

碩士學位論文

TSP, RSP, PM10, 직독식 측정기의
비교 연구

2006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

金 日 東

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

TSP, RSP, PM10, 직독식 측정기의 비교 연구

Study on Comparisons of Two Gravimetric Methods
and a Light Scattering Direct Reading Instrument for
PM10 and PM2.5 Measurement
in an Outdoor Area and an Indoor Area

2006年 6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

金 日 東

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

TSP, RSP, PM10, 직독식 측정기의 비교 연구

Study on Comparisons of Two Gravimetric Methods
and a Light Scattering Direct Reading Instrument for
PM10 and PM2.5 Measurement
in an Outdoor Area and an Indoor Area

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2006年 6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

金 日 東

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 연구목적	4
II. 연구방법 및 측정	5
1. 측정방법	5
1.1 중량법(47mm filter, 37mm filter)	5
1.2 광산란식(광학적방법)	5
1.3 시료채취 수	6
2. 시료분석	6
III. 연구결과	7
1. 실내 시료채취별 농도비교	7
1.1 측정방법별 실내 미세먼지 농도 비교	7
1.2 47mm filter방법과 37mm filter방법간의 미세농도 비교	11
1.3 47mm filter 방법과 광산란식의 미세농도 비교	14
1.4 공시료 여과지 농도비교	17
1.5 실내 공시료 여과지의 농도비교	20
2. 실외 시료채취별 농도비교	21
2.1 측정방법별 실외 미세먼지 농도 비교	21
2.2 47mm filter방법과 37mm filter방법간의 미세농도 비교	25
2.3 47mm filter 방법과 광산란식간의 미세농도 비교	28
2.4 공시료 여과지 농도비교	31
2.5 실외 공시료 여과지의 농도비교	33
IV. 결론	34
참고문헌	35
Abstract	36

List of Tables

Table 1. 시료채취방법별 실내 농도	7
Table 2. 47mm 채취방법과 37mm 채취방법간의 농도차이	11
Table 3. 47mm채취방법과 광산란식 채취방법간의 농도차이	14
Table 4. 47mm 공시료 여과지의 농도 비교	18
Table 5. 37mm 공시료 여과지의 농도 비교	19
Table 6. 시료채취방법별 실외 농도	21
Table 7. 47mm 채취방법과 37mm 채취방법간의 농도차이	25
Table 8. 47mm 채취방법과 광산란식 채취방법간의 농도차이	28
Table 9. 47mm 공시료 여과지의 농도 비교	31
Table 10. 37mm 공시료 여과지의 농도 비교	32

List of Figures

Figure 1. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포	8
Figure 2. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	8
Figure 3. 37mm 시료채취의 PM 10, PM2.5 농도 누적분포	9
Figure 4. 37mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	9
Figure 5. 광산란식 시료채취의 PM 10, PM2.5 농도 누적분포	10
Figure 6. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	10
Figure 7. PM10-47mm와 PM10-37mm의 먼지측정결과 비교	12
Figure 8. PM10-47mm와 농도비율의 차이	12
Figure 9. PM2.5-47mm와 PM2.5-37mm의 먼지측정결과 비교	13
Figure 10. PM2.5-47mm와 농도비율의 차이	13
Figure 11. PM10-47mm와 PM10-광산란식 먼지측정결과 비교	15
Figure 12. PM10-47mm와 농도비율 차이	15
Figure 13. PM2.5-47mm와 PM2.5-광산란식 먼지측정결과 비교	16
Figure 14. PM2.5-47mm와 농도비율 차이	16
Figure 15. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포	22
Figure 16. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	22

Figure 17. 37mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포	23
Figure 18. 37mm Filter PM10, PM2.5 농도비교	23
Figure 19. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	24
Figure 20. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교	24
Figure 21. PM10-47mm와 PM10-37mm의 먼지측정결과 비교	26
Figure 22. PM10-47mm와 농도비율의 차이	26
Figure 23. PM2.5-47mm와 PM2.5-37mm의 먼지측정결과 비교 ..	27
Figure 24. PM2.5-47mm와 농도비율의 차이	27
Figure 25. PM10-47mm 와 PM10-광산란의 먼지측정결과 비교 ..	29
Figure 26. PM10-47mm와 농도비율 차이	29
Figure 27. PM2.5-47mm와 PM2.5-광산란의 먼지측정결과 비교 ..	30
Figure 28. PM2.5-47mm와 농도비율 차이	30

I. 서론

1. 연구배경 및 필요성

최근 들어 대기 중 미세먼지에 대한 관심이 점점 증가되고 있다. 우리나라의 먼지에 대한 대기환경기준과 대기오염 측정망의 항목도 총먼지(total suspended particulate, TSP)에서 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하의 먼지(PM10)로 바뀌고 있다. $10\mu\text{m}$ 이상의 큰 먼지는 대부분 호흡기내로 흡입되기 전에 걸러지기 때문에 먼지로 인한 건강장해를 예측하거나 대기오염을 평가하는데 TSP보다는 PM10이 적합하기 때문으로 알려져 있다. 그러나 최근 많은 연구에서 PM10보다 더 작은 먼지의 기준을 설정하고 그 기준도 낮추어야 한다는 주장이 제기되어 왔다. 미국 등 일부 선진국에서는 이미 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 미세먼지인 PM2.5에 대한 대기오염 기준으로 설정하고 있으며 대기오염 측정망의 측정항목도 PM2.5이다.

선진국에서는 대부분 미세먼지를 $2\sim 3\mu\text{m}$ 이하의 먼지인 PM2.5를 일컫는다. 일반적으로 파쇄, 분쇄, 연마, 마찰 또는 충격과 같은 물리적인 작용에 의해서 발생하는 먼지는 $3\mu\text{m}$ 이상이라고 하며, $2.5\mu\text{m}$ 이하인 PM2.5는 연소와 같은 화학적 반응의 결과로 형성된다고 한다. 즉, 연소과정에서 핵작용을 하는 $0.08\mu\text{m}$ 이하의 초미세 먼지가 생성되고 이러한 초미세먼지는 곧바로 응축과 축적이 일어나 $0.08\sim 2\mu\text{m}$ 정도의 미세먼지가 형성되는 것으로 알려져 있다. 따라서 보통 대기중 먼지는 PM2.5를 중심으로 이보다 작은 미세먼지와 이보다 큰 조대입자의 쌍극분포 형태를 나타내는 것으로 알려져 있다(Whitby et al., 1972). PM2.5는 주로 자동차의 연소배출물이나 화석연료의 연소와 같은 화학반응으로 인하여 생성된 PM2.5는 주로 자동차의 연소배출물이나 화석연료의 연소와 같은 화학반응으로 인하여 생성된 PM2.5는 그 조성이 매우 다양하고 복잡할 뿐만 아니라 건강에 영향을 미치는 성분이 다양하여 대기오염에서 중요한 요인으로 등장하고 있다(Gray et al., 1998). 더구나 미세먼지는 호흡기 깊숙한 곳까지 흡입되고 침착되기 때문에 건강에 미치는 영향이 더욱 클 수밖에 없다.

환경부는 대기오염물질 중 총부유입자상물질(Total Suspended

Particle, TSP)에 대한 환경기준을 마련한 이후 미세먼지에 대한 기준 강화를 위하여 1995년부터 PM10의 항목을 신설하였다. 미국 환경청에서는 미세먼지에 대한 심각성을 미리 인식하여 PM10과 분리하여 좀 더 강화된 기준인 PM2.5에 대한 새로운 대기환경기준을 마련해 놓고 있다.

부유먼지가 인체에 미치는 유해성을 평가하기 위해서는 무엇보다도 신뢰성 있고 공인된 측정방법이 마련되어 있어야 한다. 대기 중 부유먼지의 측정방법에는 여러 가지가 있으나 측정원리의 측면에서는 중량법과 광학적 방법으로 포집유량의 측면에서는 high-volume과 low-volume으로 구분되며, 입자의 크기별 포집장치의 부착유무에 따라 입도 분리형과 비분리형으로 구분되기도 한다.

국내의 경우 환경오염 공정시험법에는 부유먼지의 측정방법으로 high-volume과 low-volume 샘플링에 의한 중량법과 일종의 광학적 방법인 β -ray측정법을 포함하는 다섯 가지 방법을 명시해 놓고 있다. 그러나 실제의 경우 환경부에서는 전국적인 대기오염 자동측정망에서 비중량법인 β -ray측정법을 통해 매 시간별 농도자료를 측정하고 있다. 비단 부유먼지 뿐만 아니라 어떤 항목이라도 범위 내에서 서로 일치하는 결과를 생산할 수 있어야 한다.

그 동안 β -ray법에 의한 측정자료는 고농도 영역에서 중량법에 의한 측정치와 상호간 큰 차이를 보이는 등 문제점이 제기되어 왔다(US EPA, 1996a,b). 따라서 실내·외 환경에 설정된 먼지 기준치 적용에 있어서, 측정방법의 차이에서 오는 구조적 문제를 명확히 규정하지 않은 상태에서 상이한 측정법에 의해 얻어진 농도자료를 서로 비교 평가할 경우, 편중(bias) 해석할 경향이 높아 실제 농도보다 과대 혹은 과소로 평가하는 것과 같은 이론의 소지가 내재해 있다.

이처럼 분진의 측정과 관련된 여러 가지 오차 발생의 가능성을 감안하여, 본 연구에서는 중량법에 의한 측정방법을 기준으로 서로 다른 시료채취 유량을 적용할 경우 측정된 부유먼지의 농도 자료 간에 어느 정도의 차이를 보이며, 또한 농도자료간의 연관성은 어느 정도 존재하

는지를 파악해 보고자 하였다. 따라서 두 가지의 측면 즉, 환경대기에서 다양한 유량범위를 가진 측정기를 이용한 시료채취와 실내환경에서 비교적 낮은 유량범위에서 채취된 부유먼지의 농도를 상호 비교·평가하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 PM10, PM2.5를 중량법과 광학적(광산란식) 방법을 동시에 측정하여 서로 상호관계를 파악할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구목적

미세먼지의 측정방법에는 중량법을 이용한 47mm filter, 37mm filter방법과 광학적(광산란식) 방법 등이 있다. 본 연구에서는 미세먼지 채취방법에 따라서 실내·외에서 각각 동일한 장소에서 동시에 여러 가지 측정법으로 시료를 채취하여 비교함으로써 측정 방법간 차이를 검증하고자 실시하였다.

본연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

- (1) 채취방법별 농도를 비교·평가한다.
- (2) 중량법(47mm filter, 37mm filter)간의 농도를 비교·평가한다.
- (3) 중량법(47mm filter)과 광학적방법(광산란식)의 농도를 비교·평가한다.

II. 연구방법 및 측정

본 연구는 2005년 12월 20일부터 2006년 01년 09일까지 실내외에서 유량 5 l/min으로 47mm filter(중량법), 유량 2 l/min으로 37mm filter(중량법), 유량0.6 l/min으로 광산란식(광학적방법)을 PM10, PM2.5의 미세먼지를 측정하였다. 시료채취시간은 1일 8시간 측정하였다.

1. 측정방법

1.1 중량법(47mm filter, 37mm filter)

미세먼지를 측정하기 위해 A.P-BUCK회사의 모델BASIC-12로 시료채취기구는 PM-10 INLET ASSEMBLY , PM-2.5 INLET ASSEMBLY를 사용하여 유량 5 l/min으로 47mm filter사용하여 먼지를 채취하였다.

공기채취펌프에 사용할 수 있도록 고안된 Personal Environmental Monitor(MSP Corporation, PEM Model 200-2-10, Model 200-2-2.5)를 사용하여 2 l/min 유량으로 37mm filter를 사용하여 먼지를 채취하였다. 측정 전 · 후에 공기채취펌프는 BIOS INTERNATIONAL CORPORATION사의 DC-LITE Primary Flow Meter를 사용하여 유량을 보정하였다.

1.2 광산란식 (광학적 방법)

광산란식 방법에 사용된 기기는 장비모델명이 DUSTMATE로, 기기 내에 펌프가 내장되어있으며 광산란방식(레이저빔)을 통한 PM10, PM2.5를 실시간에 동시에 측정하며, 공기채취 유량은 0.6 L/min이다.

1.3 시료채취 수

중량법(47mm filter, 37mm filter)를 비교하기 위해 실내·외 동일 장소에서 PM10, PM2.5를 각각34쌍을 측정하였다.

2. 시료분석

포집된 먼지의 농도를 분석하기 위해 시료포집 전과후로 나누어 각 여과지의 무게를 감도 0.001mg의 Microbalance (CANN, C-33 USA)로 측정하였고, 칭량하기 전에는 여과지를 Desiccator에 48시간이상 보관하여 온도, 습도의 영향을 최소화하였고, 칭량전의 PVC여과지는 정전기 제거 작업을 한 후에 보관하였다.

여과지의 무게는 여과지를 저울에서 눈금변화가 1분 이상 없을 때, 그 값을 기록하였다. 여과지당 3회를 반복하여 측정하였고, 그 평균을 취였다. 또한 시료를 채취하지 않는 공시료를 측정하여 보정하였다.

III. 연구결과

1. 실내 시료채취별 농도비교

1.1 측정방법별 실내 미세먼지 농도 비교

실내의 미세먼지 중 공기채취펌프에 47mm filter(중량법), 37mm filter(중량법), 광산란식(광학적방법)으로 같은 장소에서 8일 동안 지역 시료채취방법으로 측정하였다.

각 측정결과는 Table 1과 같으며, 8일 동안 측정한 결과 PM10, PM2.5의 47mm filter 방법의 평균농도는 $43.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $38.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 15.59, 14.06 이었고, 37mm filter 방법의 평균농도는 $56.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $51.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 18.84, 17.23 이었다. 그리고 광학적방법의 평균농도는 $30.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 16.05, 12.93 으로 나타났다.

PM10, PM2.5 농도는 분산분석(f-test)결과 유의확률값이 0.018, 0.002로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

Table 1. 시료채취방법별 실내 농도

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	47mm Filter		37mm Filter		광산란식	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
1	49.00	53.29	59.49	58.56	26.23	17.61
2	35.60	31.64	53.59	36.34	27.90	17.74
3	26.25	21.25	40.16	36.23	14.49	7.90
4	26.67	25.00	32.35	30.56	16.58	9.73
5	37.81	28.99	42.36	41.67	19.50	10.34
6	51.46	49.27	74.13	73.96	29.99	19.72
7	73.19	58.89	89.41	73.61	61.71	45.21
8	50.69	42.60	61.46	57.64	45.76	33.40
Mean	43.83	38.87	56.62	51.07	30.27	20.21
SD	15.59	14.06	18.84	17.23	16.05	12.93

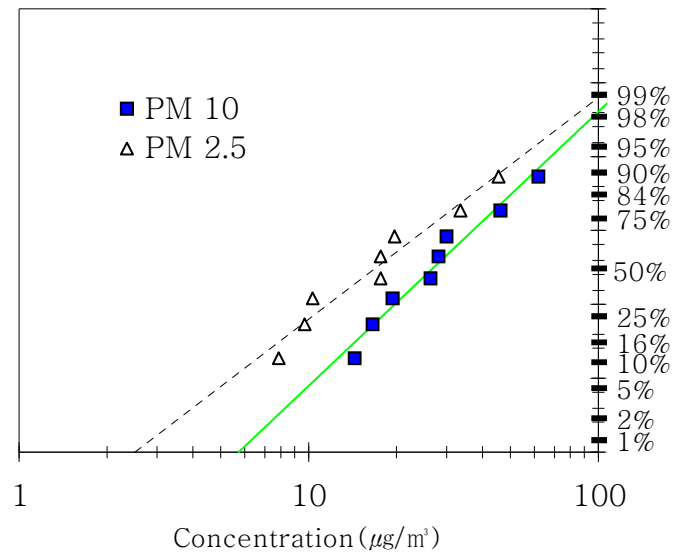


Figure 1. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포.

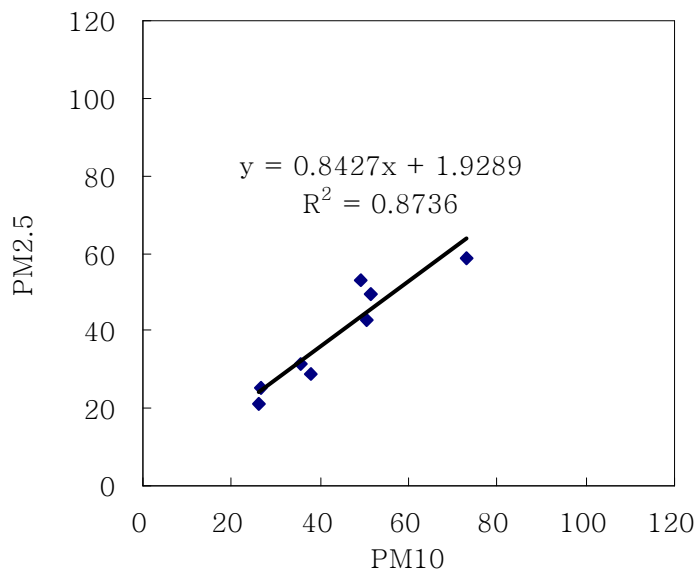


Figure 2. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

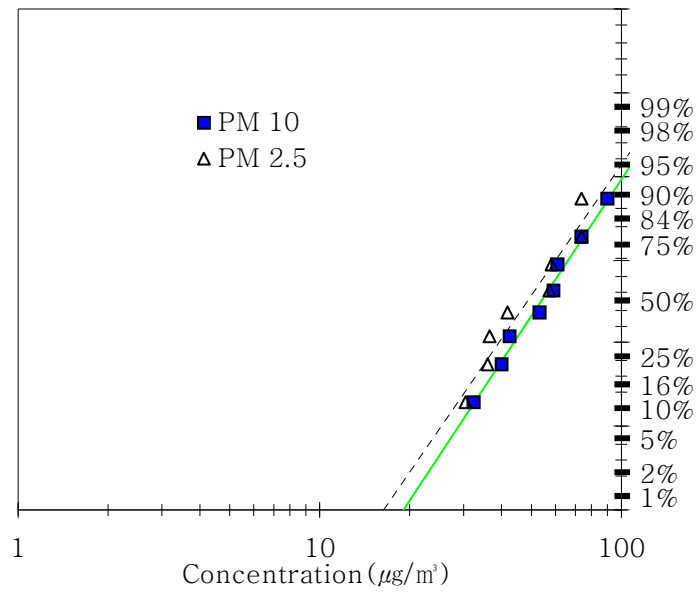


Figure 3. 37mm 시료채취의 PM 10, PM2.5 농도 누적분포.

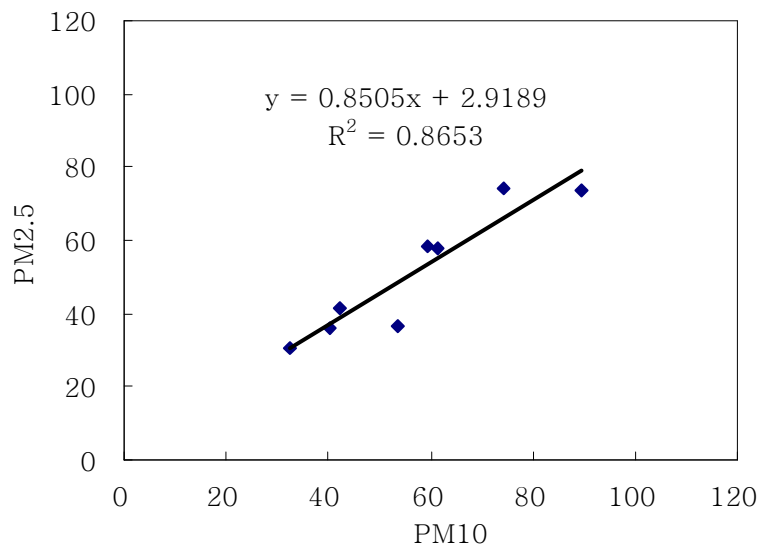


Figure 4. 37mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

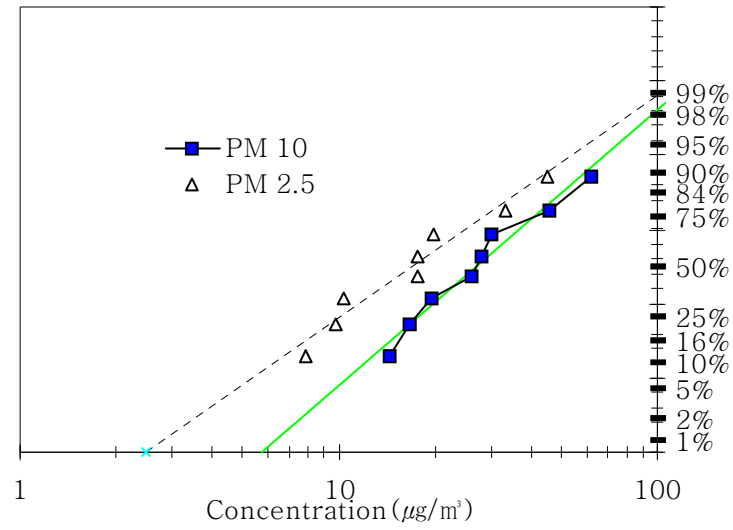


Figure 5. 광산란식 시료채취의 PM 10, PM2.5 농도 누적분포.

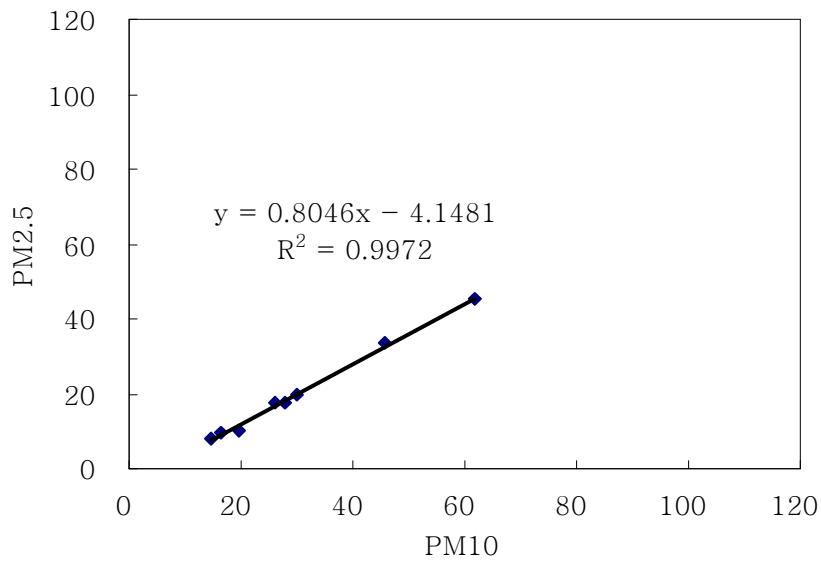


Figure 6. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

1.2 47mm filter방법과 37mm filter방법간의 미세농도 비교

47mm filter채취와 37mm filter채취의 농도를 분석하였으며 PM10, PM2.5 의 미세먼지 측정결과는 Table 2와 같다. 두 측정법에 의한 농도차이를 비교한 결과 PM10, PM2.5의 미세먼지에 대해 37mm filter가 47mm filter에 비하여 평균 31 % 및 34 %로 높게 평가된 것으로 나타났다.

Table 2. 47mm 채취방법과 37mm 채취방법간의 농도차이

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	PM10			PM2.5		
	47mm (A)	37mm (B)	$(B-A)/A*100$ (%)	47mm (A)	37mm (B)	$(B-A)/A*100$ (%)
1	49.00	59.49	21	53.29	58.56	10
2	35.60	53.59	51	31.64	36.34	15
3	26.25	40.16	53	21.25	36.23	70
4	26.67	32.35	21	25.00	30.56	22
5	37.81	42.36	12	28.99	41.67	44
6	51.46	74.13	44	49.27	73.96	50
7	73.19	89.41	22	58.89	73.61	25
8	50.69	61.46	21	42.60	57.64	35
Mean	43.83	56.62	31	38.87	51.07	34

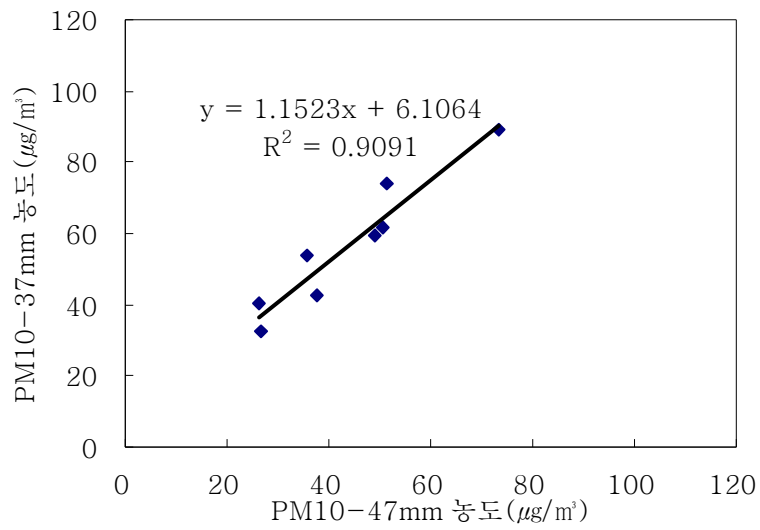


Figure 7. PM10-47mm와 PM10-37mm의 먼지측정결과 비교.

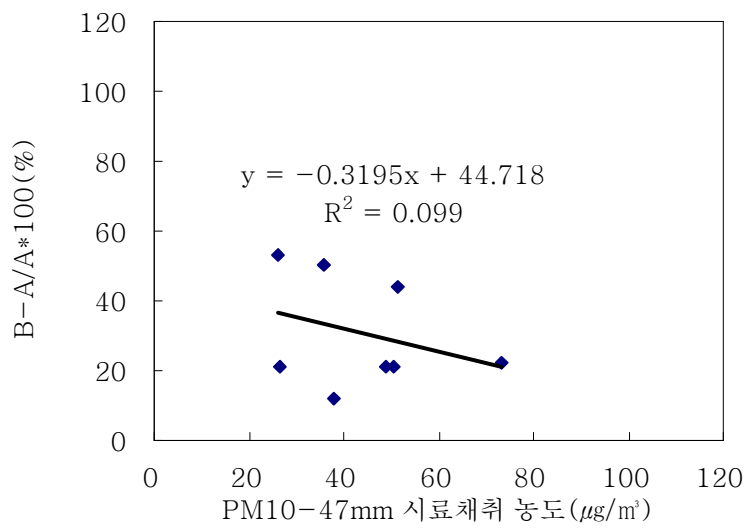


Figure 8. PM10-47mm와 농도비율의 차이.

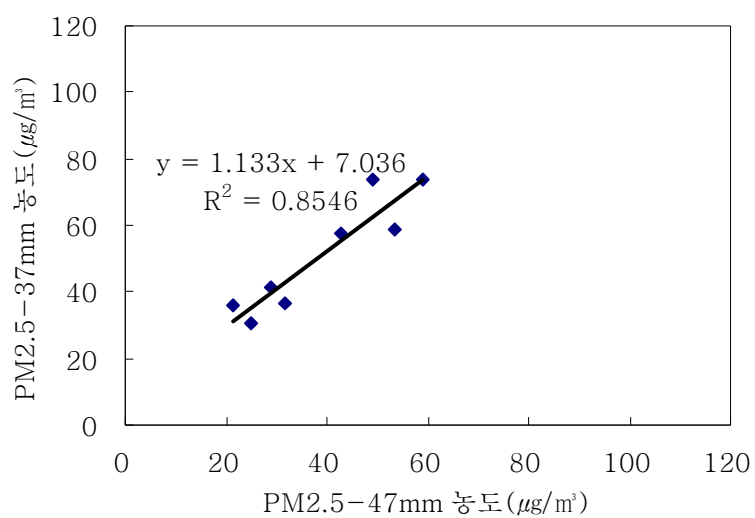


Figure 9. PM2.5-47mm와 PM2.5-37mm의 먼지측정결과 비교.

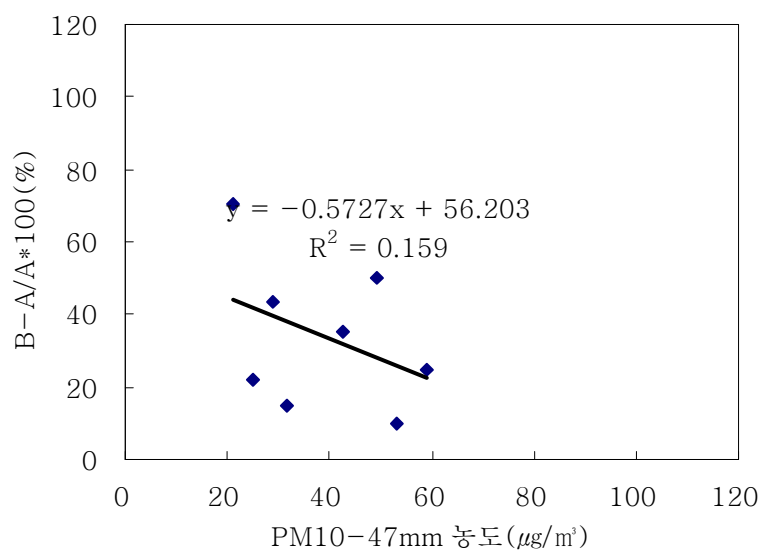


Figure 10. PM2.5-47mm와 농도비율의 차이.

1.3 47mm filter 방법과 광산란식의 미세농도 비교

47mm filter채취와 광산란식의 농도를 분석하였으며 PM10, PM2.5의 미세먼지의 측정결과 Table 3 와 같다. 두 측정법에 의한 농도차이를 비교한 결과 PM10, PM2.5의 미세먼지에 대해 광산란식이 47mm filter에 비하여 평균 -33 % 및 -50 %로 낮게 평가된 것으로 나타났다.

Table 3. 47mm채취방법과 광산란식 채취방법간의 농도차이

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	PM10			PM2.5		
	47mm (A)	광산란 (B)	(B-A)/A*100 (%)	47mm (A)	광산란 (B)	(B-A)/A*100 (%)
1	49.00	26.23	-46	53.29	17.61	-67
2	35.60	27.90	-22	31.64	17.74	-44
3	26.25	14.49	-45	21.25	7.90	-63
4	26.67	16.58	-38	25.00	9.73	-61
5	37.81	19.50	-48	28.99	10.34	-64
6	51.46	29.99	-42	49.27	19.72	-60
7	73.19	61.71	-16	58.89	45.21	-23
8	50.69	45.76	-10	42.60	33.40	-22
Mean	43.83	30.27	-33	38.87	20.21	-50

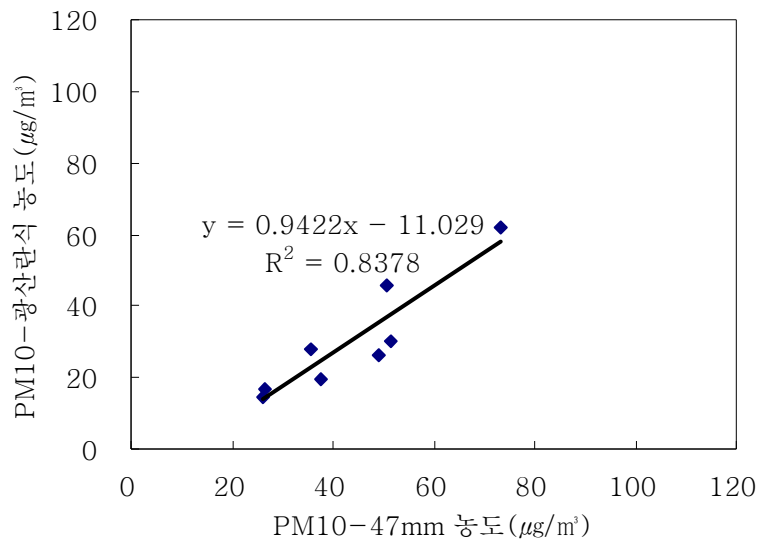


Figure 11. PM10-47mm와 PM10-광산란식 먼지측정결과 비교.

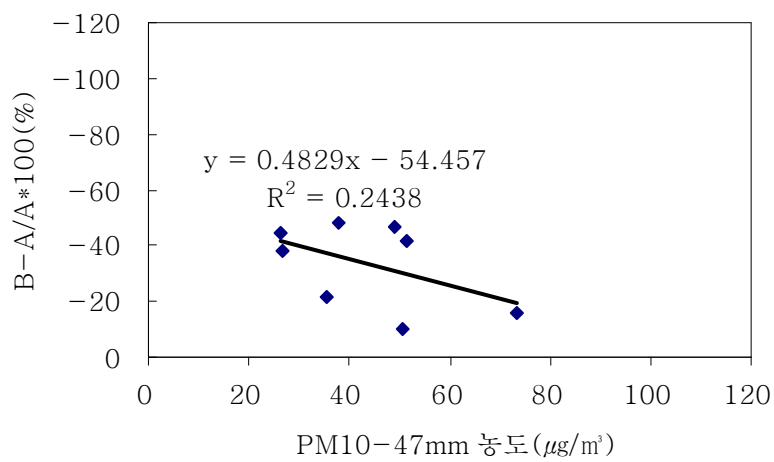


Figure 12. PM10-47mm와 농도비율 차이.

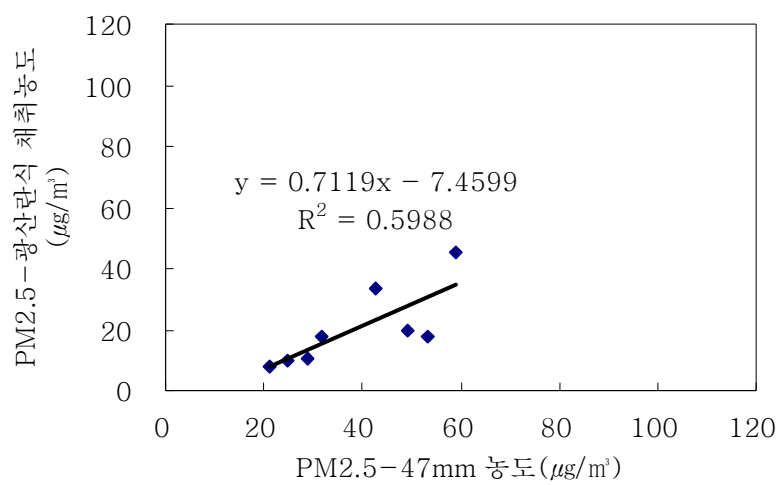


Figure 13. PM2.5-47mm와 PM2.5-광산란식 먼지측정결과 비교.

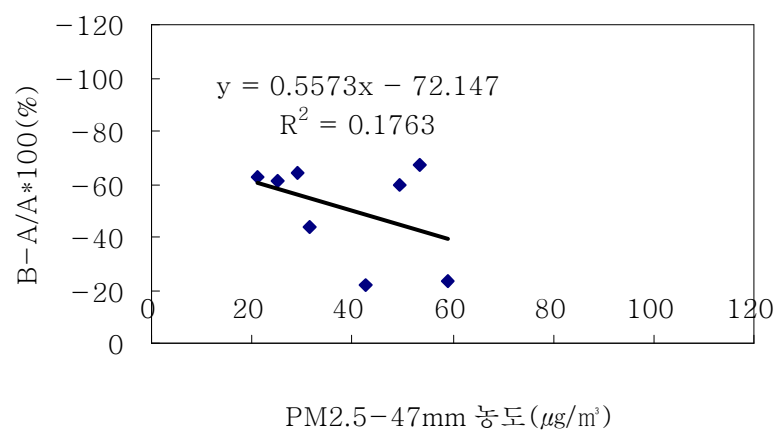


Figure 14. PM2.5-47mm와 농도비율 차이.

1.4 공시료 여과지 농도비교

실내의 미세입자중 공기채취펌프에서 사용한 47mm filter와 37mm filter 의 공시료에 대한 분석결과는 Table 4, 5와 같다.

47mm filter의 경우 공시료의 전·후 무게차는 0.003 mg으로 다소 증가하였으나 37mm filter의 경우는 0 mg으로 나타났다. 각각의 표준편차는 0.008 과 0.004 로 나타나 47mm filter가 37mm filter보다 공시료에 대한 측정 전·후의 표준편차가 2배 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 47mm filter의 측정한계가 더 크거나 오차의 범위가 더 크게 나타날 가능성이 있다는 것을 의미한다.

Table 4. 47mm 공시료 여과지의 농도 비교

(mg)

No.	PM10-47mm Filter			PM2.5-47mm Filter			wt.1 -wt.2
	pre (A)	post (B)	B-A (wt.1)	pre (A)	post (B)	B-A (wt.2)	
1	63.579	63.584	0.005	61.697	61.678	-0.018	0.023
2	62.356	62.350	-0.006	60.221	60.216	-0.005	-0.001
3	61.859	61.871	0.012	60.671	60.663	-0.008	0.021
4	60.869	60.858	-0.011	62.634	62.609	-0.025	0.014
5	61.603	61.586	-0.017	60.598	60.585	-0.013	-0.004
6	61.919	61.905	-0.014	60.537	60.523	-0.014	0.000
7	62.968	62.970	0.001	61.373	61.376	0.002	-0.001
8	62.440	62.437	-0.003	61.338	61.340	0.002	-0.005
9	62.242	62.242	0.000	61.841	61.849	0.008	-0.008
10	62.215	62.226	0.011	63.794	63.800	0.006	0.005
11	61.332	61.345	0.013	61.042	61.044	0.002	0.011
12	60.356	60.359	0.003	63.018	63.020	0.002	0.001
13	63.397	63.400	0.003	62.982	62.983	0.001	0.002
14	64.159	64.167	0.008	63.187	63.192	0.006	0.003
15	60.511	60.516	0.006	62.218	62.219	0.002	0.004
16	59.722	59.733	0.011	61.037	61.044	0.007	0.005
17	60.656	60.667	0.011	62.576	62.585	0.009	0.002
18	62.488	62.504	0.016	62.693	62.703	0.010	0.005
19	62.073	62.081	0.009	64.500	64.514	0.014	-0.005
20	61.762	61.774	0.012	60.744	60.757	0.013	-0.001
21	62.974	62.986	0.012	60.982	60.996	0.014	-0.002
22	61.713	61.735	0.021	62.845	62.873	0.028	-0.007
23	60.850	60.866	0.015	64.100	64.117	0.017	-0.001
24	65.053	65.071	0.018	62.919	62.929	0.010	0.008
Mean			0.006			0.003	0.003
SD			0.010			0.012	0.008

Table 5. 37mm 공시료 여과지의 농도 비교

(mg)

No.	PM10 - 37mm Filter			PM2.5 - 37mm Filter			wt.1 -wt.2
	pre (A)	post (B)	B-A (wt.1)	pre (A)	post (B)	B-A (wt.2)	
1	13.870	13.871	0.001	11.604	11.608	0.004	-0.003
2	16.163	16.162	-0.001	17.804	17.800	-0.004	0.003
3	16.260	16.260	0.000	20.007	20.003	-0.004	0.004
4	21.307	21.307	0.000	18.340	18.337	-0.003	0.003
5	15.591	15.593	0.002	22.626	22.627	0.001	0.001
6	14.592	14.593	0.001	17.325	17.323	-0.003	0.003
7	16.571	16.571	0.000	16.807	16.811	0.004	-0.004
8	15.155	15.158	0.003	15.529	15.530	0.001	0.002
9	18.099	18.103	0.003	17.615	17.620	0.004	-0.001
10	15.413	15.411	-0.002	18.235	18.237	0.002	-0.004
11	15.726	15.732	0.006	14.580	14.583	0.004	0.002
12	14.350	14.367	0.016	27.554	27.564	0.010	0.006
13	13.942	13.940	-0.002	16.449	16.450	0.001	-0.003
14	15.530	15.530	-0.001	17.296	17.306	0.010	-0.011
15	20.021	20.025	0.004	21.288	21.294	0.006	-0.002
16	13.350	13.355	0.006	14.045	14.051	0.007	-0.001
17	17.310	17.313	0.003	14.581	14.583	0.002	0.001
18	16.555	16.560	0.005	19.713	19.722	0.010	-0.005
19	13.148	13.158	0.010	16.438	16.445	0.006	0.004
20	19.066	19.077	0.011	18.603	18.612	0.010	0.001
21	15.656	15.662	0.006	13.286	13.293	0.007	-0.001
22	16.776	16.787	0.011	17.806	17.809	0.004	0.007
23	16.306	16.316	0.010	21.639	21.646	0.007	0.003
24	15.544	15.550	0.006	17.649	17.657	0.008	-0.002
Mean			0.004			0.004	0.000
SD			0.005			0.004	0.004

1.5 실내 공시료 여과지의 농도비교

LOD(Limit of Detection)는 검출한계 값으로 ‘어느 정해진 분석절차로 신뢰성 있게 분석할 수 있는 분석물질의 가장 낮은 농도’로 정의된다. 또한 LOQ(Limit of Quantification)는 ‘어느 주어진 분석절차에 따라서 합리적인 신뢰성을 가지고 정량분석할 수 있는 가장 적은 양의 농도나 질량’으로 정의된다(임신섭, 2005).

LOD는 공시료 변이(SD)의 3배에 해당하는 값으로 알려져 있으며, LOQ는 공시료 변이의 10배에 해당하는 값으로 알려져 있다. 따라서 공시료를 반복하여 측정한 실험결과로부터 정량적 분석에 필요한 먼지의 최소 채취량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

47mm Filter사용시 먼지의 최소채취 요구량

$$\begin{aligned} LOQ &= 10 \times SD \\ &= 10 \times 0.011 \text{ mg} \\ &= 0.11 \text{ mg} \\ &= 110 \mu\text{g} \end{aligned}$$

37mm Filter 사용시 먼지의 최소채취 요구량

$$\begin{aligned} LOQ &= 10 \times SD \\ &= 10 \times 0.005 \text{ mg} \\ &= 0.05 \text{ mg} \\ &= 50 \mu\text{g} \end{aligned}$$

2. 실외 시료채취별 농도비교

2.1 측정방법별 실외 미세먼지 농도 비교

실내의 미세입자 중 공기채취펌프에 47mm filter(중량법), 37mm filter(중량법), 광산란식(광학적방법)으로 같은 장소에서 8일 동안 지역 시료채취방법으로 측정하였다.

각 측정결과는 Table 1과 같으며, 8일 동안 측정한 결과 PM10, PM2.5의 47mm filter 방법의 평균농도는 $66.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $47.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 19.13, 18.54 이었고, 37mm filter 방법의 평균농도는 $84.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $70.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 22.61, 17.91 이었다. 그리고 광산란식의 평균농도는 $42.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 표준편차 9.46, 4.15 으로 나타났다.

PM10, PM2.5 농도는 분산분석(f-test)결과 유의확률값이 0.01, 0.00으로 통계적 서로 유의한 차이를 나타냈다.

Table 6. 시료채취방법별 실외 농도

No.	47mm Filter		37mm Filter		광산란식	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
1	76.42	58.68	89.24	65.63	36.00	14.14
2	76.35	52.92	85.94	68.75	42.52	16.56
3	41.01	25.07	60.24	52.60	35.74	15.20
4	52.15	32.36	69.97	63.72	40.63	15.57
5	86.81	69.62	119.44	100.35	58.83	24.45
Mean	66.55	47.73	84.97	70.21	42.74	17.18
SD	19.13	18.54	22.61	17.91	9.46	4.15

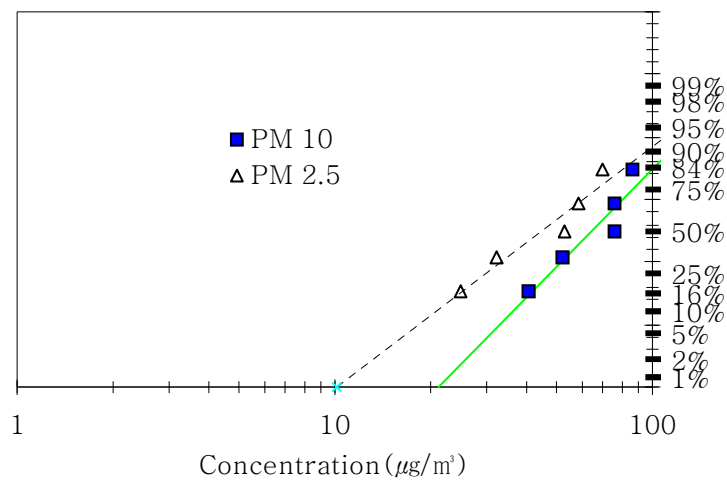


Figure 15. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포.

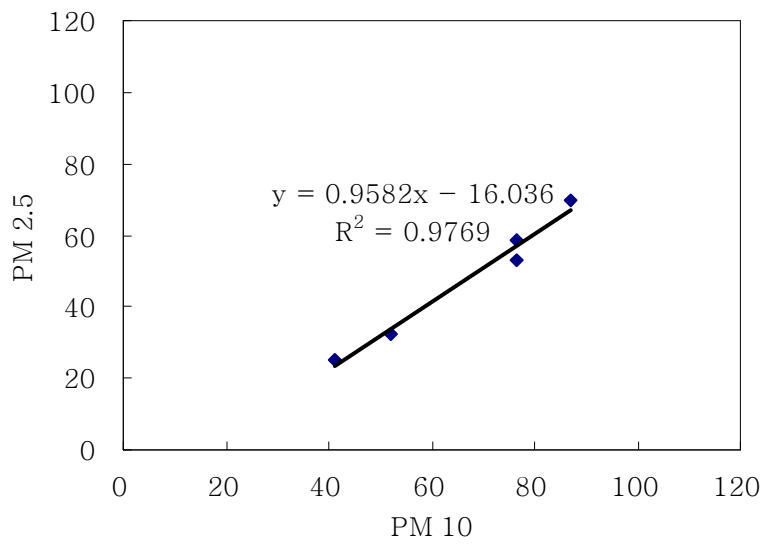


Figure 16. 47mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

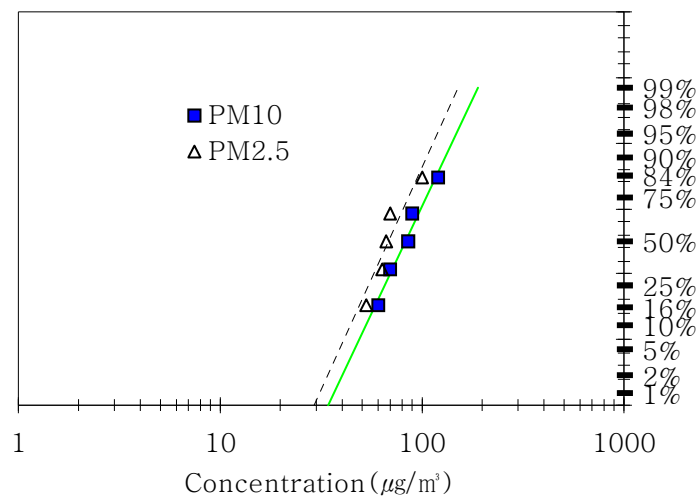


Figure 17. 37mm 시료채취의 PM10, PM2.5 농도 누적분포.

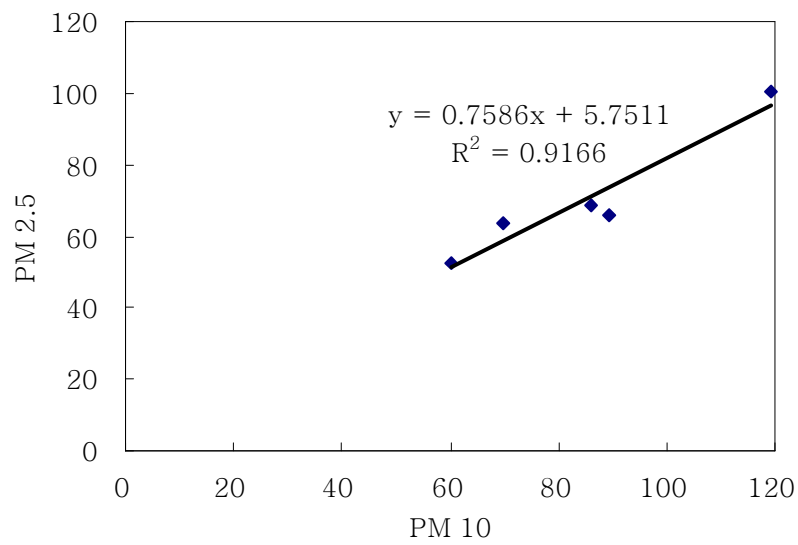


Figure 18. 37mm Filter PM10, PM2.5 농도비교.

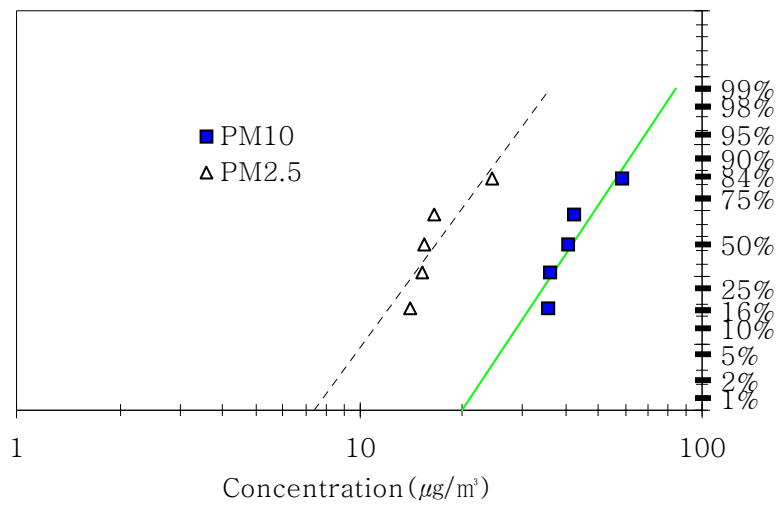


Figure 19. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교.

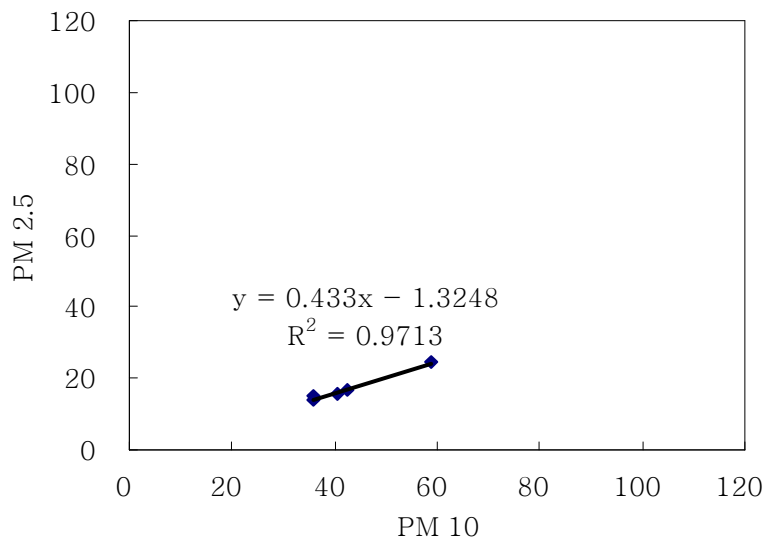


Figure 20. 광산란식 시료채취의 PM10, PM2.5 농도비교.

2.2 47mm filter방법과 37mm filter방법간의 미세농도 비교

47mm filter채취와 37mm filter채취의 농도를 분석하였으며 PM10, PM2.5의 미세먼지의 측정결과 Table 2와 같다. 두 측정법에 의한 농도 차이를 비교한 결과 PM10, PM2.5의 미세먼지에 대해 37mm filter가 47mm filter에 비하여 평균 30 % 및 59 %로 높게 평가된 것으로 나타났다.

Table 7. 47mm 채취방법과 37mm 채취방법간의 농도차이

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	PM10			PM2.5		
	47mm (A)	37mm (B)	(B-A)/A*100 (%)	47mm (A)	37mm (B)	(B-A)/A*100 (%)
1	76.42	89.24	17	58.68	65.63	12
2	76.35	85.94	13	52.92	68.75	30
3	41.01	60.24	47	25.07	52.60	110
4	52.15	69.97	34	32.36	63.72	97
5	86.81	119.44	38	69.62	100.35	44
mean	66.55	84.97	30	47.73	70.21	59

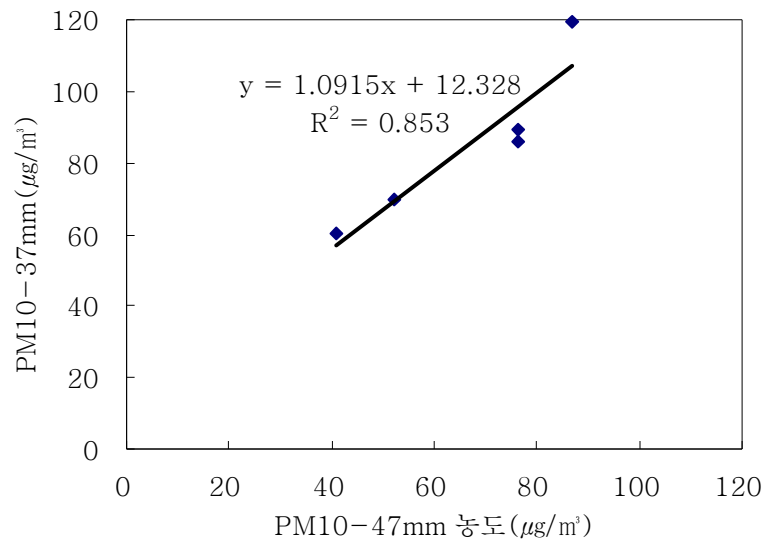


Figure 21. PM10-47mm와 PM10-37mm의 먼지측정결과 비교.

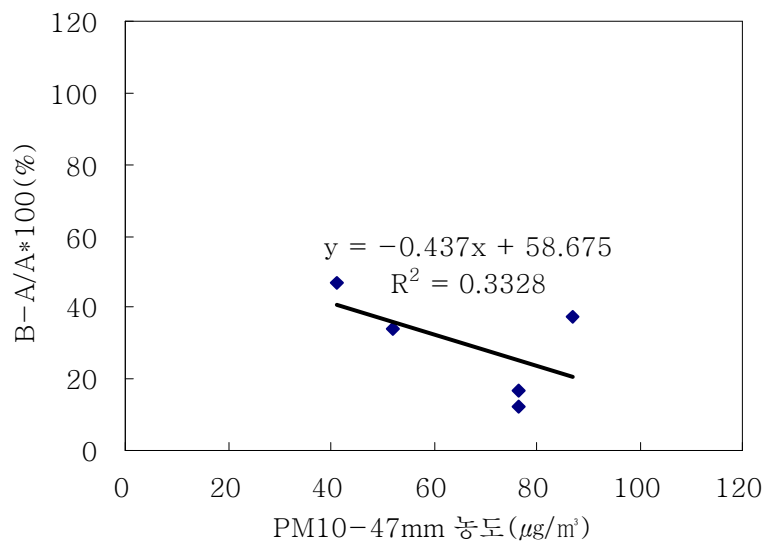


Figure 22. PM10-47mm와 농도비율의 차이.

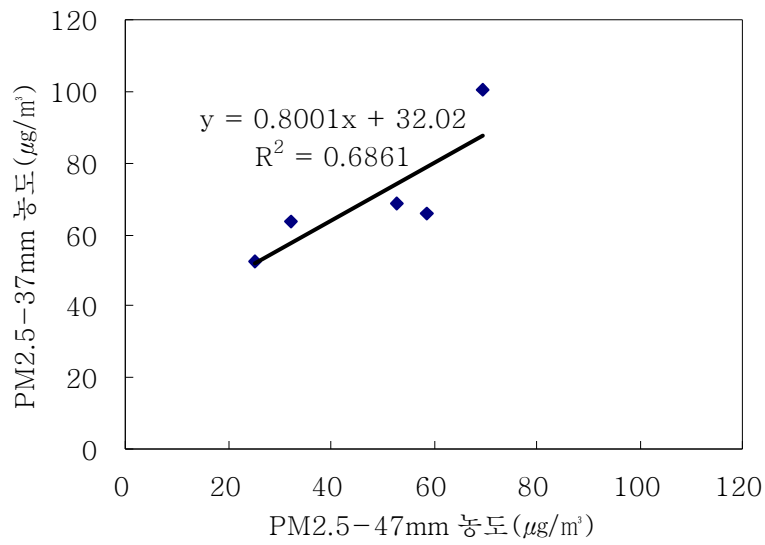


Figure 23. PM2.5-47mm와 PM2.5-37mm의 먼지측정결과 비교.

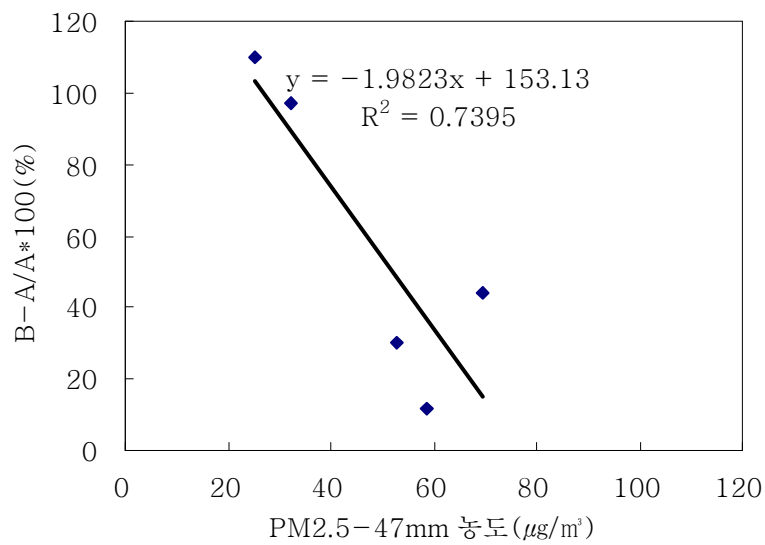


Figure 24. PM2.5-47mm와 농도비율의 차이.

2.3 47mm filter 방법과 광산란식간의 미세농도 비교

47mm filter채취와 광산란식의 농도를 분석하였으며 PM10, PM2.5의 미세먼지의 측정결과 Table 3와 같다. 두 측정법에 의한 농도차이를 비교한 결과 PM10, PM2.5의 미세먼지에 대해 광산란식이 47mm filter에 비하여 평균 -33 % 및 -60 %로 낮게 평가된 것으로 나타났다.

Table 8. 47mm 채취방법과 광산란식 채취방법간의 농도차이

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	PM10			PM2.5		
	47mm (A)	광산란 (B)	(B-A)/A*100 (%)	47mm (A)	광산란 (B)	(B-A)/A*100 (%)
1	76.42	36.00	-53	58.68	14.14	-76
2	76.35	42.52	-44	52.92	16.56	-69
3	41.01	35.74	-13	25.07	15.20	-39
4	52.15	40.63	-22	32.36	15.57	-52
5	86.81	58.83	-32	69.62	24.45	-65
Mean	66.55	42.74	-33	47.73	17.18	-60

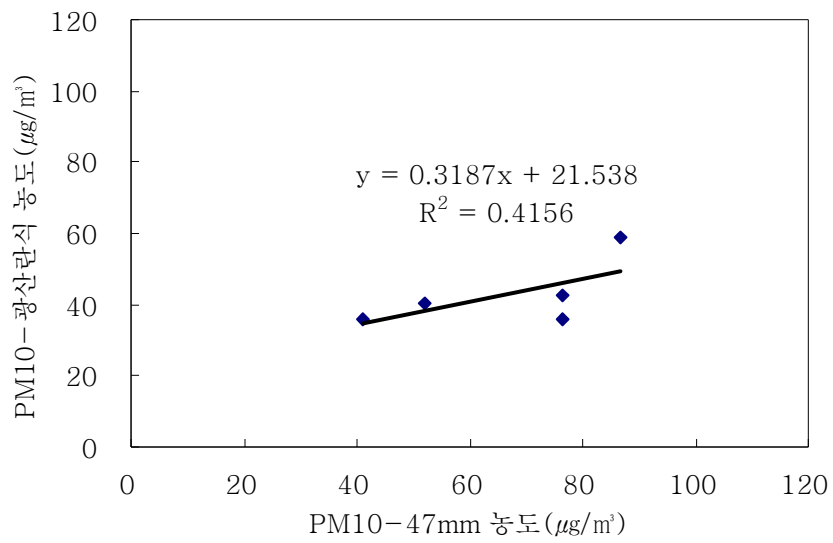


Figure 25. PM10-47mm 와 PM10-광산란의 먼지측정결과 비교.

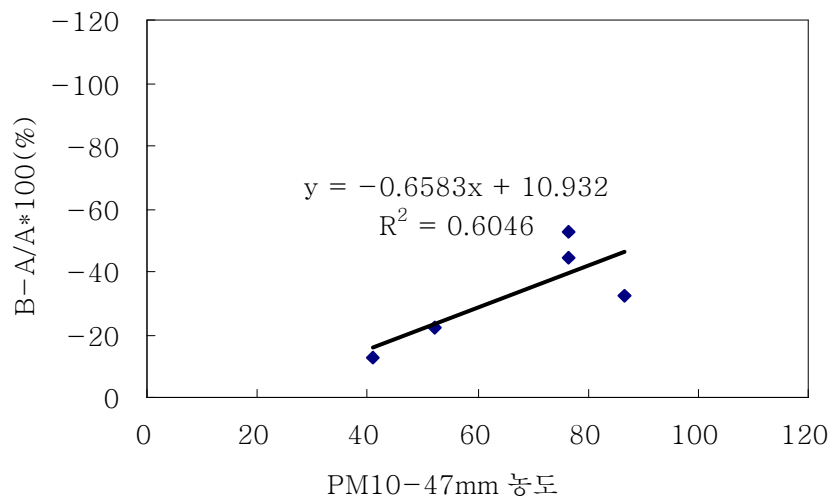


Figure 26. PM10-47mm와 농도비율 차이.

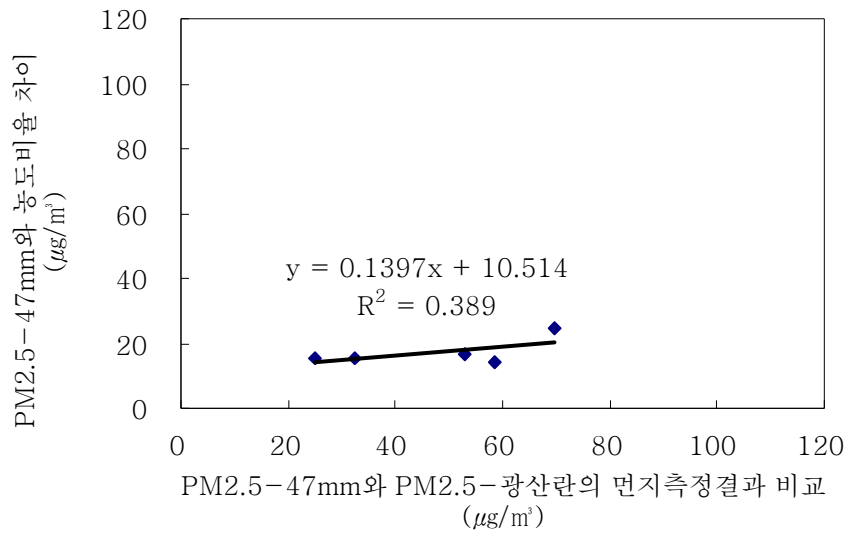


Figure 27. PM2.5-47mm와 PM2.5-광산란의 먼지측정결과 비교.

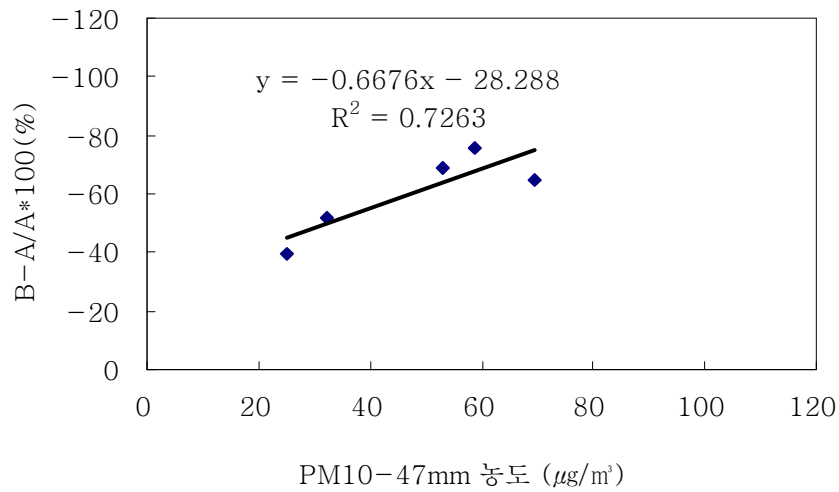


Figure 28. PM2.5-47mm와 농도비율 차이.

2.4 공시료 여과지 농도비교

실내의 미세입자중 공기채취펌프에서 사용한 47mm filter와 37mm filter 의 공시료에 대한 분석결과는 Table 4, 5와 같다.

47mm filter의 경우 공시료의 전·후 무게차는 0.003 mg으로 다소 증가하였으나 37mm filter의 경우는 0.001 mg으로 나타났다. 각각의 표준편차는 0.010과 0.004로 나타나 47mm filter가 37mm filter보다 공시료에 대한 측정 전·후의 표준편차가 2.5배 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 47mm filter의 측정한계가 더 크거나 오차의 범위가 더 크게 나타날 가능성이 있다는 것을 의미한다.

Table 9. 47mm 공시료 여과지의 농도 비교

(mg)

No.	PM10 - 47mm Filter			PM2.5 - 47mm Filter			wt.1 - wt.2
	pre (A)	post (B)	B-A (wt.1)	pre (A)	post (B)	B-A (wt.2)	
1	62.168	62.177	0.010	62.731	62.737	0.006	0.003
2	63.101	63.104	0.002	62.805	62.803	-0.002	0.005
3	63.189	63.193	0.004	61.150	61.155	0.005	-0.002
4	63.411	63.420	0.010	60.201	60.206	0.005	0.004
5	61.141	61.147	0.007	62.390	62.397	0.007	-0.001
6	61.660	61.664	0.004	64.021	64.026	0.006	-0.002
7	63.229	63.242	0.013	63.392	63.384	-0.009	0.022
8	63.311	63.343	0.032	62.367	62.370	0.003	0.028
9	63.046	63.046	0.000	61.772	61.774	0.001	-0.001
10	62.961	62.966	0.005	61.839	61.852	0.013	-0.008
11	62.407	62.412	0.005	60.774	60.788	0.014	-0.009
12	60.763	60.772	0.009	61.703	61.702	-0.001	0.010
13	65.247	65.237	-0.010	62.191	62.187	-0.004	-0.006
14	63.966	63.967	0.001	62.687	62.689	0.003	-0.001
15	59.807	59.807	0.000	60.398	60.399	0.000	0.000
Mean	62.627	62.633	0.006	62.028	62.031	0.003	0.003
SD	1.357	1.356	0.009	1.075	1.073	0.006	0.010

Table 10. 37mm 공시료 여과지의 농도 비교

(mg)

No.	PM10 - 37mm Filte			PM2.5 - 37mm Filte			wt.1 - wt.2
	pre (A)	post (B)	$B-A$ (wt. I)	pre (A)	post (B)	$B-A$ (wt. I)	
1	15.169	15.177	0.008	13.926	13.930	0.004	0.003
2	15.331	15.335	0.004	16.850	16.851	0.002	0.003
3	16.698	16.705	0.007	15.375	15.378	0.004	0.004
4	13.838	13.841	0.003	15.038	15.042	0.005	-0.001
5	18.620	18.627	0.007	13.901	13.900	-0.001	0.008
6	17.943	17.946	0.003	17.569	17.570	0.001	0.002
7	14.926	14.928	0.002	15.339	15.341	0.002	-0.001
8	16.924	16.924	0.000	13.581	13.583	0.002	-0.002
9	13.825	13.825	0.000	13.577	13.580	0.004	-0.003
10	13.665	13.665	0.000	14.981	14.986	0.006	-0.006
11	14.640	14.643	0.003	9.609	9.607	-0.002	0.005
12	14.480	14.481	0.001	16.720	16.716	-0.004	0.005
13	11.834	11.829	-0.005	14.979	14.974	-0.005	0.000
14	17.416	17.414	-0.002	11.944	11.938	-0.005	0.003
15	16.546	16.541	-0.005	19.872	19.867	-0.006	0.000
Mean	15.457	15.458	0.002	14.884	14.884	0.000	0.001
SD	1.862	1.863	0.004	2.414	2.414	0.004	0.004

2.5 실외 공시료 여과지의 농도비교

한편 실외에서 먼지를 측정할 때 공시료에 대한 자료를 이용하여 LOD와 LOQ를 계산하면 다음과 같았다.

47mm Filter사용시 먼지의 최소채취 요구량

$$\begin{aligned} LOQ &= 10 \times SD \\ &= 10 \times 0.008 \text{ mg} \\ &= 0.08 \text{ mg} \\ &= 80 \mu\text{g} \end{aligned}$$

37mm Filter 사용시 먼지의 최소채취 요구량

$$\begin{aligned} LOQ &= 10 \times SD \\ &= 10 \times 0.004 \text{ mg} \\ &= 0.04 \text{ mg} \\ &= 40 \mu\text{g} \end{aligned}$$

IV. 결론

실내·외 환경에서 미세먼지를 측정하는데 주로 사용하는 중량법의 2가지 방법과 광산란식 방법을 동시에 측정하여 그 결과를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 중량법(47mm filter) PM10, PM2.5의 평균농도는 $43.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $38.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 중량법(37mm filter) PM10, PM2.5의 평균농도는 $56.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $51.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 그리고 광산란식(광학적방법) 평균농도는 $30.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 실외에서 중량법(47mm filter) PM10, PM2.5의 평균농도는 $66.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $47.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 중량법(37mm filter) PM10, PM2.5의 평균농도는 $84.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $70.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 그리고 광산란식(광학적방법) 평균농도는 $42.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 중량법(37mm filter), 중량법(47mm filter) 및 광산란식 순으로 측정농도 값이 나타났다.

2. 47mm filter를 사용한 중량법과 37mm filter를 사용한 중량법의 농도를 비교·평가한 결과 실내·외에서 PM10, PM2.5 모두 중량법(37mm filter)이 중량법(47mm filter)에 비하여 평균 30.7 %, 29.6 % 및 34.0 %, 58.5 %로 높게 나타났다.

3. 중량법(47mm filter)과 광산란식(광학적방법)의 농도를 비교평가한 결과 실내·외에서 PM10, PM2.5 모두 광산란식(광학적방법)이 중량법(47mm filter)에 비하여 평균 - 33.3 %, 32.9 % 및 -50.5 %, -60.2 %로 낮게 평가 된 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김경혜 : 저유량 공기채취펌프(0.2 l/min)를 이용한 먼지측정방법의 정확도에 관한 연구, 한성대학교 석사학위논문, 2005.
2. 백남원, 박동욱, 윤충식 : 작업환경측정 및 평가, 신광출판사, 2001.
3. 백성옥, 박지혜. 서영교: 실내외 공기 중 부유먼지 측정방법 상호간의 비교평가-중량법 대상, 대기환경학회지, 2002.
4. 박정호, 전기일 : 진주시 대기 중 PM10, PM2.5 입자상물질의 농도 특성, 산업과학기술연구소, 2000.
5. 박두용: 서울지역 일부에서 TSP ,RSP, PM10 및 PM2.5의 농도, 한성대학교, 2002.
6. 임신섭: 일부 작업환경 측정기관의 먼지농도분석의 정확도에 관한 연구, 한성대학교 석사학위논문. 2004.

ABSTRACT

Study on Comparisons of Two Gravimetric Methods and a Light Scattering Direct Reading Instrument for PM10 and PM2.5 Measurement in an Outdoor Area and an Indoor Area

Kim, Il Dong

Major in Industrial Hygiene Engineering

Department of Safety and Health Management

Graduate School of Occupational Safety and Health

Hansung University

Two gravimetric methods with 37 mm filter and 47 mm filter respectively and a direct reading instrument employing light scattering method were used to measure airborne PM10 and PM2.5 concentrations simultaneously in an outdoor area and an indoor area. These methods are commonly used to measure PM10 and PM2.5. This study was conducted to compare the agreement of the measurement results among the different methods.

The results of this study were as follows:

1. In an indoor area, average concentrations of PM10 and PM2.5 with the gravimetric method employed 47 filters were 43.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

and $38.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. Average concentrations of PM10 and PM2.5 with the gravimetric method employed 37 filters were $56.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $51.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. Direct reading instrument showed $30.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $20.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and PM2.5.

2. In an outdoor area, average concentrations of PM10 and PM2.5 with the gravimetric method employed 47 filters were $66.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $47.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. Average concentrations of PM10 and PM2.5 with the gravimetric method employed 37 filters were $84.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $70.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. Direct reading instrument showed $42.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $17.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and PM2.5.

3. In the comparison between two gravimetric methods, the gravimetric method employed 37 mm filters showed 30.7 % and 29.6 % higher values than the 47 mm filter method for PM10 and PM2.5 in an indoor area and 34.0 % and 58.5 % in an outdoor respectively.

4. In the comparison between the gravimetric method with 47 mm filter and the direct reading instrument, the direct reading instrument showed -33.3% and 32.9% of the gravimetric method with 47 mm filter for PM10 and PM2.5 in an indoor area and -50.5 % and -60.2 % in an outdoor respectively.