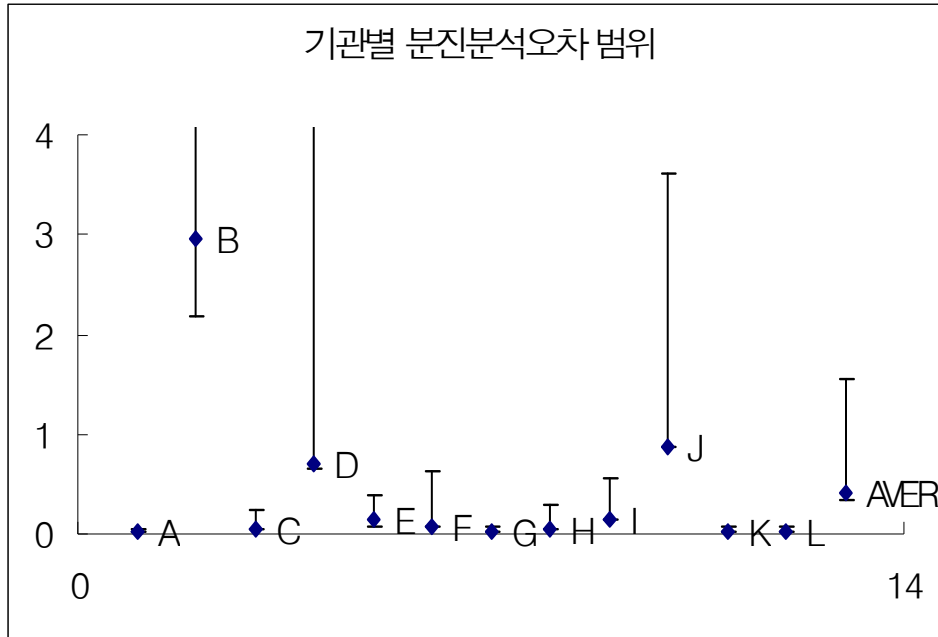


Fig-11.기관별 먼지분석오차 범위.

#### 4. 연구대상의 LOD, LOQ 고찰

위에서 보았듯이 각 실험실에서 측정된 먼지의 결과를 보면 LOD는 0.0267 ~ 4.6529 이고, LOQ는 0.0891 ~ 15.5096 으로 분석되었다.

호흡성 먼지의 기준치인  $3 \text{ mg/m}^3$  를 분석하기 위해서는, 8시간 동안 1.7 LPM(Liter per minute)으로 포집한다는 가정 하에 계산하면 2.448 mg 을 모든 오차를 포함해서 먼지 시료 하나에서 분석할 수 있어야 된다. 즉, 각 기관의 LOD 값이 2.448 mg 보다 낮아야만 측정할 수 있게 된다. 본 연구 대상들의 LOD 값과 비교하면 3개 기관이 2.448 mg 보다 큰 LOD 값을 가지고 있는 것으로 나타났다.

여기에 평균적으로 작업장의 먼지량이 적어 호흡성 먼지의 기준치인  $3 \text{ mg/m}^3$  의 십분의 일 수준을 분석하게 되는 경우라면 0.2448 mg을

시료 하나당 칭량할 수 있어야 된다. 이 기준을 놓고 보면, 본 연구 대상의 50 %인 6개 기관이 0.2448 mg 보다 높은 LOD를 갖고 있었다.

더욱 심각한 경우를 가정해, 1종먼지를 측정·분석한다고 보면, 기준치인  $2\text{mg}/\text{m}^3$  를 2 LPM으로 8시간 포집했을 때 각 시료당 1.92 mg을 분석할 수 있어야 된다. 이 기준으로 보면, 본 연구 대상들 중 3개 기관이 더 높은 LOD를 갖고 있었다. 시료 오염이라는 변수를 배제하고 본다면 1종먼지를 다루는 작업장의 먼지 유해성을 약 25 %는 제대로 평가할 수 없게 되는 것이다.

1종 먼지라면 작업장에서도 신경써서 관리할 것임을 생각해 보면 앞의 경우와 같이 기준치의 십분의 일 수준인 0.192 mg 까지도 분석가능해야 한다. 그러나 본 연구대상들 중에서 3개 기관을 제외한 9개 기관의 LOD가 0.192 mg을 초과한 것으로 나타났다.

본 연구대상 기관들의 LOD 값을 4가지 범위로 나누어 보았다. 0.04 mg 이하의 LOD를 갖는 기관(3개)과 0.2 mg 근처의 값을 갖는 기관(3개), 0.4~0.6 mg 의 3개 기관, 그리고 3 mg 이상의 LOD 값을 갖는 3개 기관이었다. 위에서 언급한 호흡성 먼지의 기준( $3\text{mg}/\text{m}^3$ )과 1종먼지의 총먼지 기준( $2\text{mg}/\text{m}^3$ )의 십분의 일 수준 값인 0.2448 mg과 0.192 mg 을 기준으로 보면, 0.04 mg 이하와 3 mg 이상의 값을 갖는 기관들을 제외한 중간의 6개 기관들은 먼지 분석 기술의 정도관리를 통한다면 작업장의 먼지로 인한 유해성 평가의 신뢰성을 높을 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 결론

기관별 먼지농도 분석에서 분석능력은 각 기관별 LOD 와 LOQ를 통해서 알 수 있다.

현재의 먼지는 총 먼지를 통한 폭로량의 측정 및 분석을 위주로 하였으나 점차로 미세먼지 및 호흡성 먼지의 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 이런 추세는 먼지의 측정 분석에 있어서 더욱 정밀도를 높일 수 있도록 관리·유지할 필요가 높아짐을 말하는 것이다.

한국산업안전공단 산업안전보건연구원에서 실시하고 있는 우리나라 작업환경 측정기관 정도관리는 유기용제와 중금속 두 분야의 실험실 분석수준을 판단하고, 일정수준 이상으로 유지하도록 하기 위한 프로그램이다. 이 정도관리 프로그램은 1992년부터 꾸준히 시행되고 있으며, 미국의 정도관리프로그램(Proficiency Analytical Testing Program)에 참여하여 유기용제와 중금속, 석면, 유리규산분야에서 실험실 분석 수준을 유지·관리하는 기관도 있다. 그러나 산업위생분야에서 실시하고 있는 정도관리 프로그램에 먼지에 대한 정도관리 항목은 없다.

먼지에 대한 근로자의 작업장 노출을 미국 노동부(OHSA)와 미국립 직업안전보건연구소(NIOSH)의 측정·분석법을 따르고 있으나 그 결과에 대한 정도관리는 되지 않고 있는 실정이다. 또한, 기관별 분석결과에 따른 오차를 분석해본 결과 먼지분석시 분석오차를 줄이기 위해서는 청량저울의 주기적인 보정과 항온·항습이 가능한 독립장소에서 분석하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

그러나 이러한 분석실이 갖춰진다 해도 앞으로의 먼지 농도 분석이

보다 신뢰를 갖고 분석자의 먼지분석 재현성을 높이기 위해서는 우리나라 작업환경측정기관들의 먼지 측정 분석에 대한 실태를 파악하고 정도관리를 해 나감이 필요하다 하겠다.

## 참고 문헌

1. 박동욱, 신용철, 박승현, 이나루, 오세민, 윤충식, 백남원 (1994) : 작업환경 측정기관의 정도관리를 통한 분석능력이 미흡한 기관들의 분석오차 유발요인에 관한 고찰, 한국산업위생학회지 제4권 제1호, pp.97-102.
2. 이병수, 김경미(2002) : 분진의 중량농도분석을 위한 유리섬유필터와 PVC필터의 항량비교, 敬仁論集, Vol.- No.2, pp. 32-37.
3. 박두용(2000) : 작업환경측정의 정도관리 개선방안, 論文集, Vol.24 No.2, 287-288.
4. 2003년도 작업환경관리현황. 노동부.
5. Samuel Paik, James H. Vincent(2002) : Filter and Cassette Mass Instability in Ascertaining the Limit of Detection of Inhalable Airborne Particulates AHIA Journal(63) November, pp. 698-702.
6. <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/partial/pv2121/pv2121.html>

## Appendix. 1

<p>1. 먼지 측정에 사용하는 저울(balance)에 대한 정보를 기입해주시시오</p> <p>모 델 명 :</p> <p>구입년도 :</p> <p>단 위 :(소수점 몇자리)</p>
<p>2. 최근 저울을 보정(Calibration)을 한 적이 있는지?</p> <p><input type="checkbox"/> 있다   <input type="checkbox"/> 없다   <input type="checkbox"/> 모른다</p> <p>보정한적이 있다면 1년에 몇회나 보정을 하셨습니까?   회</p>
<p>3. 먼지분석 장소가 어떤형태로 되어있습니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 별도분리   <input type="checkbox"/> 측정준비실   <input type="checkbox"/> 실험실내부   <input type="checkbox"/> 기타 (   )</p> <p>별도 분리되어 있다면 향온·향습은 가능합니까? :</p> <p><input type="checkbox"/> 향온·향습   <input type="checkbox"/> 둘중하나   <input type="checkbox"/> 안한다</p>
<p>4. 필터의 건조방법은 어떤방법을 사용하십니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 유리(테시케이터)   <input type="checkbox"/> 플라스틱   <input type="checkbox"/> 전기건조기   <input type="checkbox"/> 기타 (   )</p> <p>건조시 필터건조시간은 얼마나 되십니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 2시간미만   <input type="checkbox"/> 2시간이상</p>
<p>5. 필터의 칭량은 분석시 몇 회나 실시하고 계십니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 2회 이상   <input type="checkbox"/> 1회</p> <p>칭량시 저울의 안정화 시간은 주고계십니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 모르겠다   <input type="checkbox"/> 일정시간준다(시료당 일정하게)</p> <p><input type="checkbox"/> 저울의 상황에 따라변화   <input type="checkbox"/> 기타(   )</p>
<p>6. 먼지분석자는 먼지만을 전담하십니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 그렇다   <input type="checkbox"/> 그렇지않다</p> <p>그렇지 않다면 먼지분석자는 어떤일을 하고있습니까?</p> <p><input type="checkbox"/> 측정과 검직   <input type="checkbox"/> 기타 분석과 검직</p> <p><input type="checkbox"/> 개인별로 먼지 분석(자신의 시료는 자신이 분석)</p> <p><input type="checkbox"/> 기타 (   )</p> <p>먼지 분석자의 경력은?   년   개월</p>

## Abstract

# **A Study on the Precision of Dust Measurement of Some Occupational Health Laboratories**

Lim, Shin Seob

Division of Industrial Hygiene Engineering  
Graduate School of Occupational Safety and Health  
Hansung University

Director

Park, Doo Yong, Dr.P.H., CIH

In these days, The importances of fine particulate and respirable dust are more emphasized in the field of industrial hygiene and the concern of indoor air quality of office environment in which there are very small size and much less quantity of dusts is increased. Therefore high quality of analysis is required to measure and analyze the small size and quantity of dusts.

This study was performed to compare the analytical quality of dust and laboratory conditions of subjects. The subjects were included 5 non-profit institutes, 3 universities, 3 hospitals and 1 national institute. They all can measure and analyze the contaminants of

occupational environment.

Questionnaire and prepared dust samples are used in this study.

The results of this study are followed :

1. According to the sensitivity of balance( $10^{-5}$ g vs  $10^{-6}$ g), the mean error was 0.2088mg and 1.4848mg respectively.
2. On the calibration of balance, the mean error of subjects calibrated was 0.2357mg and subjects not calibrated was 0.5144mg.
3. The laboratory separated the balance room had less value of mean error(0.0110mg vs 0.3159mg).
4. The control of temperature and humidity affected positively the mean error value(0.0228mg vs 0.2191mg).
5. The average value of limit of detection(LOD) was 1.1476mg and the average value of limit of quantification(LOQ) was 3.2540mg for all subjects.

The results show that calibrating the balance periodically and the control of temperature and humidity of the separated balance room should be required for increasing the dust quality of analysis.