

碩士學位論文

호흡성 먼지의 중량농도분석을 위한
정확도 향상에 관한 연구

2007年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

鄭 時 正

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

호흡성 먼지의 중량농도분석을 위한
정확도 향상에 관한 연구

Study on the Improvement of Accuracy for Gravimetric
Analysis Method for Respirable Dust

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

鄭 時 正

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

鄭時正의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

호흡성 먼지의 중량농도분석을 위한
정확도 향상에 관한 연구

Study on the Improvement of Accuracy for Gravimetric
Analysis Method for Respirable Dust

2006年 12月

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

鄭 時 正

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

목 차

표 목 차	ii
그림목차	iii
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 연구목적	3
II. 연구방법	4
1. 연구대상	4
2. 연구방법	4
1) 전자저울	5
2) 공시료 칭량방법	5
III. 연구결과	6
1. 공시료의 변이	6
2. 여과지별 두 저울에 의한 칭량결과의 차이비교	9
3. 전자저울의 감도에 따른 PVC Membrane Filter무게	11
5. 전자저울의 감도에 따른 PTFE Membrane Filter무게	14
6. 전자저울의 감도에 따른 Glass Fiber Filter무게	17
7. 전자저울 감도에 따른 여과지무게의 고찰	20
IV. 결 론	22
참고문헌	24
ABSTRACT	25

표 목 차

Table 1. 감도가 0.01 mg과 0.001 mg인 저울의 공시료 칭량결과	6
Table 2. 감도가 0.01 mg과 0.001 mg인 저울을 이용한 공시료 칭량결과에 따른 LOD 및 LOQ	8
Table 3. 두 저울 간 여과지종류별 칭량결과의 비교결과	9
Table 4. 감도에 따른 PVC filter 무게	11
Table 5. 감도에 따른 PTFE filter 무게	14
Table 6. 감도에 따른 GF filter 무게	17

그림목차

Figure 1. 감도에 따른 여과지종류별 청량결과.	10
Figure 2. 감도에 따른 PVC filter 무게.	13
Figure 3. 감도에 따른 PVC filter 무게의 상관관계.	13
Figure 4. 감도에 따른 PTFE filter 무게.	16
Figure 5. 감도에 따른 PTFE filter 무게의 상관관계.	16
Figure 6. 감도에 따른 GF filter 무게.	19
Figure 7. 감도에 따른 GF filter 무게의 상관관계.	19
Figure 8. 감도에 따른 여과지종류별 청량 표준편차.	20

I. 서 론

1. 연구배경 및 필요성

공기 중에 부유하고 있는 입자상물질들의 크기는 0.001~100 μm 의 범위를 가지고 있으며, 이것의 중요한 세 가지 형태는 먼지미스트, 흙이다.³⁾ 작업장에서 고체미립자로 부유하고 있는 먼지는 주로 광업, 가공업, 건설업, 제조업 등에서 많이 발생할 뿐 만 아니라, 작업공정 없이 근로자가 일하는 사무실의 실내 환경에서도 환기 및 실내 발생원에 따라 발생한다.

최근 사람들의 건강에 대한 관심의 증대와 건강증진의 욕구로 인해 작업장에서 일하는 근로자들뿐만 아니라 사무직 근로자의 건강에 대한 관심이 많아졌으며, 노동부에서는 사무실 실내공기기준(보건기준규칙 제46조 내지 제57조)을²⁾ '03. 7. 12일부터 시행하고 있으며 그 밖의 환경부나 보건복지부, 건설교통부, 교육인적자원부에서는 각 부처마다 실내공기질에 대해 관리하고 있으며 교육인적자원부를 제외한 각 부처에서 먼지가 실내공기질 관리대상 항목으로 들어가 있다.¹⁾

호흡성 먼지는 가스교환부위, 즉 폐포에 침착 할 때 유해한 물질로서 평균입경이 4 μm 이고 0~10 μm 정도 입경범위를 갖는 먼지를 말하며,(ACGIH, 2003), 미세먼지는 대략 10 μm 이하의 먼지로서(EPA, 2004) 평균입경이 약 10 μm 정도, 입경크기는 0~16 μm 입경크기를 갖는다. 기존 산업보건 분야에서 먼지를 입자의 크기에 따라 흡입성먼지, 흉곽성먼지, 그리고 호흡성먼지로 나눌 때 정확히 일치하지는 않지만 여기서 말하는 미세먼지는 흉곽성먼지와 비슷한 입자크기의 먼지이다.⁶⁾

이러한 먼지는 크기와 화학성분에 따라 인체에 미치는 건강상의 영향이 다른데, 미세입자는 심폐질환으로 인한 수명단축과 시정(visibility) 감소의 원인으로 작용하여 건강에 직·간접적인 피해를 주고 있다. 미세입자는 대기 중에 오랫동안 떠다니면서 기도를 통해 체내에 들어와 폐 깊숙이 안착하여 각종 호흡기 질환을 일으키는 원인이 된다. 미세입자가 유발하는 질환으로는 천식이 대표적이며 천식은 만성 호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 흉부압박감 등의 증상을 초래한다.¹⁾

먼지에 대한 노출평가는 물리적 분석과 화학적 분석으로 나뉘는데

물리적 분석에서의 중량분석은 필터를 사용하여 일정한 유량을 통과시킨 후 무게의 증가를 분석하는 것이고, 현미경 분석은 입자의 크기를 재거나 계수를 셀 때 주로 사용된다. 화학적 분석은 원자흡광광도계(AAS), X-선 형광분석기(XRF), 푸리에변환적외선분광분석(FTIR) 등으로 물질의 구성원소를 분석하는 것이다.

산업보건 분야에서 먼지에 대한 노출을 평가할 때 가장 보편적으로 중량분석이 많이 사용되고 있다. 총먼지는 NIOSH Method 0500을 주로 사용하며, 우리나라의 기준은 KOSHA Code Method No.111과 같다. 호흡성먼지는 NIOSH Method 0600방법을 준용하거나 우리나라의 KOSHA Code Method No.109를 사용한다. NIOSH Method 0500이나 KOSHA Code Method No.111은 PVC filter 가 장착된 3단 카세트로 여과채취 하여 전자저울(감도: 0.001 mg)로 중량분석을 하는 방법이며, NIOSH Method 0600이나 KOSHA Code Method No.109방법은 PVC filter가 장착된 Cyclone으로 여과채취 하여 전자저울(감도 : 0.001 mg)로 중량분석을 하는 방법이며, KOSHA Code Method에서는 0.01 mg인 전자저울도 현 노동부 노출기준은 평가 가능하다고 되어 있다.^{7),11)} 산업안전보건법의 사업장위탁측정기관의 장비기준을 보면 전자저울은 0.01 mg이하까지 측정이 가능한 것(제95조와 관련하여 규칙별표12)이라²⁾ 제시되어 있으며, 일부 기관을 제외한 대부분의 작업환경측정기관 또한 법적 기준인 0.01 mg까지 분석이 가능한 전자저울을 보유하고 있다.⁵⁾

산업안전보건법의 관리기준과 환경부의 다중이용시설을 대상으로 다중이용시설 등의 실내공기질관리법을 보면 호흡성먼지나 미세먼지의 기준을 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다.^{2),8)}

호흡성먼지이나 미세먼지를 정확히 측정분석을 위해서는 0.001 mg 이하의 전자저울의 필요성은 확실하나 저울의 감도가 높을수록 전자저울이 가격이 비싸며, 여과지 칭량 시 상당한 시간이 소요되어 비용이 증가한다. 또한 온·습도나 기류 정전기뿐만 아니라 중량분석실의 환경의 영향에 영향을 크게 받아 기기의 안정화가 쉽지 않아 오히려 오차가 증가하는 경우도 있다.

따라서 본 연구에서는 전자저울의 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 두 전자저울을 이용하여 여과지무게를 측정하여 실제 측정 시 측정한 계에 대하여 비교·분석하고자 시도되었다.

2. 연구목적

호흡성먼지를 측정분석하기 위해서 NIOSH Method에서 감도가 0.001 mg이상인 전자저울로 칭량하는 것을 제시하고 있고, KOSHA Code Method에서는 감도 0.01 mg인 전자저울도 현 노동부 노출기준은 ‘평가가능하다’라고 나와 있다.²⁾ 본 연구에서는 이 두 가지 저울의 감도차이가 실제 측정 시 오차에 미치는 영향을 검증하고자 실시되었다. 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 전자저울을 이용하여 여과지(PVC filter, PTFE filter, Glass Fiber filter) 종류별로 칭량한 후 비교 평가한다.

둘째, 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 전자저울의 분석 결과를 가지고 LOD와 LOQ를 확인해 보고, 최소 시료채취시간을 파악하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 실험에 사용된 여과지는 NIOSH Method에서 제시하고 있는 PVC Membrane Filter(37 mm, pore size 5.0 μm , PALL)와 환경부 실 내공기질공정시험방법(환경부 고시 제 2004-80호)의 미세먼지시험방법에서 제시하고 있는 여과지 조건(① 0.3 μm 의 입자상물질에 대하여 99%이상의 초기 포집율을 갖는 것 ② 가능한 압력손실이 낮은 것 ③ 가스상 물질의 흡착이 적고, 흡습성 및 대전성(帶電性)이 낮은 것 ④ 취급하기 쉽고 충분한 강도를 가질 것 ⑤ 분석에 방해되는 물질을 함유하지 않을 것)을 만족 시키는 Glass Fiber Filter(37 mm, pore size 1.0 μm , SKC)와 PTFE Membrane Filter(37 mm, pore size 0.45 μm , SKC)를 선정하였다.⁹⁾

2. 연구방법

먼지노출의 측정분석과정은 1차 항량, 1차 칭량, 1차 유량보정, 시료포집, 2차 유량보정, 2차 항량, 2차 칭량, 농도산정 및 평가로 이루어진다.⁴⁾ 본 연구에서는 위와 같은 과정 중에서 실제 시료채취를 제외한 전 과정을 동일하게 NIOSH Method 0600과 KOSHA Code A-1-2004 Method No. A-1-109에 준하여 공시료를 측정하는 방법으로 실시하였다.

먼지노출 측정은 전자저울을 이용한 중량분석으로 이는 온도, 습도, 조도, 정전기에 영향을 받을 수 있기 때문에 여과지는 중량분석 전 24시간 동안 상대습도 30 ~ 40 %(오차 $\pm$ 5 %) 및 온도 20 ~ 23 $^{\circ}\text{C}$ (오차 $\pm$ 2 $^{\circ}\text{C}$)를 유지하는 항온·항습실(Desiccator)에서 보관해야하며¹⁰⁾, 중량분석실의 환경조건은 상대습도는 50 $\pm$ 5 %, 온도는 20 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지해야 한다.¹¹⁾

1) 전자저울

감도가 0.01 mg인 전자저울은 Satorius사의 Model R2000를 이용하였다. 0.0001 mg을 가지는 전자저울은 Mettler Toledo사의 Model UMT2를 이용하였다.

2) 공시료 칭량방법

여과지무게의 칭량은 NIOSH Method 0600에 준하여 실시하였고, 각 여과지종류별로 20개를 무작위로 선택하여 칭량 전 항온·항습실에 48시간 이상 보관한 후 전자저울이 설치된 중량분석실에 칭량하고자 하는 여과지를 최소한 2시간 정도 방치하여 중량실의 온·습도 조건을 평형화 시켰다. 무게를 달기 직전 여과지의 정전기를 제거(Model DC controller ES-200, SDION) 한 후 각 여과지당 3회 이상 반복하여 칭량하였다.

전자저울을 이용한 중량분석은 여과지 칭량 시 온·습도, 조도, 정전기 등에 영향을 받을 수 있기 때문에 분석 기간 동안 중량분석실의 환경조건은 기류 0 m/sec, 습도 30 ~ 50 %, 온도 21 ~ 24 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다.

III. 연구결과

1. 공시료의 변이

공기 중 먼지농도, 특히 미세먼지를 중량법으로 분석할 때, 감도가 0.01 mg인 저울과 0.0001 mg인 저울을 이용할 때 차이점이 있는지 여부를 파악하기 위하여 먼지 채취과정만 생략하고 먼지 채취과정과 동일하게 여과지를 칭량하는 공시료 칭량시험을 통하여 먼지측정 검지한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantitation, LOQ)를 파악한 결과는 표 1에서 보는 바와 같다.

PVC membrane 여과지를 대상으로 총 25회 공시료를 측정한 결과를 보면 감도가 0.01 mg인 저울의 경우, 시료채취 후 여과지 무게(post-weight)와 시료채취 전 여과지 무게(pre-weight)의 차이는 평균 0.00 mg이었으며, 감도가 0.0001 mg인 저울은 0.002 mg인 것으로 나타났다. 한편 여과지의 무게차이에 대한 변이를 표준편차로 보면 감도가 0.01 mg인 저울의 경우에는 0.01 mg, 감도가 0.0001 mg인 저울의 경우에는 0.006 mg으로 나타났다.

Table 1. 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 저울의 공시료 칭량결과

	0.01 mg readable balance			0.0001 mg readable balance		
	pre-wt	post-wt	difference	pre-wt	post-wt	difference
1	12.63	12.65	0.01	12.6534	12.6575	0.004
2	12.89	12.89	-0.01	12.8991	12.8967	-0.002
3	11.94	11.94	0.00	11.9510	11.9487	-0.002
4	11.94	11.93	0.00	11.9625	11.9634	0.001
5	12.13	12.13	0.00	12.1362	12.1358	0.000
6	13.08	13.07	-0.01	13.0906	13.0925	0.002
7	12.29	12.29	0.00	12.2745	12.2735	-0.001
8	12.23	12.23	0.01	12.2360	12.2413	0.005
9	12.12	12.12	0.00	12.1345	12.1329	-0.002
10	12.04	12.02	-0.02	12.0298	12.0286	-0.001
11	12.01	12.00	-0.02	12.0093	12.0076	-0.002
12	13.16	13.18	0.02	13.1736	13.1736	0.000
13	12.40	12.39	-0.01	12.4004	12.4004	0.000

Table 1. 계속, 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 저울의 공시료 칭량결과

	0.01 mg readable balance			0.0001 mg readable balance		
	pre-wt	post-wt	difference	pre-wt	post-wt	difference
14	12.29	12.26	-0.03	12.2867	12.2827	-0.004
15	11.85	11.85	0.00	11.8496	11.8528	0.003
16	12.73	12.71	-0.01	12.7363	12.7400	0.004
17	11.41	11.43	0.02	11.4471	11.4494	0.002
18	12.35	12.35	0.00	12.3573	12.3555	-0.002
19	12.17	12.17	0.00	12.1970	12.1897	-0.007
20	11.88	11.89	0.01	11.8987	11.8973	-0.001
21	12.78	12.77	-0.01	12.7741	12.7771	0.003
22	11.62	11.64	0.02	11.6314	11.6265	-0.005
23	12.08	12.07	-0.01	12.0690	12.0737	0.005
24	11.75	11.73	-0.02	11.7517	11.7473	-0.004
25	12.66	12.66	0.00	12.6762	12.6728	-0.003
26	12.65	12.65	0.00	12.6575	12.6580	0.000
27	12.89	12.91	0.02	12.8967	12.9144	0.018
28	11.94	11.94	0.00	11.9487	11.9462	-0.002
29	11.93	11.96	0.02	11.9634	11.9608	-0.003
30	12.13	12.13	-0.01	12.1358	12.1363	0.001
31	13.07	13.08	0.01	13.0925	13.0962	0.004
32	12.29	12.28	-0.01	12.2735	12.2851	0.012
33	12.23	12.24	0.00	12.2413	12.2509	0.010
34	12.12	12.13	0.01	12.1329	12.1350	0.002
35	12.02	12.04	0.02	12.0286	12.0279	-0.001
36	12.00	12.01	0.01	12.0076	12.0117	0.004
37	13.18	13.17	-0.01	13.1736	13.1745	0.001
38	12.39	12.39	0.00	12.4004	12.4013	0.001
39	12.26	12.26	0.00	12.2827	12.3002	0.017
40	11.85	11.87	0.03	11.8528	11.8540	0.001
41	12.71	12.73	0.01	12.7400	12.7449	0.005
42	11.43	11.42	-0.01	11.4494	11.4470	-0.002
43	12.35	12.35	0.00	12.3555	12.3467	-0.009
44	12.17	12.17	0.00	12.1897	12.1967	0.007
45	11.89	11.89	-0.01	11.8973	11.9106	0.013
46	12.77	12.78	0.02	12.7771	12.7810	0.004
47	11.64	11.62	-0.02	11.6265	11.6279	0.001
48	12.07	12.08	0.01	12.0737	12.0854	0.012
49	11.73	11.73	0.00	11.7473	11.7434	-0.004
50	12.66	12.66	0.00	12.6728	12.6759	0.003
Mean			0.00			0.002
SD			0.01			0.006

따라서 감도가 0.01 mg인 저울을 이용한 중량법의 검지한계(LOD)는 다음과 같이 0.03 mg이며, 정량한계(LOQ)는 0.1 mg이라고 할 수 있으며, 0.0001 mg인 저울을 이용한 중량법의 검지한계(LOD)는 다음과 같이 0.018 mg이며, 정량한계(LOQ)는 0.06 mg이라고 할 수 있다.

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

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

Table 2. 감도가 0.01 mg과 0.001 mg인 저울을 이용한 공시료 칭량결과에 따른 LOD 및 LOQ (mg)

0.01 mg readable balance		0.0001 mg readable balance	
LOD	LOQ	LOD	LOQ
0.03	0.10	0.018	0.06

‘검출한계’는 DL(*Detection Limit*, Roy L, 1991; FDA, 1999; David et al, 1997; WCAS), LOD(*Limit Of Detection*, J Mocaik et al, 1997; Jordi et al 1999; NIOSH, 1991; Jerome et al, 1999), MDL(*Method Detection Limit*, *Standard Method*)등과 같이 여러 가지 용어로 표현되고 있고, 각각에 대한 정의도 약간씩 다르다. 일반적으로 LOD라는 용어는 IUPAC와 ACS의 정의를 많이 사용한다.

IUPAC에서는 LOD를 어느 주어진 분석절차에 따라 합리적인 확실성을 가지고 검출할 수 있는 가장 적은 농도나 양(*A concentration or quantity, that is derived from the smallest measure that can be detected with reasonable certainty for a given analytical procedure*)으로 정의하고 있고, ACS에서는 어느 정해진 분석절차로 신뢰성이 있게 분석할 수 있는 분석물질의 가장 낮은 농도(*The lowest concentration of an analyte that the analytical process can reliably detect*)라고 정의하고 있다. LOQ(Limit of Quantification)는 LOD로부터 3배 또는 3.3배라고 인위적으로 약속한 개념이다.

실험실에서 실시한 결과만으로 놓고 보면 감도가 0.0001 mg인 저울의 경우 0.01 mg의 저울보다 정량한계는 약 40% 향상된 것으로 나타났다.

2. 여과지별 두 저울에 의한 칭량결과와 차이비교

PVC filter의 경우 감도가 0.01 mg로 칭량한 결과 평균 10.7025 mg $\pm$ 0.007, 감도가 0.0001 mg인 경우 평균 10.7126 mg $\pm$ 0.001, PTFE filter는 감도가 0.01 mg로 칭량한 결과 평균 46.6339 mg $\pm$ 0.007, 감도가 0.0001 mg인 경우 평균 46.5376 mg $\pm$ 0.001이었다. 그리고 GF filter의 경우 감도가 0.01 mg로 칭량한 결과 평균 79.9382 mg $\pm$ 0.006, 감도가 0.0001 mg인 경우 평균 79.9435 mg $\pm$ 0.001을 나타냈다. (Table 3. 참조)

Table 3. 두 저울 간 여과지종류별 칭량결과와 비교결과

Filter Type	PVC Filter		PTFE Filter		GF Filter	
Balance Type	A*	B**	A	B	A	B
No. of Sample	20	20	20	20	20	20
Mean	10.7025	10.7126	46.6339	46.5376	79.9382	79.9435
SD	0.007	0.001	0.007	0.001	0.006	0.001
SD Range	~ 0.000 ~ 0.015	~ 0.000 ~ 0.003	~ 0.000 ~ 0.010	~ 0.000 ~ 0.005	~ 0.000 ~ 0.012	~ 0.000 ~ 0.003

* A : 0.01 mg of readability

** B : 0.0001 mg of readability

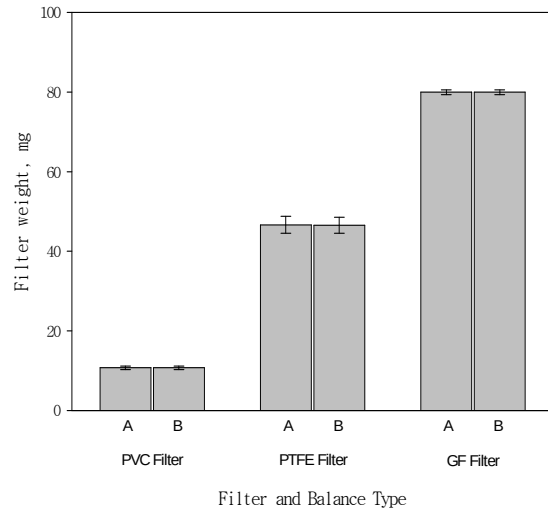


Figure 1. 감도에 따른 여과지종류별 칭량결과.

3. 전자저울의 감도에 따른 PVC Membrane Filter무게

감도에 따른 여과지의 무게를 비교하기 위해 칭량한 결과는 Table 4와 같다.

선택한 20개의 PVC filter를 감도 0.01 mg으로 칭량한 결과 평균 10.7025 mg에 표준편차(Standad Deviation)의 범위는 0.000 ~ 0.015 mg이며, 표준편차는 0.007 mg이었다. 감도 0.01 mg으로 칭량한 동일한 여과지를 감도 0.0001 mg으로 칭량해 본 결과 평균 10.7126 mg에 표준편차의 범위는 0.000 ~ 0.003 mg이며 표준편차는 0.0012 mg이었다.

감도에 따라 칭량한 PVC filter 20개의 상관성을 알아보기 위해 t-test를 한 결과 p-value가 0.05이상의 값은 6개, 0.05이하의 값은 14개로 나타났다.

Table 4. 감도에 따른 PVC filter 무게

		(mg)		
Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
1	Mean	10.7200	10.7564	0.000
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.09	0.01	
2	Mean	10.4875	10.4890	0.734
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.09	0.01	
3	Mean	10.5600	10.5679	0.165
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.09	0.00	
4	Mean	10.2133	10.2211	0.019
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.06	0.00	
5	Mean	10.5733	10.5889	0.001
	SD	0.006	0.001	
	CV (%)	0.05	0.01	
6	Mean	10.9700	10.9960	0.000
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.09	0.01	
7	Mean	10.0867	10.0974	0.012
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.06	0.00	

Table 4. 계속, 감도에 따른 PVC filter 무게

Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
8	Mean	10.4767	10.4851	0.065
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.06	0.00	
9	Mean	10.9533	10.9622	0.026
	SD	0.006	0.001	
	CV (%)	0.05	0.01	
10	Mean	10.7333	10.7303	0.323
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.05	0.00	
11	Mean	10.7600	10.7803	0.000
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.00	0.01	
12	Mean	10.9225	10.9368	0.006
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.09	0.01	
13	Mean	10.7867	10.7920	0.197
	SD	0.012	0.003	
	CV (%)	0.11	0.03	
14	Mean	10.8300	10.8403	0.019
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.09	0.01	
15	Mean	12.1400	12.1499	0.008
	SD	0.010	0.002	
	CV (%)	0.08	0.02	
16	Mean	10.4620	10.4598	0.008
	SD	0.015	0.002	
	CV (%)	0.14	0.02	
17	Mean	10.7920	10.8019	0.680
	SD	0.013	0.001	
	CV (%)	0.12	0.01	
18	Mean	10.5100	10.5189	0.000
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.00	0.00	
19	Mean	10.8133	10.8266	0.002
	SD	0.006	0.001	
	CV (%)	0.05	0.01	
20	Mean	10.2600	10.2520	0.000
	SD	0.000	0.002	
	CV (%)	0.00	0.02	
Total	Mean	10.7025	10.7126	
	Mean SD	0.007	0.001	

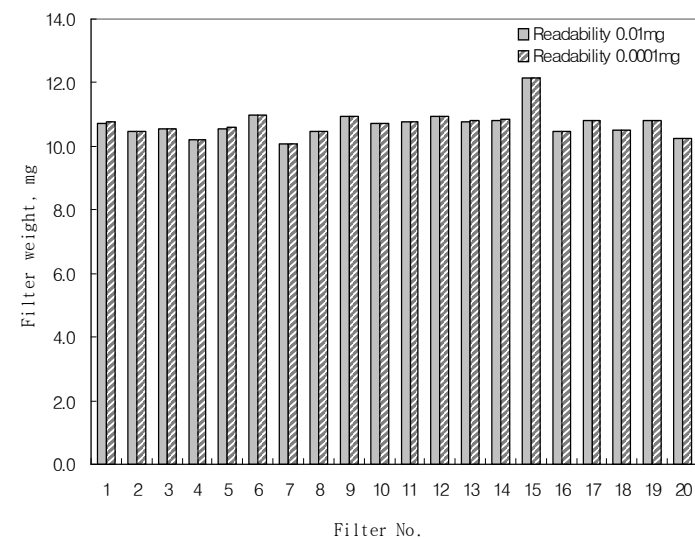


Figure 2. 감도에 따른 PVC filter 무게.

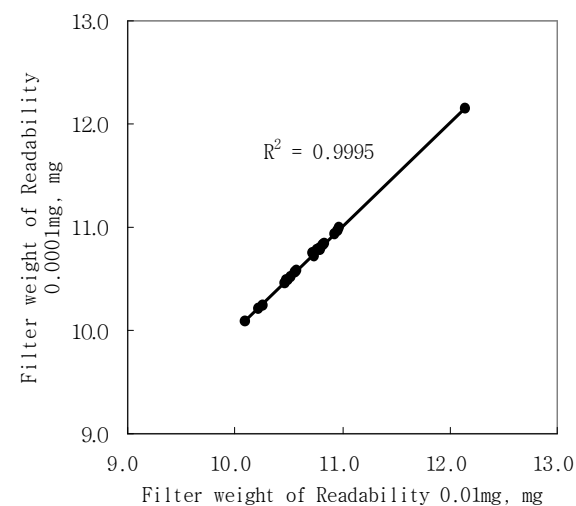


Figure 3. 감도에 따른 PVC filter 무게의 상관관계. (n=20)

5. 전자저울의 감도에 따른 PTFE Membrane Filter무게

감도에 따른 여과지의 무게를 비교하기 위해 칭량한 결과는 Table 5와 같다.

선택한 20개의 PTFE filter를 감도 0.01 mg으로 칭량한 결과 평균 46.6339 mg에 표준편차의 범위는 0.000 ~ 0.010 mg이며, 표준편차는 0.007 mg이었다. 감도 0.01 mg으로 칭량한 동일한 여과지를 감도 0.0001 mg으로 칭량해 본 결과 평균 46.5376 mg에 표준편차의 범위는 0.000 ~ 0.005 mg이며 표준편차는 0.001 mg이었다.

감도에 따라 칭량한 PTFE filter 20개의 상관성을 알아보기 위해 t-test를 한 결과 p-value가 0.05이상의 값은 14개, 0.05이하의 값은 6개로 나타났다.

Table 5. 감도에 따른 PTFE filter 무게

(mg)				
Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
1	Mean	47.9000	47.9037	0.420
	SD	0.010	0.002	
	CV (%)	0.030	0.005	
2	Mean	47.7867	47.7939	0.096
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.017	0.000	
3	Mean	47.3667	47.3710	0.417
	SD	0.012	0.001	
	CV (%)	0.035	0.004	
4	Mean	47.8133	47.8078	0.474
	SD	0.012	0.005	
	CV (%)	0.035	0.014	
5	Mean	47.2700	47.2645	0.717
	SD	0.000	0.003	
	CV (%)	0.000	0.009	
6	Mean	49.6933	47.7092	0.025
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.017	0.001	
7	Mean	49.3633	49.3684	0.007
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.017	0.001	

Table 5. 계속, 감도에 따른 PTFE filter 무게

Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
8	Mean	48.6767	48.6808	0.202
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.017	0.001	
9	Mean	49.2225	49.2241	0.622
	SD	0.010	0.002	
	CV (%)	0.029	0.005	
10	Mean	48.2900	48.2984	0.000
	SD	0.000	0.000	
	CV (%)	0.000	0.001	
11	Mean	47.0933	47.0999	0.297
	SD	0.012	0.001	
	CV (%)	0.035	0.002	
12	Mean	47.4200	47.4256	0.459
	SD	0.014	0.000	
	CV (%)	0.042	0.001	
13	Mean	44.1325	44.1376	0.412
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.029	0.001	
14	Mean	45.5325	45.5331	0.936
	SD	0.013	0.001	
	CV (%)	0.038	0.003	
15	Mean	45.1000	45.0950	0.000
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.000	0.002	
16	Mean	42.9300	42.9410	0.000
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.000	0.003	
17	Mean	43.7000	43.7038	0.547
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.030	0.001	
18	Mean	43.2175	43.2155	0.796
	SD	0.013	0.000	
	CV (%)	0.038	0.001	
19	Mean	44.6900	44.6888	0.056
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.000	0.002	
20	Mean	45.4800	45.4894	0.000
	SD	0.000	0.002	
	CV (%)	0.000	0.007	
Total	Mean	46.6339	46.5376	
	Mean SD	0.007	0.001	

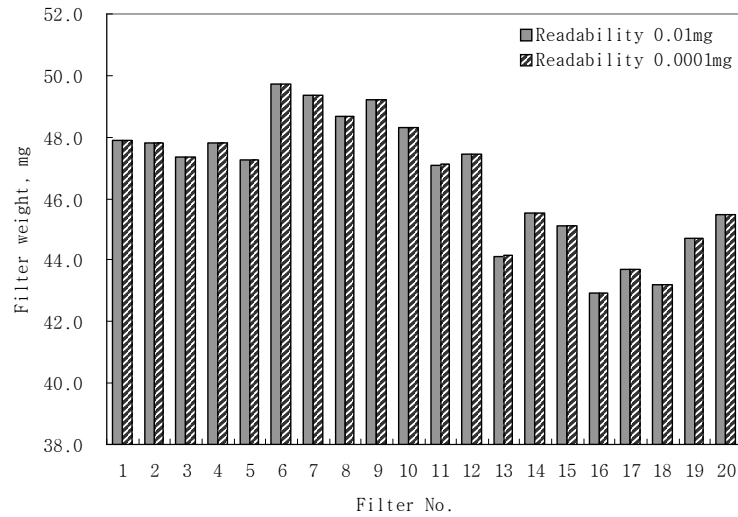


Figure 4. 감도에 따른 PTFE filter 무게.

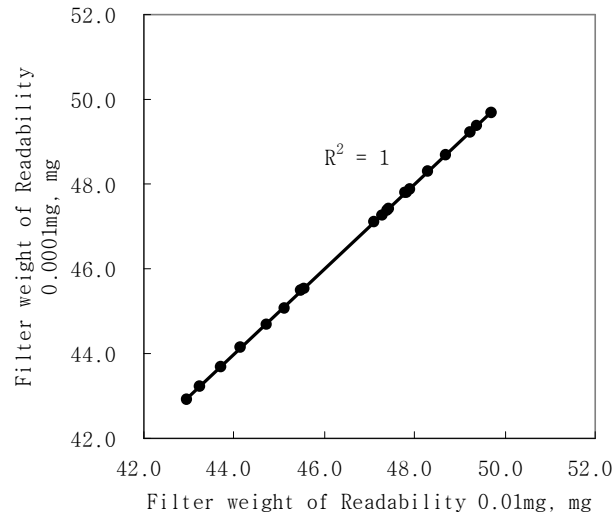


Figure 5. 감도에 따른 PTFE filter 무게의 상관관계. (n=20)

6. 전자저울의 감도에 따른 Glass Fiber Filter무게

감도에 따른 여과지의 무게를 비교하기 위해 칭량한 결과는 Table 6와 같다.

선택한 20개의 GF filter를 감도 0.01 mg으로 칭량한 결과 평균 79.9382 mg에 표준편차의 범위는 0.000 ~ 0.012 mg이며, 표준편차는 0.006 mg이었다. 감도 0.01 mg으로 칭량한 동일한 여과지를 감도 0.0001 mg으로 칭량해 본 결과 평균 79.9435 mg에 표준편차의 범위는 0.000 ~ 0.003 mg이며 표준편차는 0.001 mg이었다.

감도에 따라 칭량한 PTFE filter 20개의 상관성을 알아보기 위해 t-test를 한 결과 p-value가 0.05이상의 값은 13개, 0.05이하의 값은 7 개로 나타났다.

Table 6. 감도에 따른 GF filter 무게

				(mg)
Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
1	Mean	79.4800	79.4809	0.884
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.013	0.000	
2	Mean	79.7133	79.7395	0.000
	SD	0.006	0.001	
	CV (%)	0.007	0.001	
3	Mean	80.5350	80.5460	0.071
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.012	0.000	
4	Mean	79.5600	79.5341	0.000
	SD	0.000	0.000	
	CV (%)	0.000	0.000	
5	Mean	80.9767	80.9769	0.955
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.007	0.000	
6	Mean	80.6600	80.6656	0.001
	SD	0.000	0.002	
	CV (%)	0.000	0.002	
7	Mean	80.6475	80.6409	0.217
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.012	0.001	

Table 6. 계속, 감도에 따른 GF filter 무게

Filter No.		Readability 0.01mg	Readability 0.0001mg	p-value
8	Mean	80.2367	80.2494	0.128
	SD	0.012	0.000	
	CV (%)	0.014	0.000	
9	Mean	79.8575	79.8606	0.561
	SD	0.010	0.003	
	CV (%)	0.012	0.004	
10	Mean	80.1500	80.1694	0.000
	SD	0.000	0.000	
	CV (%)	0.000	0.000	
11	Mean	78.4200	78.4227	0.661
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.013	0.000	
12	Mean	79.7800	79.7903	0.150
	SD	0.010	0.001	
	CV (%)	0.013	0.001	
13	Mean	79.6100	79.6105	0.517
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.000	0.001	
14	Mean	80.4233	80.4269	0.345
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.007	0.000	
15	Mean	79.6500	79.6551	0.424
	SD	0.010	0.000	
	CV (%)	0.013	0.000	
16	Mean	79.5467	79.5507	0.215
	SD	0.006	0.001	
	CV (%)	0.007	0.001	
17	Mean	79.6333	79.6432	0.042
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.007	0.001	
18	Mean	79.6000	79.6163	0.000
	SD	0.000	0.000	
	CV (%)	0.000	0.000	
19	Mean	79.5800	79.5829	0.004
	SD	0.000	0.001	
	CV (%)	0.000	0.001	
20	Mean	80.7033	80.7087	0.183
	SD	0.006	0.000	
	CV (%)	0.007	0.000	
Total	Mean	79.9382	79.9435	
	Mean SD	0.006	0.001	

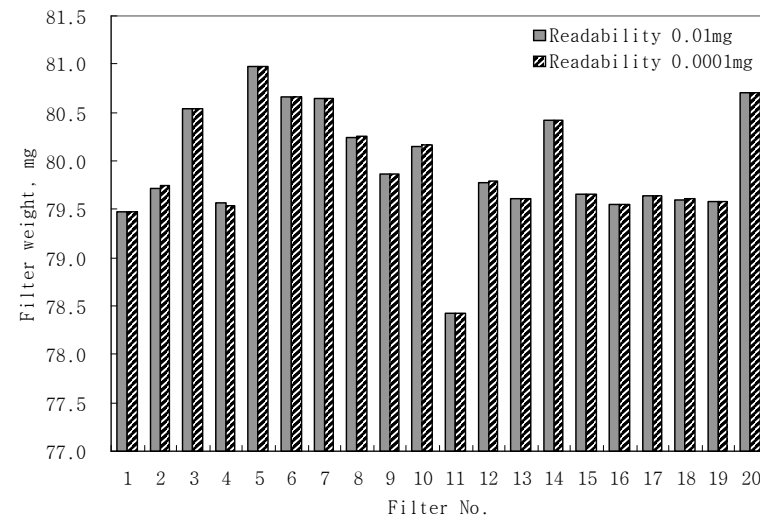


Figure 6. 감도에 따른 GF filter 무게.

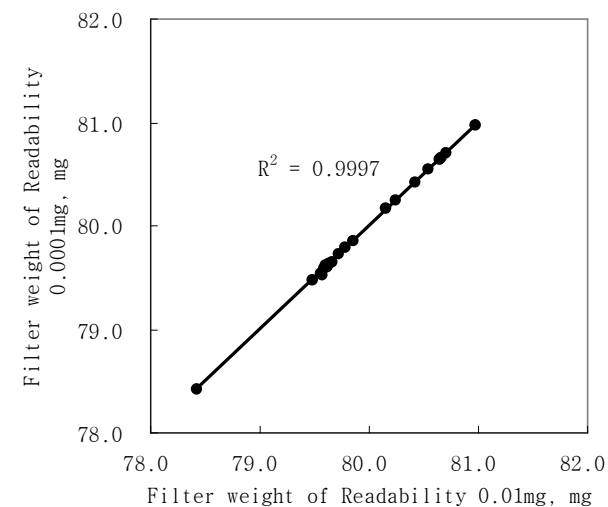


Figure 7. 감도에 따른 GF filter 무게의 상관관계. (n=20)

7. 전자저울 감도에 따른 여과지무게의 고찰

전자저울의 감도에 따라 PVC Membrane Filter와 PTFE Membrane Filter 및 Glass Fiber Filter별로 무게를 칭량해 본 결과 여과지 무게의 상관성에서는 상당히 높은 결과를 보였지만 감도 0.01 mg과 감도 0.0001 mg인 두 전자저울의 여과지 칭량값이 95 %의 신뢰구간에서 통계적으로 ‘유의하다’, ‘아니다’라고 결론을 내릴 수가 없었다.

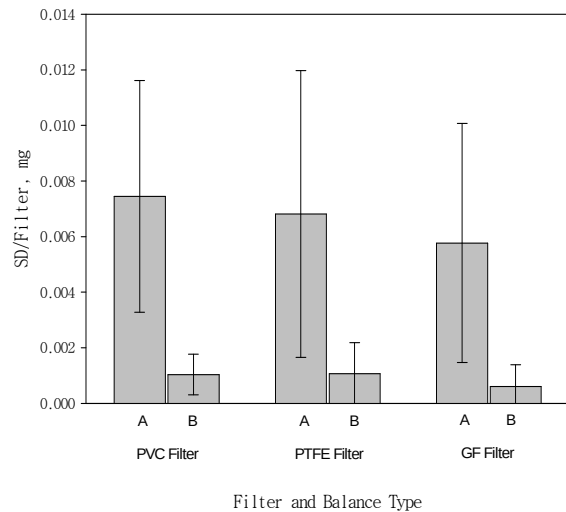


Figure 8. 감도에 따른 여과지종류별 칭량 표준편차.

또한 감도가 0.01 mg인 전자저울의 표준편차가 PVC filter와 PTFE filter의 경우 0.007 mg, GF filter는 0.006 mg으로 감도 0.0001 mg으로 칭량한 모든 여과지의 표준편차 0.001 mg에 비해 표준편차가 크며 이는 정확한 칭량을 위한 전자저울의 검출한계(Limit of Detection : LOD)가 그 만큼 커진다는 것을 뜻한다. 이는 입자크기가 작아 중량이 가벼운 미세먼지나 호흡성 먼지를 칭량하기에는 어려움이 따르게 되며, 감도가 0.001 mg 이하를 가진 전자저울을 이용하여 호흡성먼지나 미세먼지를 분석하는 것이 정확하고 신뢰성 있는 결과값을 얻어내는데 좋을

것으로 생각된다.

NIOSH Method 0600에 따라 호흡성먼지 측정 분석 시 본 연구의 PVC filter 결과를 바탕으로 계산하여 보면, 감도 0.01 mg의 SD가 평균값의 계산상으로 0.007 mg이나 0.01 mg 이하로는 해독 할 수가 없으므로 반올림하여 0.01 mg으로 하여 감도 0.01 mg의 검출한계는 0.03 mg/filter 이고, 감도 0.0001 mg의 검출한계는 0.003 mg/filter이다. 이것을 산업안전보건법의 실내공기질관리법의 호흡성먼지 관리기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 적용 할 때 10-mm nylon cyclone (1.7 ℓ/min)으로 채취 시 감도 0.01 mg은 최소 시료 샘플링 시간이 118분 이상 채취해야 하며, 감도 0.0001 mg은 12분 이상 채취해야 하고 Aluminum cyclone (2.5 ℓ/min)으로 채취 시에는 감도 0.01 mg은 최소 시료 샘플링 시간이 80분 이상 채취해야 하며 감도 0.0001 mg은 8분 이상 채취해야 한다. 즉 감도 0.01 mg로 측정분석 할 때는 감도 0.0001 mg인 전자저울 보다 시료 채취 하는데 10배 많은 시간동안 시료채취를 해야 한다.

본 연구는 NIOSH Method 권고하고 있는 온·습도 유지와 여과지의 정전기 제거를 하였으며, 독립된 중량분석실과 칭량 전자저울의 정기적인 유지관리가 이뤄진 실험실에서의 결과이므로 예측된 최소 샘플링 시간을 적용하는데 있어서 이에 맞는 환경과 조건을 갖추어야 할 것이다. 전자저울을 이용한 중량분석은 온도, 습도, 조도, 기류, 정전기에 영향을 많이 받을 뿐만 아니라 국내 몇 개의 기관별로 중량분석실 환경과 Blank filter의 칭량차이를 조사한 결과 많은 기관의 중량분석실은 허술한 환경관리가 되고 있고, 각 기관에 따라 여과지 칭량에 대한 변이차가 크게 발생하여⁷⁾ 정확하고 신뢰성 있는 칭량을 위한 방안이 강구되어야 한다.

IV. 결 론

호흡성먼지나 미세먼지의 중량분석을 하기 위해 감도가 0.001 mg이상의 전자저울이 필요로 한다. 그러나 감도가 높은 저울은 여과지를 칭량 시 전자저울의 영점조절이나 칭량시간에서 많은 어려움이 따른다. 이에 0.01 mg의 감도를 가진 전자저울을 이용하여 미세먼지 칭량에 가능성을 확인해보고자 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 전자저울을 이용하여 여과지 종류별로 무게를 칭량해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 전자저울을 이용하여 PVC 여과지를 실험실에서 공시료 실험결과, 여과지의 무게차이에 대한 변이를 표준편차로 보면 감도가 0.01 mg인 저울의 경우에는 0.01 mg, 감도가 0.0001 mg인 저울의 경우에는 0.006 mg으로 나타났다. 따라서 감도가 0.01 mg인 저울을 이용한 중량법의 검지한계(LOD)는 다음과 같이 0.03 mg이며, 정량한계(LOQ)는 0.1 mg이라고 할 수 있으며, 0.0001 mg인 저울을 이용한 중량법의 검지한계(LOD)는 다음과 같이 0.018 mg이며, 정량한계(LOQ)는 0.06 mg이라고 할 수 있다.

2. PVC filter, PTFE filter, GF filter 20개를 선정하여, 감도가 0.01 mg과 0.0001 mg인 전자저울을 이용하여, 여과지당 각각 3회 이상 반복하여 필터 무게를 측정한 결과, PVC filter는 감도가 0.01 mg인 전자저울에서 평균 10.7025 mg의 여과지무게에 표준편차가 0.007 mg이며, 감도가 0.0001 mg인 전자저울은 평균 여과지무게가 10.7126 mg 표준편차가 0.001 mg을 나타냈다. PTFE filter의 경우 감도가 0.01 mg인 전자저울은 평균 여과지무게가 46.6339 mg 표준편차는 0.007 mg, 감도가 0.0001 mg인 전자저울의 평균 여과지무게는 46.5376 mg 표준편차는 0.001 mg이다. GF filter의 경우 감도가 0.01 mg인 전자저울은 평균 79.9382 mg의 여과지무게와 표준편차 0.006 mg을, 감도가 0.0001 mg인 전자저울에서 평균 여과지무게가 79.9435 mg 표준편차 0.001 mg을 나타냈다.

3. 전자저울의 감도에 따라 PVC Membrane Filter와 PTFE Membrane Filter 및 Glass Fiber Filter별로 무게를 칭량해 본 결과 감도 0.01 mg과 감도 0.0001 mg인 두 전자저울의 여과지 칭량값이 95 %

의 신뢰구간에서 통계적으로 ‘유의하다’, ‘아니다’라고 결론을 내릴 수는 없었으나 여과지 무게의 상관성에서는 상당히 높은 결과를 보였다.

참고문헌

1. 김정만, 김현욱, 노영만, 김치년, 최호춘, 조기홍, 이철민 : 사무실 공기질 측정제도 개선에 관한 연구, 산업안전보건연구원, p11-24, 2005
2. 노동부 : 산업안전보건법 , 노동부, 2006
3. 백남원 박동욱 윤충식 신용철 : 작업환경측정 및 평가, 신광출판사, p160, 2002
4. 이병수, 김경미 : 분진의 중량농도분석을 위한 유리섬유필터와 PVC 필터의 향량비교, 경인논집, 2002
5. 임신섭 : 일부작업환경측정기관의 먼지 농도분석의 정확도에 관한 연구, 2003
6. 정지연 : 사무실공기질 평가 및 관리기준개발(I), 산업안전보건연구원, p44, 2004
7. 한국산업안전공단 : KOSHA Code A-1-2004, 한국산업안전공단, 2004
8. 환경부 : 다중이용시설등에 관한 실내공기질관리법, 환경부, 2003
9. 환경부 : 환경부고시 실내공기질공정시험방법, 환경부, 2004
10. Carlton, A. G. and A. Teitz : Design of a cost-effective Weighting facility for PM2.5 quality assurance, Journal of the Air & Waste Management Association, 2002
11. NIOSH : NIOSH Manual of analytical methods, 4th ed., available from <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/method-p.html>, 1994

ABSTRACT

Study on the Improvement of Accuracy for Gravimetric Analysis Method for Respirable Dust

Jeong, si-jeong

Major in Industrial Hygiene Engineering

Department of Industry and Health Engineering

Graduate School of Occupational Safety and Health

Hansung University

This study was conducted to investigate the accuracy of gravimetric analysis method for airborne respirable dust depending on the readability of the micro-electronic balance. In general, the micro-electronic balance having readability of 0.0001 mg is recommended to measure the airborne respirable dust and/or PM2.5. However, in the workplace monitoring, the micro-electronic balance having readability of 0.01 mg is also recommended to measure the airborne respirable dust. The micro-electronic balance having readability of 0.0001 mg has a good readability and sensitivity, however, it has a couple of disadvantages such as high cost, handling problems and time required for idling and reaching stable status.

Thus, two types of micro-electronic balances were tested and compared by blank test in a laboratory conditions for PVC membrane filters, Glass fiber filters and PTFE filters.

The results are as follows.

1. Limit of Detections(LOD) were 0.03 mg/sample and 0.018 mg/sample with the use of the micro-electronic balance having 0.01 mg readability and 0.0001 mg readability respectively.

2. Limit of Quatitations(LOQ) were 0.10 mg/sample and 0.06 mg/sample with the use of the micro-electronic balance having 0.01 mg readability and 0.0001 mg readability respectively.

3. Mean values of PVC filters, PTFE filters, and GF filters (N=20) measured for 3 replications by the micro-electronic balance having readability of 0.01 mg were 10.7025 mg/filter, 46.6339 mg/filter and 79.9382 mg/filter respectively. Standard deviations of PVC filters, PTFE filters, and GF filters (N=20) measured for 3 replications by the micro-electronic balance having readability of 0.01 mg were 0.007 mg/filter, 0.007 mg/filter and 0.006 mg/filter respectively.

4. Mean values of PVC filters, PTFE filters, and GF filters (N=20) measured for 3 replications by the micro-electronic balance having readability of 0.0001 mg were 10.7126 mg/filter, 46.5376 mg/filter and 79.9435 mg/filter respectively. Standard deviations of PVC filters, PTFE filters, and GF filters (N=20) measured for 3 replications by the micro-electronic balance having readability of 0.0001 mg were 0.001 mg/filter, 0.001 mg/filter and 0.001 mg/filter respectively.