

비교 측정을 통한 PM-10 질량농도의 오차 분석

Analysis of Measurement Error for PM-10 Mass Concentration by Inter-Comparison Study

정창훈* · 조용성¹⁾ · 황승만²⁾ · 정용국²⁾ · 유재천²⁾ · 신동석²⁾

경인여자대학 환경보건과, ¹⁾한양대학교 보건학과,

²⁾환경관리공단 대기측정망관리팀

(2007년 7월 17일 접수, 2007년 10월 15일 채택)

Chang Hoon Jung*, Yong Sung Cho¹⁾, S.M. Hwang²⁾,

Y.G. Jung²⁾, J.C. Ryu²⁾ and D.S. Shin²⁾

Department of Environmental Health, Kyungin Women's College, Incheon,

¹⁾*Department of Public Health, Graduate school of Hanyang University, Seoul,*

²⁾*Ambient Air Monitoring Network Management Team,*

Environmental Management Corporation, Incheon

(Received 17 July 2007, accepted 15 October 2007)

Abstract

Particular attention is paid to the validity of PM-10 measurement using beta attenuation method. In this study, the inter-comparison studies were undertaken for PM-10 sampler with different measuring methods. The three beta attenuation monitoring instruments (BAM1020, FH C-14, and DIGS-150) and filter based gravitational method using High Volume Air Sampler were collocated and mass concentrations were compared from August to November, 2006.

The results of the investigation show that beta attenuation monitoring instruments are comparable with gravitational method within 10% of measurement error. For specific conditions under high humidity and high concentrations, the inter-comparison results also showed a relatively good agreement and this can be explained as the effect of inlet heating of beta attenuation instrument.

Subsequently, this study shows that beta attenuation monitoring instruments can be equivalently used with reasonable validity when compared gravimetric method.

Key words : Inter-comparison measurement, PM-10, Beta attenuation monitoring instruments, Mass concentration

1. 서 론

미세먼지는 천식과 같은 호흡기에 질병을 악화시키고 폐기능 저하를 초래하는 등 인체에 위해를 끼

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-540-0166, E-mail : jch@kic.ac.kr

칠 수 있어 최근 그 위험성과 관리의 중요성이 증대되고 있다(김현선 등, 2005). 이에 따라 최근 미세먼지(PM-10) 측정 방법에 대한 신뢰성 및 정확도에 대하여 많은 관심 및 논의가 진행되고 있다. 특히, 우리나라 대기오염 측정망에서 PM-10 측정을 위해 공식적으로 사용하고 있는 베타선 흡수법에 의한 미세먼지 측정 방법에 대하여, 습도의 영향에 의한 신뢰성 등에 문제가 제기된 바 있다(Chang and Tsai, 2003; Chang *et al.*, 2001; Tsai and Cheng, 1996). 기본적으로 베타선 흡수법은 미세먼지의 중량을 측정하는 직접적인 방법이 아니고 미세입자에 의한 빛의 감쇄계수를 질량으로 환산한 간접적인 방법이므로, 설계시 고려한 조건외의 다른 상황에서는 실제 미세먼지의 질량과 차이가 발생할 수 있다. 따라서, 현재 베타선 흡수법에 의한 미세먼지 측정 방법을 보완하고, 미세먼지 측정 자료에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 기초연구가 필요하다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 미세먼지 측정방법, 측정 조건 및 측정 장비, 제조사 종류 등 여러 다양한 조건에 따른 미세먼지 농도의 비교 측정해 보고 이들 측정 방법에 따른 농도의 차이를 분석해 보려 한다. 이를 위해 대용량 포집법(High Volume Air Sampler)에 의한 중량법을 기준으로 하여 베타선 흡수법을 이용한 PM-10 측정 장비와 고용량 포집법에 의한 중량법 측정 장비를 비교하여 미세먼지의 측정오차를 파악하였다. 또한 측정대상기간 중 상대습도의 변화 및 고농도시 오차의 추이를 살펴보았다.

2. 미세먼지 측정 오차에 관한 선행연구

선행연구의 결과를 살펴보면, 미국의 경우 표준방법인 중량법을 기준으로 베타선 흡수법의 비교실험을 주로 수행하였으며, PM-2.5를 대상으로 하였을 때, 미세먼지 측정분석 결과, 측정 장소별, 월별 상관계수에 있어 약간의 차이를 보이나 대체로 중량법과 베타선 흡수법이 잘 일치하고 있는 것으로 보고되었다. 캘리포니아주 대기환경보호국(CARB)에서 수행한 연구 결과를 보면, PM-2.5에 대한 중량법과 베타선흡수법 측정결과의 상관계수(R^2)가 0.949로 나타나 매우 양호한 수준의 직선성을 보였다(Quok and McDougall, 2006).

유럽의 경우 2002년 미세먼지 측정 비교실험을 위한 working group을 구성하여 국가별로 중량법과 베타선 흡수법의 비교실험을 1년간 수행하였다(Harrison, 2006; Williams and Bruckmann, 2002). 비교 실험 결과, 중량법과 베타선 흡수법은 대체로 잘 일치하고 높은 상관관을 유지하고 있으나, 계절에 따른 편차를 보였다. 예를 들어, 하절기인 5~8월까지의 베타선 흡수법에 대한 중량법의 농도 비율(중량법/베타선 흡수법)이 1.0~1.1를 보이고 있으나, 동절기인 11~2월까지의 자료는 보정 농도비가 1.3 정도의 비율로, 베타선 흡수법의 농도가 기준법인 중량법에 비해 낮은 경향을 보였으며, 이러한 계절의 따른 편차의 원인으로는 베타선 흡수법 측정시 유입부의 가온에 의한 휘발성 성분의 감소 가능성을 제시하고 있다. 즉, 겨울철 베타선 흡수법의 중량법에 대한 농도감소 원인으로 겨울철 유입부의 가온에 의한 휘발성물질의 증발 영향을 언급하였다.

이전에 실시된 Tsai and Cheng(1996)의 PM-10 장비 간 비교실험결과는 베타선 흡수법 측정법과 중량법과의 비교 선행연구에서 자주 인용되어왔다(한진석, 2006). Tsai and Cheng(1996)는 Wedding사의 베타선 흡수법 장비와 Kimoto사의 베타선 흡수법 장비를 High Volume Sampler에 의한 중량법 결과와 비교하였다. 이들 논문에서는 Kimoto inlet의 경우 절단 입경이 약 $7\mu\text{m}$ 정도인 것으로 파악되어, Kimoto사의 장비(x)와 중량법(y)간의 상관관계가 기울기 0.5, 절편 24.4로 Kimoto사 장비에 의해 측정된 PM-10 농도가 중량법에 의해 측정된 PM-10의 농도에 비해 저평가 되는 것으로 나타났다. 즉, Tsai and Cheng(1996)의 연구에서 Kimoto 장비가 중량법에 비해 저평가 되는 원인으로 Kimoto 장비의 PM-10 시료 유입부(inlet)의 절단입경(cut diameter)이 일반 EPA 규격의 PM-10 시료 유입부에 비해 작기 때문인 것으로 판단하였다. 그러나 현재 국내에 유입되는 Kimoto 장비의 PM-10 시료 유입부의 경우 일본식이 아닌 EPA 기준을 만족하는 표준 유입부가 들어오므로 이들의 연구를 국내에 그대로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서, Kimoto 장비에 대한 불필요한 오해를 유발할 수 있다는 점에서 이에 대한 정밀한 비교 실험이 요구된다.

우리나라의 경우, 베타선 흡수법과 중량법간 상관관계에 대한 연구가 진행된 바 있으나(조석주 등,

2003; 서영화 등, 1998), 대부분 수일~수주의 단기간 측정 결과 비교에 한정되었으며, 특히, 미세먼지 농도에 영향을 미치는 습도 및 가온 여부 등 측정 조건별 변화요인 및 오차발생 원인을 조사한 연구는 미흡한 실정이다. 베타선 흡수법 측정 장비의 오차가능요인으로는 시료 유입부(Inlet)의 가온 여부 및 가온 조건, 시료 유입부 및 광원 등 측정 장비의 물리적 특성에 따른 차이, 보정 상태, 온도, 습도 등 기상조건에 따른 장비의 반응 차이, 측정지점별 미세먼지의 조성에 따른 장비의 반응 차이 등을 들 수 있다(김중구, 2006; 김현호 등, 2004; 최병철 등, 2004). 특히, 베타선 흡수법의 경우 주로 수분의 영향이 문제시 되는데 중량법의 경우 24시간의 항온 항습과정을 통하여 건조한 먼지 농도의 질량을 측정하는데 비해, 베타선 흡수법의 경우 항온 항습 과정을 거치지 않은 채 대기 조건에서 질량농도를 측정하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 경우, 대기 중 상대습도가 높은 경우에 있어 질량농도 측정방법과 큰 차이를 보이게 될 가능성이 있다. 따라서 최근의 대기오염 측정망을 비롯한 미세먼지의 농도 측정에는 시료 유입부를 가온하여 수분을 증발 시키는 방법을 취하고 있으나, 가온 방식, 온도 등에 따라 실제 건조 질량과의 차이를 발생할 가능성이 있다. 따라서 베타선 흡수법을 사용하는 미세먼지 농도의 측정에 있어 상대습도에 따른 오차의 정도를 중량법과 비교하는 것이 매우 중요하다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 미세먼지 농도의 오차 분석을 위하

여 대용량 포집법(High Volume Air Sampler)을 이용하여 PM-10의 중량농도를 측정하고 이를 베타선 흡수법을 이용한 PM-10 농도 자료와 비교해 보았다. 베타선 흡수법 장비는 3대의 제작사별 측정 장비를 선정하여 인천 계양구 계산동에 위치한 경인여자대학 본관 옥상에서 시료 채취 및 분석을 실시하여 비교 검토하였다. 측정기간은 2006년 8월 1일부터 2006년 11월 30일까지 총 4개월간 실시하였으며 베타선 흡수법 장비는 1시간 평균자료를 일평균 하였고, 중량법은 24시간에 한 번씩 질량을 측정하였다. 비교 대상 베타선 흡수법 장비는 FH C-14(Thermo Inc., 미국), BAM 1020(Metone Inc., 미국), DIGS-150(Kimoto Inc., 일본)와 중량법 장비로 TE-6070 PM-10

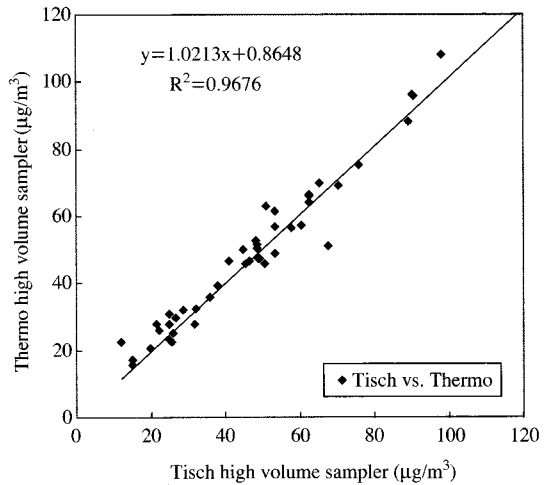


Fig. 1. The comparison of PM-10 mass concentration between two high volume samplers.

Table 1. Specifications of measurement instruments.

Beta gauge	FH C-14	DIGS-150D	BAM1020
Ranges	0~5/10 mg/m ³	0~0.5/1/2/5 mg/m ³	0~1/2/5/10 mg/m ³
Resolution	±1 µg/m ³	±1 µg/m ³	±2 µg/m ³
Flow rate	16.7 lpm	16.7 lpm	16.7 lpm
Dimensions	W 483 mm, H 310 mm, D 320 mm	W 430 mm, H 220 mm, D 400 mm	W310 mm, H 430 mm, D 400 mm
Measurement cycle	Continuous (Real time) measurement	1 hour	1 hour
Filter type	Glass fiber filter	Teflon roll filter	Glass fiber filter
Source	C-14, <100 µCi	Pm-147	C-14, 60 µCi

(Thermo, 미국)과 Tisch PM-10 (Tisch, 미국)을 사용하였다. 각 장비별 구체적인 사양과 특성은 표 1과 같다. 중량법에 의한 PM-10 농도는 샘플링 전후 24시간 동안 항량 후 측정하였으며, 유량보정을 정기적으로 실시하였고, 정확한 자료를 얻기 위해 2대의 장비의 비교 실험을 수행하였다.

그림 1은 측정기간동안 수행한 2대의 High Volume Sampler의 PM-10 중량농도를 비교한 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 두 장비 간 농도의 기울기는 1.02, 상관계수(R^2)는 0.9676으로 높은 상관을 보임을 알 수 있다. 기상조건은 측정지점에 설치된 AWS (자동기상관측장비)를 이용하여, 풍향, 풍속, 온도 및 습도를 측정하였다. 측정된 자료는 중량농도자료를 기본으로 하여, 24시간 일평균 한 베타선 흡수법

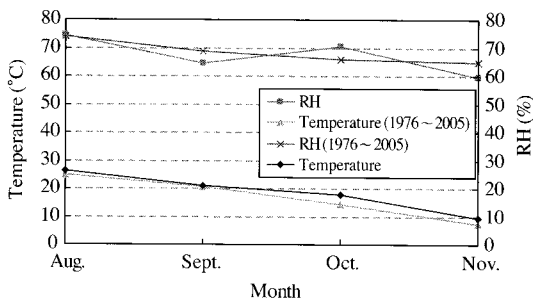


Fig. 2. Comparison of the monthly average Temperature and Relative Humidity (sampling period vs. 1976-2005).

PM-10 농도자료를 장비별로 살펴보고, 각 장비별 상관관계, 그리고 습도에 따른 장비별 농도 변화 및 베타선 흡수법 농도자료의 시간 별 평균 농도 등을 살펴보았다.

습도에 따른 측정 오차의 변화를 살펴보기 위하여 본 연구에서는 일평균 상대습도 70%를 기준으로 하여 높은 습도와 낮은 습도에 따른 오차를 구하였다. 기존 Tsai and Cheng (1996)의 연구에서는 일평균 상대습도를 80%를 기준으로 하여 습도에 따른 오차를 살펴보았으나, 본 연구 기간에서는 80% 이상의 습도를 가진 측정일이 부족하여 70%를 기준으로 분석하였다.

그림 2는 측정 기간 동안의 월별 온도 및 습도와 최근 30년 동안의 평년값을 비교한 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 평년값과 비교하여 측정대상기간의 온·습도의 변화는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 측정 대상기간이 기온과 습도에 있어 이상치를 보이고 있지 않은 일반적 기간임을 의미한다.

그림 3은 측정 기간 동안 측정 대상 장비의 농도 분포변화를 보여주고 있다. DIGS-150, FH C-14 및 BAM 베타선 흡수법 장비와 High Volume Sampler로 측정된 중량법 측정 자료를 비교하였다. 또한, 측정 장소와 가장 인접한 지역의 지역대기측정망지점인 계양동의 측정망 자료를 비교하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 비교 대상 장비의 측정값이 모두 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 계양동 측정망 자료와 본 연구의 측정지점의 농도 변화 추이가

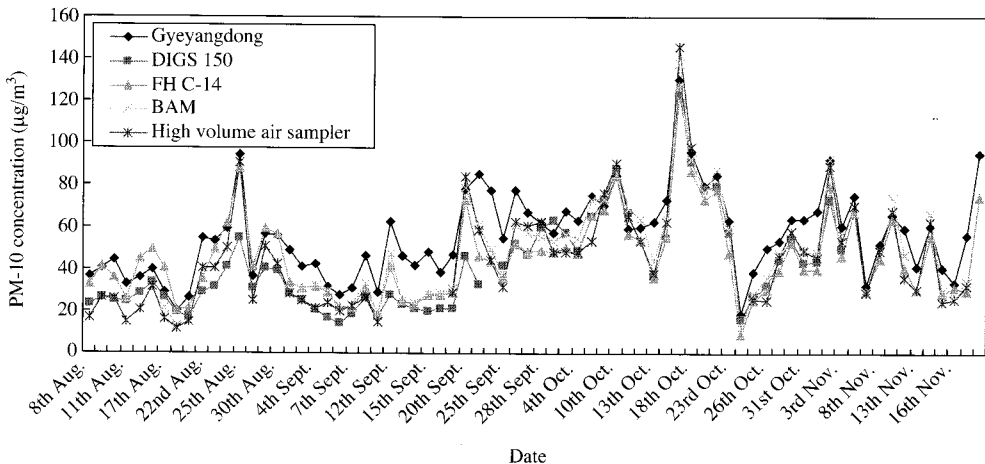


Fig. 3. Change of PM-10 concentration during the sampling period.

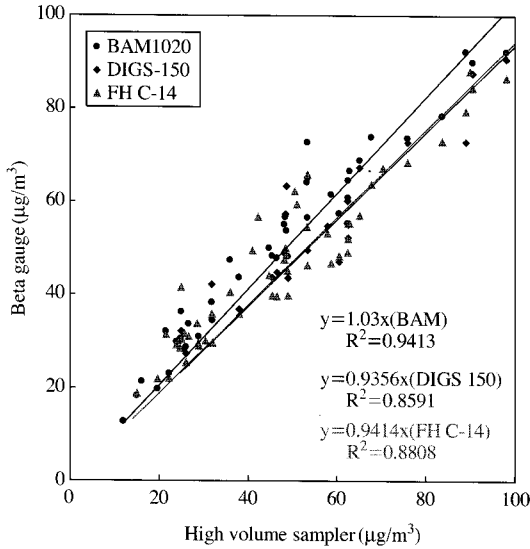


Fig. 4. Comparison of the PM-10 concentration (High Volume Sampler vs. Beta Gauge).

일치하는 것으로 볼 때 본 연구의 측정지점이 지역적인 영향을 받기보다는 지역의 농도를 대표할 수 있음을 보여주고 있다.

4. 연구 결과 및 고찰

본 연구에서는 베타선 흡수법을 이용한 PM-10 측정 장비와 고용량 포집법에 의한 중량법 측정 장비를 비교하여 미세먼지의 측정오차를 파악하려 하였다. 또한 비교조건으로 측정대상기간 중 상대습도의 변화에 따른 오차의 추이를 살펴보려 하였다. 본 연구에서 기준법은 대용량 포집법 (High Volume Air Sampler)에 의한 중량법으로 하였다. 그림 4는 본 연구의 측정 대상 기간 중 중량법과 비교한 베타선 흡수법의 농도를 비교한 것이다. 그림 4에서 x축은 중량법의 PM-10 농도, y축은 베타선 흡수법의 PM-10 농도를 가리킨다. 그림에서 볼 수 있듯이 측정 기간 중 베타선 흡수법을 이용한 측정장비는 중량법과 R² 값 역시 0.8591~0.9413 정도로 매우 높은 상관관계를 보이고 있다. 정확도에 있어서도 대상측정 장비 모두 기울기 0.9356~1.03으로 중량법과의 3~6% 이내의 오차를 유지하고 있어, 베타선 흡수법과 중량법

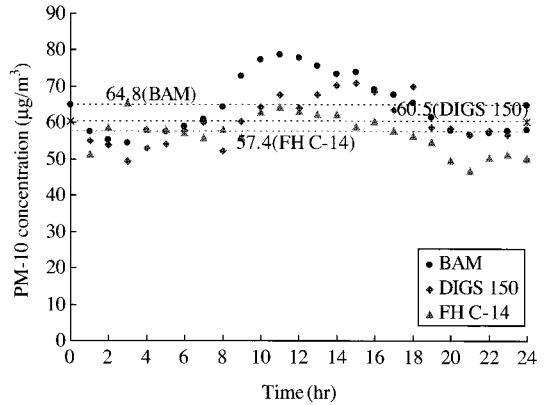


Fig. 5. Comparison of the hourly mean PM-10 concentration (2006. 10. 1 ~ 10. 31).

Table 2. High PM-10 concentration and Relative Humidity during sampling period.

High concentration	PM-10 (µg/m ³) Tisch High Vol	RH	Description
1	146	74%	Dense Fog (10/17)
2	98	80%	Dense Fog (10/18)
3	91	80%	Dense Fog (10/10)
4	90	73%	Rain, Fog (8/25)
5	84	76%	Dense Fog (9/20)
6	76	62%	Fog (10/9)
7	70	67%	Rain, Fog (11/6)
8	67	71%	(11/9)
9	65	74%	Dense Fog (10/11)
10	63	62%	(11/14)
11	63	67%	Dense Fog (10/16)
12	63	57%	(9/26)
13	62	60%	Fog (9/28)

두 측정 방법 간 상호관계가 매우 높은 상관성을 보임을 알 수 있다. 장비별 기울기를 살펴보면 DIGS-150과 FH C-14는 중량법에 비해 약 6% 낮은 농도를 보이고 BAM 장비는 약 3% 높은 농도를 유지하고 있었으나 R² 값은 BAM장비가 0.9413으로 가장 높았다.

일평균 자료를 중심으로 보았을 때, 미세먼지의 고농도 사례는 안개 발생과 높은 관련을 가지고 있다. 표 2는 측정기간 중 고농도 발생일의 농도 및 기상 조건을 보여주고 있다. 표 2에서 볼 수 있듯이 PM-10 고농도 사례가 발생한 날은 주로 안개가 발생한 날임을 알 수 있다. 또한 상대습도역시 높은값을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나, 측정기간 중 상대습도가 높은 날 반드시 안개가 발생하지는 않았다. 이는 안개발생이 습도이외에도 풍속, 대기 안정도 등 여러 기상요소의 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

본 측정기간 동안 미세먼지 농도와 상대습도, 풍속 등의 결과를 비교한 결과, 일변화를 기준으로 하였을 경우, 상대습도와 미세먼지의 농도는 상대습도가 증가할수록 미세먼지의 농도도 증가하는 양의 경향을 보이고 있으나, 선형적으로 높은 상관도를 보이지는 않았다. 이는 미세먼지의 농도변화에 있어 기상요소와 발생원 등의 여러 요인이 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 해석된다.

그림 5는 베타선 흡수법에 의한 측정 장비의 시간대별 변화를 보여주고 있다. 시간대별 미세먼지의 평균 농도 경향을 보면, 측정대상 장비 모두 출근시간대인 오전 8~11시 경에 최고치를 보이고 있으나, 측정 장비별로 차이를 보이고 있다.

측정 대상 기간 중의 자료를 바탕으로 볼 때, 시간대별 평균농도를 고려하였을 경우, 각 장비별 평균 차이는 시간에 따라 큰 편차를 보이고 있다. 특히, 낮 시간대에 장비별차이가 존재한다. 즉, 시간별 자료를 평균한 평균자료를 비교해 보면, FH C-14 (57.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), DIGS-150 (60.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 그리고 BAM (64.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 10%내의 차이를 보이고 있으나, 시간대별 농도 변화는 BAM 장비의 경우 오전시간에 증가하는 경향이 더욱 뚜렷한 특성을 가지고 있다. 이에 대한 원인은 구체적으로 파악되지 못하였으나, 가온방법의 차이에 의한 시간대별 농도의 차이가 있을 것으로 예상된다. 즉, FH C-14장비와 DIGS-150장비의 경우, 유입부를 40°C로 유지시켜 가온하고 있는 반면, BAM장비의 경우, 장비 내 일정 상대 습도(본 연구의 경우 55%)를 기준으로 기준 상대습도보다 높을 경우 가온을 하고, 기준 상대습도보다 낮은 경우 가온강도를 약화하고 있다. 따라서, 각 장비간 가온의 방식 및 정도가 상이함으로 인한 농도측정결과의 차이가 예상된다. 이에 따라 낮 시간대에 일반적

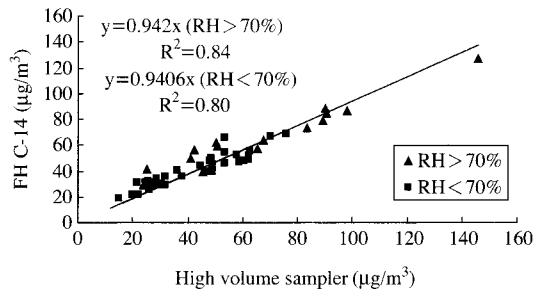
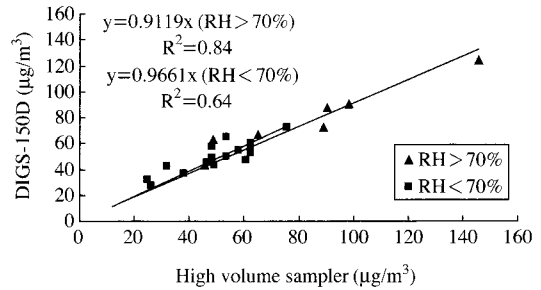
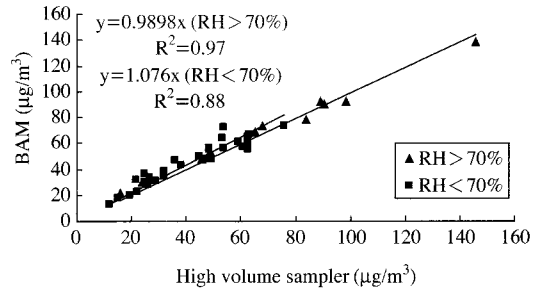


Fig. 6. Comparison of the PM-10 mass concentration between low RH (RH < 70%) and high RH (RH > 70%).

으로 상대습도가 감소하게 되면 BAM장비의 가온을 약화시키고 이로 인해 입자의 수분 증발이 다른 두 장비에 비해 덜 일어날 수 있을 것으로 예상된다. 이는 BAM장비가 낮 시간대에 다른 장비에 비해 농도가 높아지는 원인중의 한가지로 추정된다. 그러나 한정된 측정기간의 결과로 결론을 내리기에에는 자료수가 부족한 상태임으로, 향후 이에 대한 차이의 원인에 대한 분석을 보다 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 또한, 현재 미세먼지 농도 분석에 있어 측정 지점별 시간 경향 및 특성에 대한 연구결과 등이 이용되고 있으므로, 향후, 장비별 특성이 시간별 변화에 미치는

영향에 대한 연구가 필수적으로 요구된다.

그림 6은 측정기간 동안의 일평균 상대습도를 70%를 기준으로 하였을때, 상대습도에 따른 PM-10 농도를 장비별로 High Volume Sampler와 비교해 본 것이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 모든 비교대상 장비가 시료유입장치를 약 40°C로 가온한 상태에서 측정하였을 때, 대상 장비별 습도에 의한 농도 차이는 오차 7% 이내로 크게 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 시료 유입부의 가온을 하는 조건에서는 수분이 증발로 인해 습도에 의한 영향을 크게 받지 않는 것으로 해석된다.

현재 미세먼지 대기오염 측정망에 설치되어 가동 중인 베타선 흡수법의 경우 입자내 수분을 증발시키기 위해 시료 유입부를 가온 시키고 있다. 그러나 가온의 형태 및 가온시기 등은 제조사와 대기오염 측정망의 측정 지점에 따라 다른 상태이다. 본 연구에서는 입자 유입부의 가온이 중량법과 비교한 미세먼지의 농도에 어떠한 영향을 미치는 지를 살펴보고자 하였다. 이를 위해, FH C-14 장비에 대해 8월 1일부터 8월 15일까지 15일간 시료 유입부를 가온하지 않은 상태로 중량법과 비교하고, 이후 시료 유입부를 가온한 자료와 비교하여 보았다. 그림 7은 시료 유입

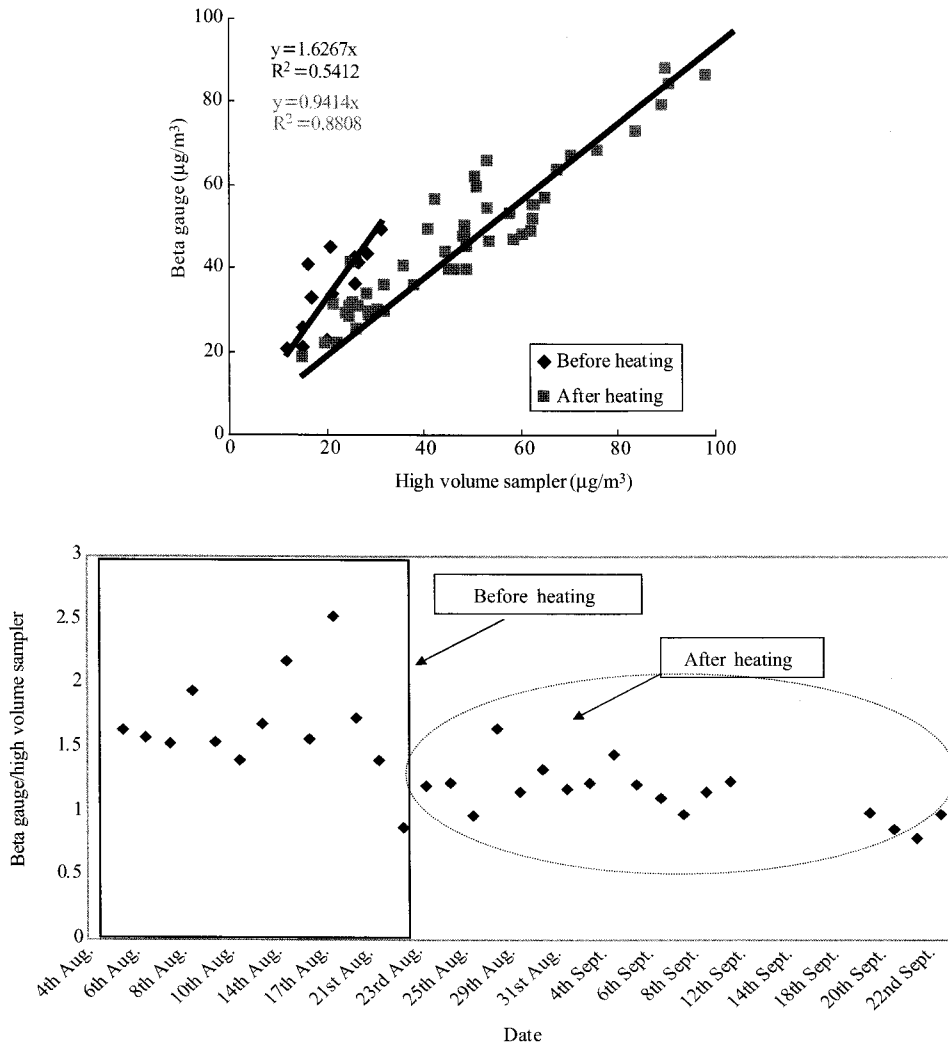


Fig. 7. Comparison of the PM-10 concentration before and after inlet heating (FH-C14).

부 가온 전과 가온후의 중량법과 비교한 FH C-14 장비의 PM-10 농도를 비교한 것이다. 그림 7과 같이 베타선 흡수법의 입자 유입부를 가온한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 보면, 여름철 습도가 높은 본 측정기간의 경우 약 40~50% 이상의 오차 발생하였다. 이는 유입부를 가온하지 않은 경우 상당한 오차를 유발하게 됨을 보여준다. 따라서, 시료 유입부를 가온하지 않았을 경우 수분이 증발되지 않은 상태에서 베타선 흡수법에 의해 질량이 측정됨으로서 수분을 제어하는 항량 과정을 거친 중량법과 비교하였을 경우 차이가 발생하는 것으로 분석된다. 본 연구 결과의 경우 측정기간의 보름에 한정되어 있고, 여름철 습도가 높은 상태인 관계로, 습도와 측정 기간에 따른 시료유입부 가온여부에 따른 PM-10 농도는 측정 조건에 따라 달라질 수 있다. 또한 겨울철 가온이 습도 및 미세먼지에 미치는 영향은 본 연구에서 다루어지지 못하였으므로, 추후 이에 대한 보완 연구가 필요하다.

본 연구 결과로부터, 기존 대기오염 측정망 자료의 경우 시료 유입부 가온이 행하여진 시기 등이 지자체별로 다른 점을 상기해 볼 때, 이러한 시료 유입부 가온이 전체 미세먼지 농도에 미치는 영향을 계절별로 정량적으로 밝히는 문제는 기존 미세먼지 자료의 올바른 해석을 위해 필요하다. 또한, 습도에 의한 조절 방식과 온도에 의한 조절방식에 의한 가온방식의 차이가 미세먼지의 농도에 미치는 영향에 대한 실험이 보완되어야 할 것으로 보인다.

그림 8은 측정 기간 중 일평균 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도 일에 대하여 중량법과 베타선 흡수법의 농도를 비교한 경우이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 장비간 농도는 큰 오차를 보이지 않았다. 전체 구간의 자료와 비교하여 보았을 때, 각 장비별로 약 4~7% 정도 베타선 흡수법의 농도가 중량법에 비해 감소한 결과를 보이고 있다. 각 장비별 중량법에 의한 기율기를 살펴보면 BAM장비의 경우, 고농도 기간의 상관도를 살펴보면, 기율기 1.03에서 0.96으로 약 7% 감소하였고, DIGS-150 장비는 기율기 0.94에서 0.89으로 약 5% 감소하였으며, FH C-14장비는 기율기 0.94에서 0.90으로 약 4% 감소하였다. 이에 대한 원인은 고농도 발생일이 대부분 안개발생일이며 습도가 높은 날인 관계로 인한 수분제어에 관련된 문제일 가능성이 있으나 본 연구의 경우 고농도 사례 자

료의 부족으로 명확한 결론을 내리기는 힘들다. 향후 구체적인 원인에 대해서는 추가적인 실험 및 분석이 필요하다.

그림 9는 이상의 결과를 바탕으로 본 연구의 측정 결과 장비 간 상호 관계식을 유도한 것이다. 관계식은 장비 중 중량법과 가장 상관관계가 높았던 BAM 장비를 기준으로 하였다. 장비별 관계식은 표 3과 같

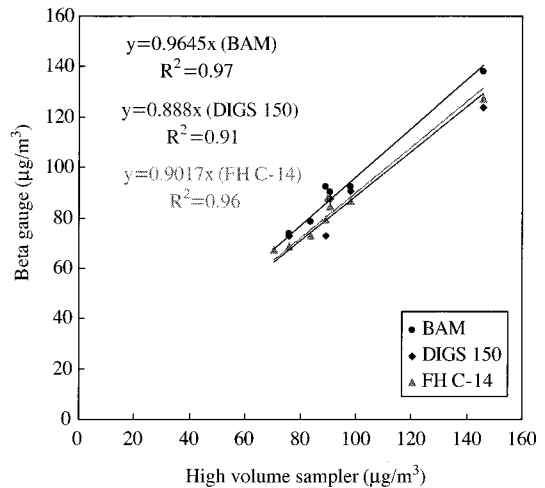


Fig. 8. Comparison of the PM-10 concentration for high PM-10 concentration ($\text{PM-10} > 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, high volume sampler vs. beta gauge).

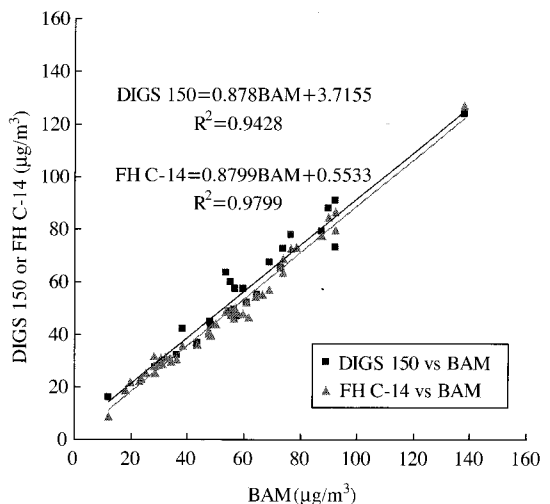


Fig. 9. Comparison of the PM-10 mass concentration (DIGS-150D vs. BAM, FH C-14 vs. BAM).

Table 3. Linear relation between Beta Gauges (DIGS 150 vs. BAM and FH C-14 vs. BAM).

y (Dependent variable)	x (Independent variable)	Slope	Intercept	R ²
DIGS 150	BAM	0.878	3.7155	0.9428
FH C-14	BAM	0.8799	0.5533	0.9799

다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 측정 기간동안 대상 측정 장비는 매우 높은 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 2006년 8월~11월의 4개월간 미세 먼지의 농도를 중량법과 베타선 흡수법에 대해 측정하고 그 농도를 여러 외부 조건에 따라 비교함으로써, 미세먼지 측정시 발생하는 오차의 원인을 파악하려 하였다. 측정결과 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

1. 측정 결과 일평균 변화를 기준으로 하였을 경우, 중량법과 베타선 흡수법을 이용한 대상 장비, 베타선 흡수법 상호간의 농도는 매우 잘 일치하는 경향을 보였다. 시간별 자료를 비교해 보았을 때, 낮 시간대에는 대상 장비별 약 ±10% 내외의 차이를 보였다. 그러나 측정기기별 차이를 보이는 시간별 오차에 대한 보다 정확한 원인을 파악하기 위해서는 보다 집중적인 비교 실험 필요하다.
2. 상대습도의 변화에 따른 미세먼지 농도의 오차요인을 살펴보았을 때에도 중량법과 베타선 흡수법이 서로 잘 일치하는 경향을 보였다. 본 연구의 측정 자료를 바탕으로 장비별 상관관계를 파악할 수 있으며, 장비별 높은 상관관계를 보이는 관계식을 유추할 수 있었다. 본 측정기간 중 발생한 안개의 경우 유입부를 가온한 조건에서 측정 오차를 일으키지 않는 것으로 보인다.
3. 측정 기간 중 발생한 약한 강수의 경우 역시 측정 오차를 유발하지 않았다. 그러나 향후 측정기간에 포함되지 않은 집중호우 등의 강수에 대한 분석이 필요하다. 또한 황사 시 오차유발요인에 대한 추가 분석등도 필요하다. 본 측정 기간 동안만의 결과를

보았을 때 수분의 영향은 장비 유입부의 가온을 통한 관리가 가능할 것으로 사료된다.

4. 계절(기온)에 따른 오차의 변화는 시료 유입부를 가온할 경우 11월까지의 측정결과 큰 오차를 발생하지 않았다, 그러나 기온의 급속도로 하락하는 12월, 1월, 2월 등의 겨울철 변화경향 파악이 필요하다.

이상의 결과를 보았을 때, 측정 기간에 대하여 베타선 흡수법에 의하여 측정된 미세먼지의 농도는 일평균을 기준으로 보았을 때 중량법과 높은 일치성을 보이고 있었다. 그러나, 정확한 수분 및 상대습도의 영향, 황사, 집중호우 등의 강수등이 측정오차에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 상대습도 80% 이상의 고습도 기간 등을 포함한 보다 많은 자료를 추가로 확보하여 분석할 필요가 있다. 또한 시료 유입부의 가온 조건(가온 온도, 가온 방식 등)에 따른 미세먼지 측정 오차 등에 대한 연구가 필요하다.

결론적으로 본 연구에서는 대용량 포집법 (High Volume Sampler)에 의한 중량법과 베타선 흡수법을 통한 PM-10 농도의 비교 실험을 통해 베타선 흡수법과 중량법에 의한 PM-10 농도간의 상관관계를 파악할 수 있었다. 본 연구를 통해 습도, 기온 등의 기상조건에 따른 베타선 흡수법에 의한 PM-10 농도의 오차 유발 요인을 파악함으로써, 향후 베타선 흡수법의 농도 보정 및 관리 등에 기초적 자료를 제공할 것으로 기대된다. 또한, 베타선 흡수법 장비 간 PM-10 농도 측정의 특성을 파악하고 비교함으로써, 향후 장비 간 특성에 따른 PM-10 농도의 상관관계 파악에 기본 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2006년 환경관리공단 연구 용역의 지원을 받았습니니다.

참고 문헌

김중구 (2006) 분진자동 측정기의 수분응축자동방지시스템, 2006년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 193-195.

- 김현선, 허종배, 서용석, 김승희, 이승목 (2005) 서울시 호흡성 미세먼지 (PM_{2.5})의 농도분포와 상대습도 및 조해점과의 관계, 2005년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 302-303.
- 김현호, 이재용, 류성윤, 김영준 (2004) PM-10 베타 게이저 부유분진 측정기의 교정기 개발, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 126-127.
- 서영화, 이병규, 정용삼, 문종화, 이길용, 심상권, 홍완, 최한후 (1998) 대기분진 (PM-10)의 실험실간 동시 측정 연구, 1998년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 241-243.
- 조석주, 최금숙, 여인학, 이민환, 김민영, 김신도 (2003) 환경 대기 중 미세먼지 (PM-10)의 동시 측정 비교연구, 2003년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 267-268.
- 최병철, 차주완, 박기준, 최재천, 안정연 (2004) 관측방법이 다른 두 종류의 PM-10 자동 관측기 특성 및 비교 관측자료 분석, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 61-63.
- 한진석 (2006) 미세먼지 측정법 개선방향, 미세먼지 측정자료 정도향상 및 활용을 위한 기술포럼 자료집, 환경관리공단, 65-82.
- Chang, C.T., C.J. Tsai, C.T. Lee, S.Y. Chang, M.T. Cheng, and H.M. Chein (2001) Differences in PM-10 concentrations measured by beta gauge monitor and high-vol sampler, *Atmos. Env.*, 35, 5741-5748.
- Chang, C.T. and C.J. Tsai (2003) A model for the relative humidity effect on the readings of the PM-10 beta-gauge monitor, *J. Aerosol Sci.*, 34, 1685-1697.
- Harrison, D. (2006) UK equivalence program for monitoring of particulate matter, Final Report for Department fro the Environment, Food and Rural Affairs, BV/AQ/AS202209/DH/2396, 1-48.
- Quok, M. and M. McDougall (2006) Comparison of the ARB continuous PM-2.5 monitoring network to the PM-2.5 federal reference method network, California Air Resources Boards Report, 1-21.
- Tsai, C.J. and Y.H. Cheng (1996) Comparison of two ambient beta gauge PM-10 samplers, *J. Air and Waste Management Association*, 46, 142-147.
- Williams, M. and P. Bruckmann (2002) Guidance to member states on PM-10 monitoring and intercomparisons with the reference method, EC Working Group on Particulate Matter, 1-72.