

## 측정방법 및 기상상태에 따른 PM-10 질량농도 비교

정창훈\* · 박진희 · 황승만<sup>1)</sup> · 정용국<sup>1)</sup>

경인여자대학 환경보건학부, <sup>1)</sup>환경관리공단 대기관리처 대기측정망팀

(2009년 5월 12일 접수, 2009년 6월 27일 채택)

## Comparison of the PM-10 mass concentration in different measurement methods and meteorological conditions

Chang Hoon Jung\*, Jin Hee Park, S. M. Hwang<sup>1)</sup> and Y. G. Jung<sup>1)</sup>

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

<sup>1)</sup>*Air Monitoring Department, Environmental Management Corporation*

(Received 12 May 2009, accepted 27 June 2009)

### Abstract

In this study, the continuous monitoring of the concentration of PM-10 atmospheric particulate matter using beta ray attenuation method was compared with gravimetric method from September, 2006 to August, 2007. On the effects of the PM-10 concentration and mass difference by relative humidity and precipitation were considered. The result showed that the measurement error between beta ray method and gravimetric method are within  $-3 \sim 6\%$  in average, which means PM-10 concentration data with beta ray method are relatively comparable.

The current study also shows that the high PM-10 concentration events are mainly due to haze, Asian dust, and high relative humidity and the PM-10 mass concentration is closely related with relative humidity and precipitation events. Based on daily mean data, the PM-10 increases as relative humidity increases up to 70~80%, then decreases over 80% due to the precipitation. However, the distinct measurement discrepancy was not shown between beta ray method and gravimetric method based on current results. Consequently, this study shows that the collocated measurement in different instrument is essential in order to quantify the accuracy of PM-10. Furthermore, the more comprehensive and spatially distributed comparison is needed and this is remained for future study.

**Key words :** PM-10, Beta ray attenuation method, Gravimetric method, Inter comparison, Relative humidity

### 1. 서 론

미세먼지는 인체에 위해를 끼칠 수 있어 최근 그 위험성과 관리의 중요성이 증대되고 있다. 따라서 온

\*Corresponding author.

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

도, 습도 등 기상요인과 관련된 미세먼지(PM-10)의 측정방법에 대한 신뢰성 및 정확도에 대하여 많은 관심 및 논의가 진행되고 있다(Choi *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004; Kim, 2006).

특히, 우리나라 대기오염 측정망에서 PM-10 측정을 위해 공식적으로 사용하고 있는 베타선 흡수법에 의한 미세먼지 측정방법에 대하여, 습도의 영향에 의한 신뢰성 등에 문제가 제기된 바 있다(Tsai and Cheng, 1996; Chang *et al.*, 2001; Chang and Tsai, 2003). 베타선 흡수법은 미세입자에 의한 빛의 감쇄를 이용하여 이를 질량으로 환산한 간접적인 방법이므로, 미세먼지의 실제 질량과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 현재 공식적으로 사용하고 있는 베타선 흡수법에 의한 미세먼지 측정방법을 보완하고, 미세먼지 측정 자료에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 기초 연구가 필요하다.

Jung *et al.* (2007)은 2006년 가을 비교 실험결과를 중심으로 베타선 흡수법과 중량법 간 PM-10의 질량 농도를 비교한 바 있다. 그러나 측정기간이 3개월로 비교적 길었음에도 계절별, 월별 및 다양한 지역별 특성을 통하여 측정 오차를 분석하고 있는 외국의 연구사례에 비교하여 볼 때, 아직도 관련된 연구의 보완과 지속적인 검증이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 2006년 9월에서 2007년 8월까지 1년 여에 걸쳐 시행한 비교 실험결과를 바탕으로 미세먼지 측정 방법, 측정조건 및 측정장비 등 여러 다양한 조건에 따른 미세먼지 농도를 습도, 온도 등 기상 여건에 따라 비교 측정해 보고, 강수 및 강우 등의 사례(event)에 따른 측정방법별 농도의 차이를 분석하였다. 측정 자료는 고유량 포집기(High Volume Air Sampler)에 의한 중량법을 기준으로 하였으며 베타선 흡수법을 이용한 PM-10 측정장비와 고유량 포집기에 의한 중량법 측정장비를 비교하여 미세먼지의 측정오차를 습도별, 계절별, 월별 등의 다양한 조건에 따라 파악하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 미세먼지 농도의 오차 분석을 위하여 고유량 포집기(High Volume Air Sampler)와 2대의 베타선 흡수법 장비를 이용하여 PM-10의 중량농

도와 베타선 흡수법을 이용한 PM-10 농도 자료를 비교해 보았다. 측정은 인천 계양구 계산동에 위치한 경인여자대학(KIC) 본관 옥상에서 시료 채취 및 분석을 실시하여 비교 검토하였으며, 측정기간은 2006년 9월 1일부터 2007년 8월 30일까지 1년 여간 실시하였다. 베타선 흡수법 장비는 1시간 평균자료를 일평균 하였고, 중량법은 24시간에 한 번씩 질량을 측정하였으며, 일평균 자료를 기준으로 비교가능한 장비가 모두 운영되고 장비문제 및 기상 현황 등에 의하여 측정 시 발생한 여러 오류 등에 의하여 유의하지 않다고 판단된 자료를 제거한 실제 유효 자료 수 206개의 일평균 자료를 분석하였다. 비교 대상 베타선 흡수법 장비는 FH C-14(Thermo Inc., 미국, 이하 Anderson 장비)와 BAM 1020(Metone Inc., 미국, 이하 BAM 장비), 그리고 고유량 포집기에 의한 중량법 장비로는 TE-6070 PM-10(Thermo, 미국)을 사용하였다. 중량법에 의한 PM-10 농도는 샘플링 전후 24시간 항량 후 측정하였고, 유량보정을 주기적으로 실시하였다. 항량 후 필터의 습도는 40% 전후였다. 베타선 흡수법의 PM-10 질량농도 측정 시 가장 큰 문제로 제기되는 것은 주로 수분의 제어와 관련된 것으로 항량을 통하여 수분을 제거하는 중량법에 비하여, 베타선 흡수법은 실시간으로 입자의 농도를 측정하므로, 수분을 포함한 입자가 베타선 흡수법 장비에 유입될 경우 오차를 유발할 수 있다(Jung *et al.*, 2007). 이러한 문제점 해결을 위하여 주로 유입부(inlet)의 가운을 통하여 수분을 제어하는 방법을 많이 사용하고 있으며, 본 연구에서는 유입부를 40°C로 가온하여 수분에 의한 오차를 최소화하려 하였다.

기상조건은 측정지점에 설치된 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)를 이용하여, 풍향, 풍속, 온도 및 습도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 장비별 측정 비교 결과

그림 1은 측정기간 동안 고유량 포집기에 의하여 직접 측정된 PM-10의 중량농도와 베타선 흡수법의 농도를 비교한 것이다. 일평균 자료를 기준으로 하였을 때, 중량법과 베타선 흡수법 간의 측정 오차는 BAM 장비의 경우 1.0494, Anderson(FH C-14) 장비

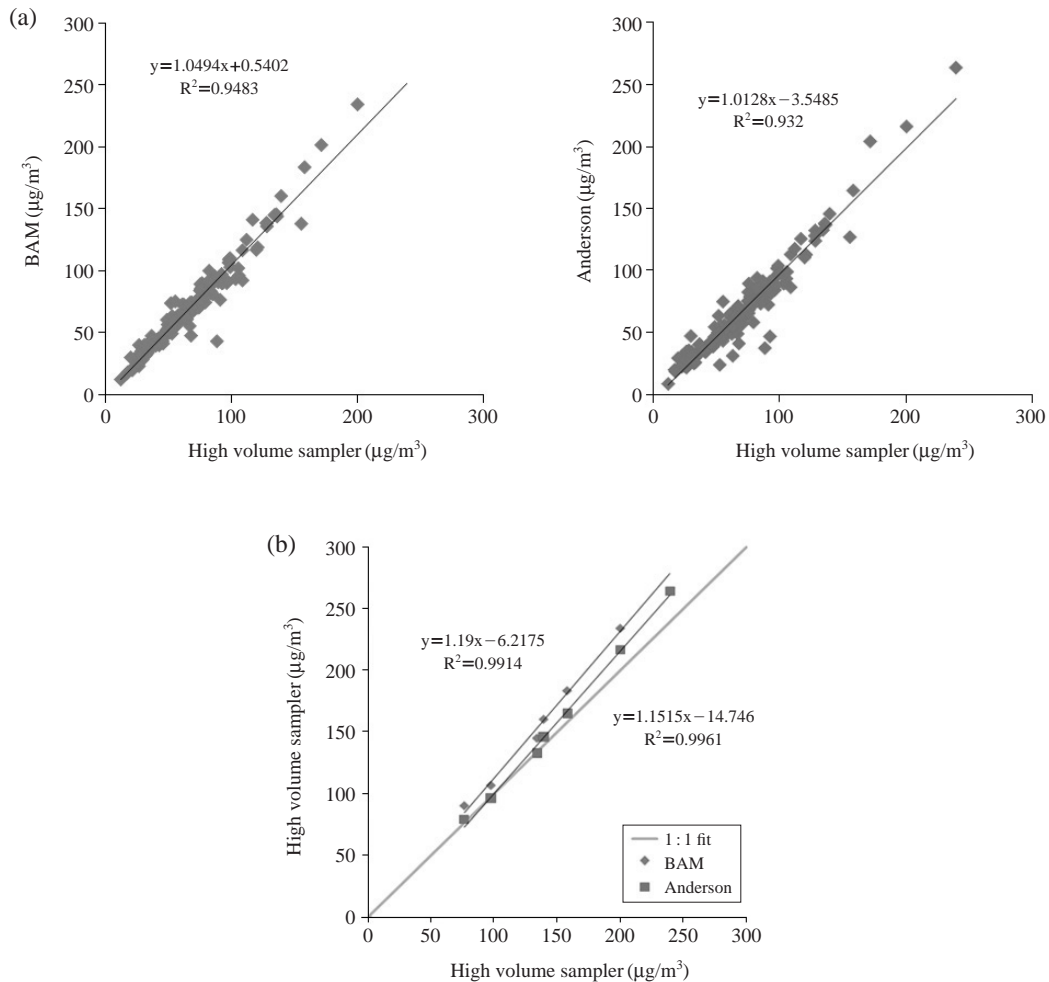


Figure 1. Comparison of the PM-10 mass concentration between high volume sampler and beta ray sampler (daily mean, (a): whole sampling periods, (b): Asian dust episodes).

의 경우 1.0128로 1~5% 정도의 오차범위를 갖는 것을 알 수 있다. 상관계수( $R^2$ ) 역시 0.932~0.9483으로 매우 높은 상관도를 갖고 있음을 알 수 있다. 이는 기존의 선행 연구결과와도 크게 벗어나지 않는 결과로서, 상관도와 기율기 등의 고려에 있어 중량법 측정장비와 베타선 흡수법 장비의 측정결과가 큰 오차를 보이고 있지 않음을 알 수 있다(Jung *et al.*, 2007). 측정기간 동안 발생한 황사시의 자료를 살펴보면 BAM 장비의 기율기가 1.19, Anderson 장비의 기율기가 1.1515으로 전체 측정기간의 자료보다 약 9.1~9.3% 정도 베타선 흡수법 장비의 농도가 높게

나오는 것을 알 수 있다. 이는 황사 시 입자의 조성에 의한 베타선 장비의 반응값에 의한 차이로 볼 수도 있으나, 보다 면밀한 검토를 위해서는 관련 사례에 대한 지속적인 측정자료의 축적이 필요하다.

그림 2는 본 연구에서 사용한 두 베타선 흡수법 측정장비(BAM 1020과 FH C-14)의 PM-10 농도에 대한 상관관계를 비교한 것이다. Y축의 값을 Anderson 장비이고, x축을 BAM 장비로 보았을 때 두 장비 간의 상관식은  $y=0.9554x-3.5465$ 를 보였다. 두 장비 간의 상관관계( $R^2$ )값이 0.9765로 매우 높은 상관관계를 갖는 것으로부터 비교측정을 통하여 베타선 흡

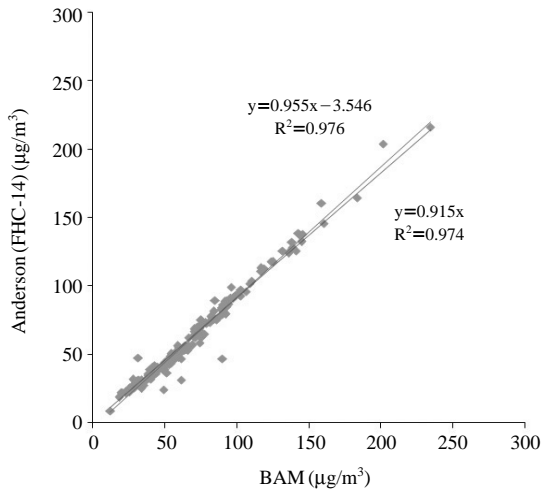


Figure 2. Comparison of the PM-10 mass concentration between two beta ray samplers (daily mean).

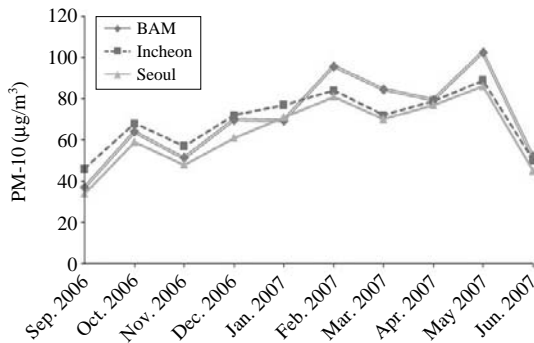


Figure 3. Comparison of the monthly PM-10 mass concentration in Seoul and Incheon.

수법의 장비 간 상관관계를 유의한 범위 내에서 도출할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2 월별 측정 비교 결과

본 연구에서는 측정장비 간 PM-10 질량농도의 차이가, 월별, 습도별로 어떤 차이가 있는지를 살펴보고, 황사 및 강수 등과 어떠한 관계를 가지고 있는지를 분석하고자 하였다. 그림 3은 측정기간 동안 경인여대 옥상에서 측정한 베타선 흡수법 장비의 월평균 PM-10 농도와 동일기간 대기오염 측정망에 의하여 측정된 전체 인천과 서울지역의 PM-10 월평균 농도 값의 변화를 비교해 본 것이다. 서울과 인천지역의

월평균 농도는 2006년 가을과 겨울에 절대치에 있어 일정정도 차이를 보이고 있으나 그 추이에 있어 비슷한 경향을 보이고 있으며 같은 기간 경인여대에서 측정한 농도 역시 2월과 5월에 다소 높은 농도를 보이고 있으나 전반적으로 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 측정기간 동안 인천지역의 경우 PM-10 농도가 서울지역보다 가을과 겨울 동안 상대적으로 높은 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 4는 측정기간 동안 중량법 (High volume air sampler) 농도와 두 대의 베타선 흡수법 장비 (BAM 1020; 이상 BAM, FH C-14; 이상 Anderson)의 월평균 PM-10 농도를 비교한 것이다. 농도의 절대치를 보았을 때, 봄철에 높은 농도를 보이고, 여름철에 낮은 농도를 보이고 있으며, 장비 간 PM-10 농도 역시 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 장비 간 오차의 뚜렷한 계절적 영향은 보이지 않는 것으로 보인다. 중량법을 기준으로 한 베타선 흡수법 장비의 질량농도 비를 계절별로 온도 변화와 함께 살펴보았을 때에도 온도의 변화에 의한 뚜렷한 측정방법별 오차를 발견할 수는 없었다.

그림 5는 월평균 농도를 기준으로 하였을 때, 베타선 흡수법과 중량법의 농도 상관관을 나타낸 것이다. 베타선 흡수법과 중량법의 상관관은 장비에 따라 각각 기울기 1.02 ( $R^2=0.9725$ , BAM)와 0.995 ( $R^2=0.969$ , Anderson)로 매우 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 따라서, 월평균 농도를 기준으로 비교하였을 경우 장비 간 PM-10의 농도는 비교적 잘 일치하는 것으로 보인다.

### 3.3 온습도에 따른 비교 결과

온도, 습도 등의 기상적 영향은 PM-10의 농도 및 장비의 특성에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Takahashi *et al.*, 2008). 대기중 입자는 황산염, 질산염, 암모늄 등의 이온성분 및 금속원소와 같은 무기물질, 유기물 그리고 수분으로 이루어져 있으며, 특히 수분은 입자의 질량과 크기를 변화시킨다. 입자가 수분을 흡수하는 정도는 입자를 구성하는 물질과 외부 환경에 밀접한 영향을 받는다 (Choi and Kim, 2004). 일반적으로 상대습도가 높을수록 흡습성 입자의 경우 주변의 수분을 흡수하여 입자의 크기는 성장하게 된다. 일반적으로 흡습성 에어로졸은 주위 기체의 수증기가 과포화인 조건에서 지속적인 입자 크

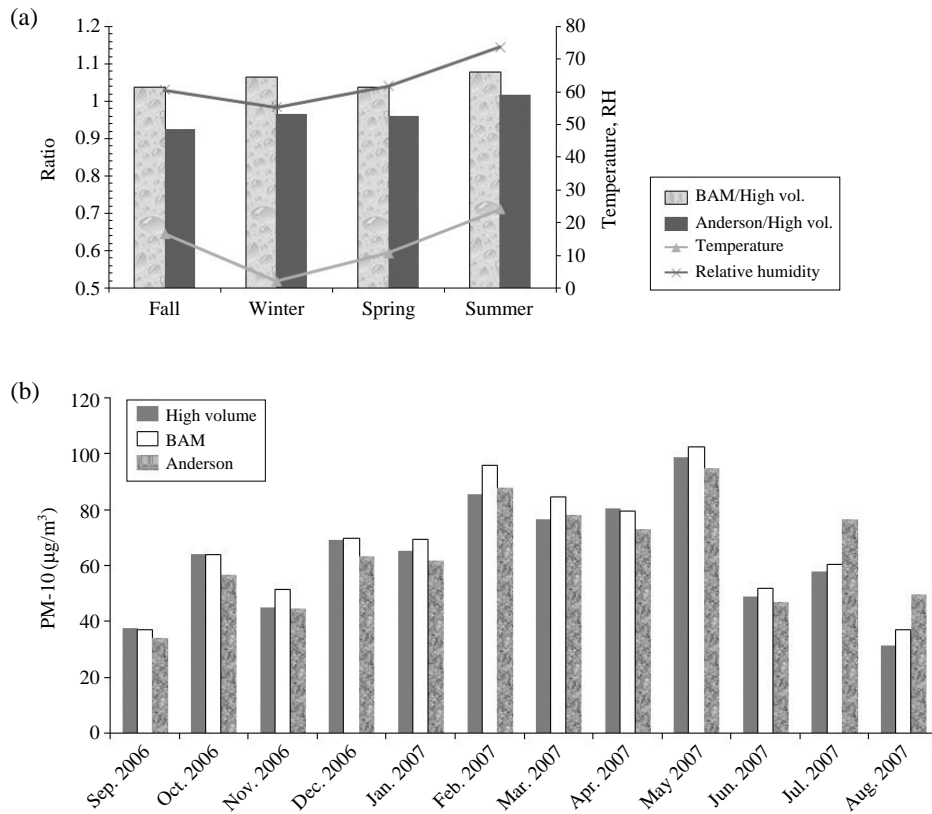


Figure 4. Comparison of the monthly and seasonal PM-10 mass concentration in different measurement instruments ((a): monthly variation, (b): seasonal variation).

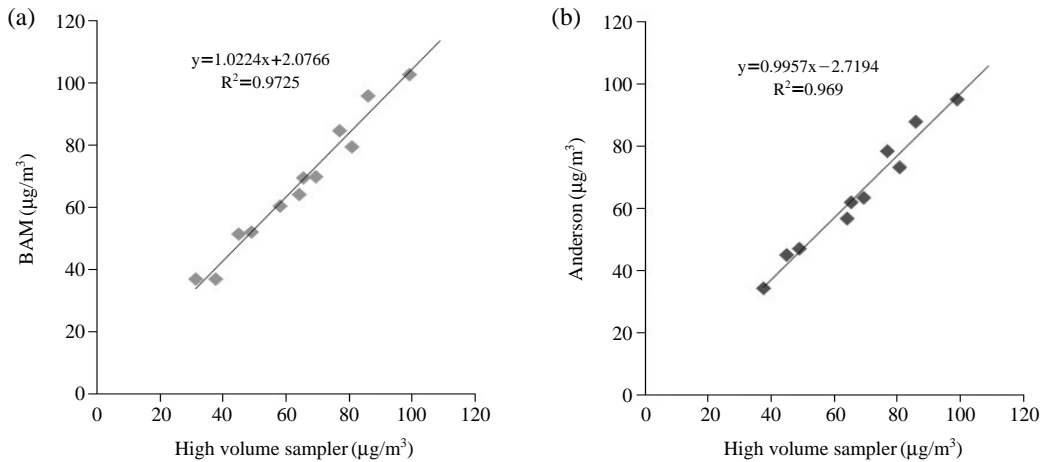


Figure 5. Comparison of the PM-10 mass concentration between high volume sampler and beta ray sampler (monthly mean).

**Table 1.** High PM-10 concentration events during sampling periods.

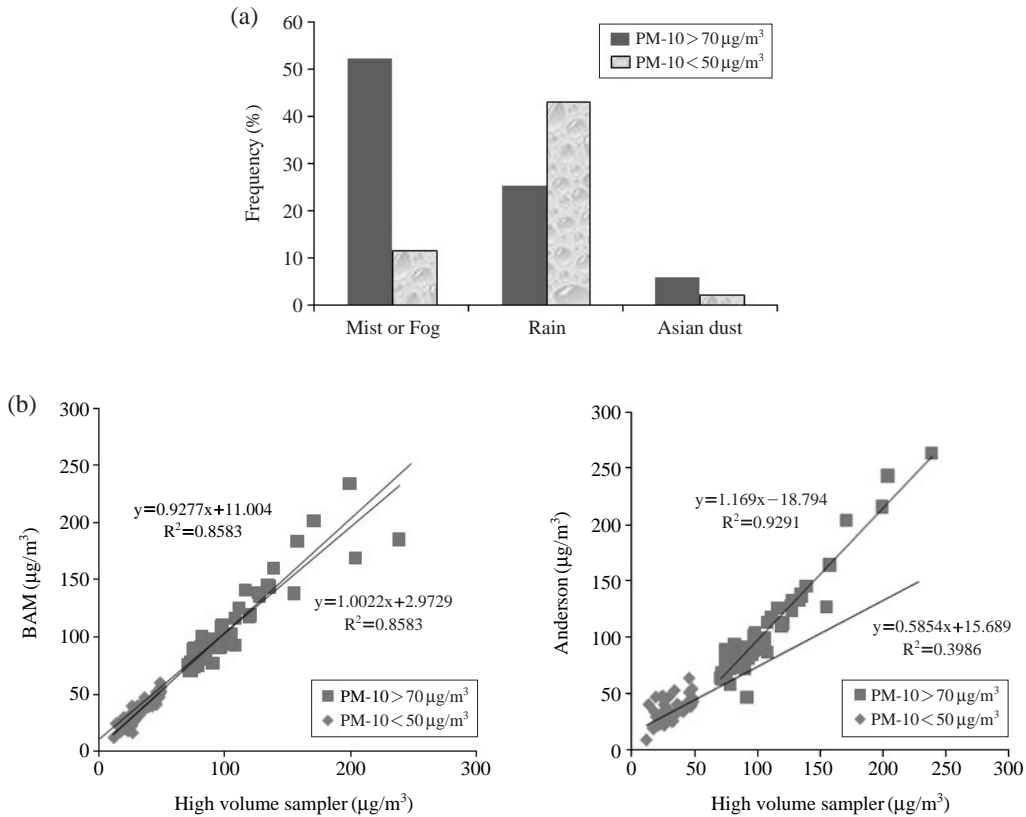
Sampling date	PM-10 concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Relative humidity	Events
2007.04.02	239	65%	Asian dust
2007.07.24	204	73%	Rain, Fog, Mist
2007.03.28	200	71%	Rain, Rain shower, Asian dust, Mist
2007.02.22	171	73%	Fog, Mist
2007.03.06	158	54%	Asian dust
2006.10.17	155	74%	Fog, Mist
2007.05.09	139	60%	Asian dust, Rain, Mist
2007.02.06	136	68%	Fog, Mist
2007.04.26	135	69%	Mist
2007.05.08	134	57%	Mist, Asian dust
2007.02.08	128	57%	Rain, Mist
2007.03.15	127	46%	Mist
2006.12.07	120	65%	Rain, Mist

기의 성장을 보인다. 이 경우 처음에는 수증기의 응축이 일어나지만 흡습성 성분의 농도가 희석됨에 따라 입자표면의 증기압이 주위 기체의 증기압과 같게 되면 평형크기에 도달하며 그 성장을 멈춘다(Park, 1998).

표 1은 측정기간 중의 일평균 농도  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 고농도 사례를 보여주고 있다. 표 1에서 보듯이, 고농도 사례는 주로 황사와 안개 및 박무에 의한

**Table 2.** Mean PM-10 concentration in different meteorological events during sampling periods.

Event	PM-10 concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (S.D.)	Relative humidity
Fog or mist	73 (35.03)	62%
Asian dust	161 (50.78)	36%
Normal days	54 (20.49)	58%



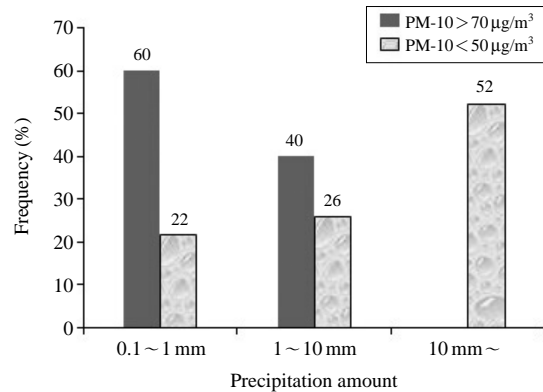
**Figure 6.** The frequency of the haze, rain and Asian dust during sampling periods.

**Table 3.** Monthly averaged PM-10 during sapling periods.

Year/ Monthly	High volume air sampler			BAM			Anderson		
	Mean	Median	S.D.	Mean	Median	S.D.	Mean	Median	S.D.
2006 Sep.	37.53	28.03	17.50	36.86	32.07	14.30	34.07	30.96	11.05
2006 Oct.	63.98	57.08	32.91	64.04	64.17	27.51	56.57	54.50	26.58
2006 Nov.	44.82	40.35	18.48	51.34	47.42	20.31	44.82	39.75	16.42
2006 Dec.	69.27	72.18	28.84	69.74	66.39	27.77	63.30	62.31	28.33
2007 Jan.	65.29	56.34	23.17	69.39	57.17	25.43	61.82	51.63	26.78
2007 Feb.	85.76	74.51	37.48	95.73	84.01	43.32	87.80	75.65	44.61
2007 Mar.	76.73	71.51	45.59	84.56	72.65	53.88	78.30	67.83	49.22
2007 Apr.	80.65	66.30	47.10	79.36	72.74	36.66	73.10	62.54	55.40
2007 May	98.85	98.64	32.37	102.57	102.12	37.18	94.98	93.62	34.36
2007 Jun.	48.86	48.28	18.69	51.97	51.03	15.36	46.86	43.99	15.52
2007 Jul.	57.90	49.88	43.82	60.32	55.20	37.73	76.76	68.42	58.60
2007 Aug.	31.18	24.07	21.95	36.85	28.35	20.47	49.76	47.33	16.46

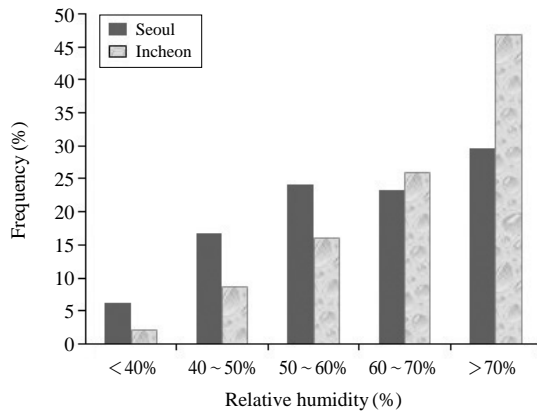
것임을 알 수 있다. 이는 안개 및 박무 발생일에 증가한 습도에 의해 입자가 성장하고 이에 의해 미세 먼지의 농도가 상대적으로 증가한 것으로 해석할 수 있다. 표 2는 측정기간 전체의 Fog 및 Mist 발생일과 황사 발생일의 평균 농도와 상대습도 그리고 표준편차를 보여주고 있다. 표 2에서 보듯이 이들 안개 및 박무 발생일의 경우 평균 농도가 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정기간 동안 황사, 안개 및 박무 발생일을 제외한 PM-10의 평균 농도 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 수준임을 알 수 있다.

안개(Fog) 및 박무(Mist), 황사, 강수 등이 미세먼지의 농도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 농도 구간별 빈도를 조사하였다. 그림 6은 그림 측정기간 동안의 농도 구간별 안개 및 박무, 비, 황사의 발생 빈도를 나타낸 것이다. 안개 및 박무, 강수, 황사의 발생일은 기상청의 인천지역 기상자료를 이용하였고, 안개 및 박무와 강수가 동시에 발생한 날에 대해서는 강수 발생 빈도로 처리하였다. PM-10 농도가 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 고농도 구간의 경우 안개 및 박무 발생 빈도가 52%에 달하는데 비해, 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하인 경우는 12%에 불과했다. 반면 강수 발생 빈도는 고농도인 경우 25%에 머물렀으나 저농도 구간인 경우 43%에 해당되는 빈도로 강수가 발생한 것을 알 수 있다. 이는 강수에 의한 세정작용에 의해 PM-10의 농도가 감소한 것으로 해석할 수 있다. 강수가 발생한 날 중에서도 PM-10의 고농도 사례가 발생한 경우에 대해서는 강수량의 영향이 지배적일 것으로 사료된다. 즉, 약한 강수가 내리는 경우 입자의 세정작



**Figure 7.** Frequency of the PM-10 mass concentration according to the rain intensity.

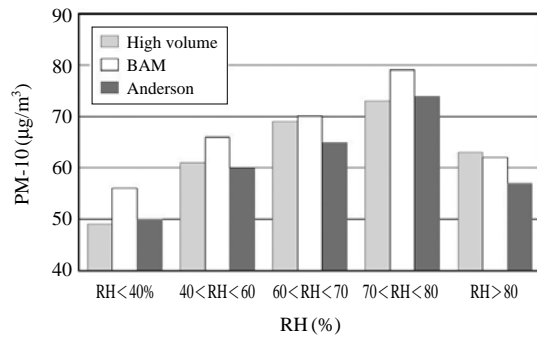
용이 상대적으로 미약한 반면, 증가한 습도로 인한 PM-10 농도의 증가가 예상되기 때문이다. 이를 좀더 살펴보기 위하여 그림 7에서는 강수 강도를 0.1 ~ 1 mm, 1 ~ 10 mm, 10 mm 이상으로 나누고 입자의 농도 구간별 발생 빈도를 살펴보았다. 강수일 중 PM-10의 일평균 농도가 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 사례의 경우는 대부분 강수량이 0.1 ~ 1 mm 사이의 약한 강수에 집중적인 것을 알 수 있다. 반면, 10 mm 이상의 강수가 온 경우 고농도가 발생한 사례는 한 경우도 없었다. 반면, 입자의 강수강도가 증가할수록 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 저농도 사례는 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 입자의 세정작용이 강수강도와 밀접한 연관을 갖고 있음을 보여주는 것이다. 물론 입자의 세정작용은 강수



**Figure 8.** Comparison of the relative humidity frequency in Seoul and Incheon.

강도 이외에 입자 및 빗방울의 크기분포와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 보다 정확한 강수와 입자농도와의 관계를 파악하기 위해서는 이들에 대한 분석이 필요하다(Jung *et al.*, 2003; Bae *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2007). 그러나, 현실적으로 입자 및 빗방울의 분포에 관련한 정보를 측정 등에 의하여 동시에 얻는 것이 용이하지 않으므로, 일반적으로 강수강도와 입자의 질량농도와의 관계를 통해 세정의 영향을 유추할 수 있다. 습도에 의한 PM-10의 농도의 관계를 보다 정밀하게 살펴보기 위하여, 습도별 빈도를 인천지역과 서울지역 그리고 측정지점인 경인여자대학(KIC)에 대하여 비교해 보면(그림 8), 먼저 서울지역의 상대습도 70% 이상의 빈도는 측정기간의 31%인데 비해 인천지역이 상대습도 70% 이상의 습도 발생 빈도는 47%로 인천지역의 고습도 발생 빈도가 서울지역에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다. 이와 같이 고습도의 빈도가 서울지역에 비해 인천지역이 높은 것으로 볼 때, 인천지역의 농도가 서울지역에 비해 높은 이유 중 하나로 습도에 의한 영향이 고려되어야 함을 알 수 있다. 여기서 서울과 인천지역의 상대습도는 기상청의 자료를 이용하였다.

습도별 PM-10 농도를 살펴보면 그림 9와 마찬가지로 상대습도가 약 80%까지는 습도가 증가할수록 PM-10의 농도가 증가하는 경향을 보이다 80% 이상의 습도에서 급격히 PM-10 농도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 베타선 흡수법과 중량법 장비 모두에서 공히 같은 경향을 보였다. 이는 강수에 의한 세



**Figure 9.** The change of the PM-10 mass concentration according to the relative humidity.

정작용의 영향에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉, 80% 이상의 고습도일의 경우 강수일이 상당수 포함되므로 이에 의한 세정작용에 의해 PM-10의 농도가 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 그림 9에서의 구분한 습도는 일평균습도를 기준으로 하였다. 습도에 따라, 측정 방식 및 장비 간 농도에 있어 차이를 보일 수 있는지 알아보기 위하여, 습도에 따른 베타선 흡수법과 중량법간 측정방법에 따른 농도를 비교해 보았다(그림 10). 중량법 농도를 x축으로 하였을 때 베타선 흡수법의 상관을 보여주는 기울기는 습도에 따라, 0.8554~1.0702 (BAM 장비), 0.8047~1.0455 (Anderson 장비)로 BAM 장비가 Anderson 장비에 비해 약간 높은 농도를 보이고 있으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 습도의 변화에 따른 기울기 역시 뚜렷한 증가세나 감소세를 보이지 않고 있는 것으로 보아, 본 측정 결과에서는 습도에 따른 측정장비 간 차이를 발견할 수 없었다. 다만 상대습도 70~80% 구간을 제외하면 두 베타선 흡수법 장비 모두 습도가 증가할수록 기울기가 약간씩 감소하는 경향을 보이고 있다. 이에 대해서는 유입부의 가온에 의한 수분의 영향 등을 고려해 볼 수 있겠으나 측정오차의 범위 등을 고려해 볼 때 본 연구의 결과만으로 결론을 내리기는 힘들므로 보다 면밀한 습도별 영향에 대한 분석 및 측정이 요구된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 베타선 흡수법과 중량법 등 측정방법에 따른 PM-10 농도의 차이를 장기간의 비교실험



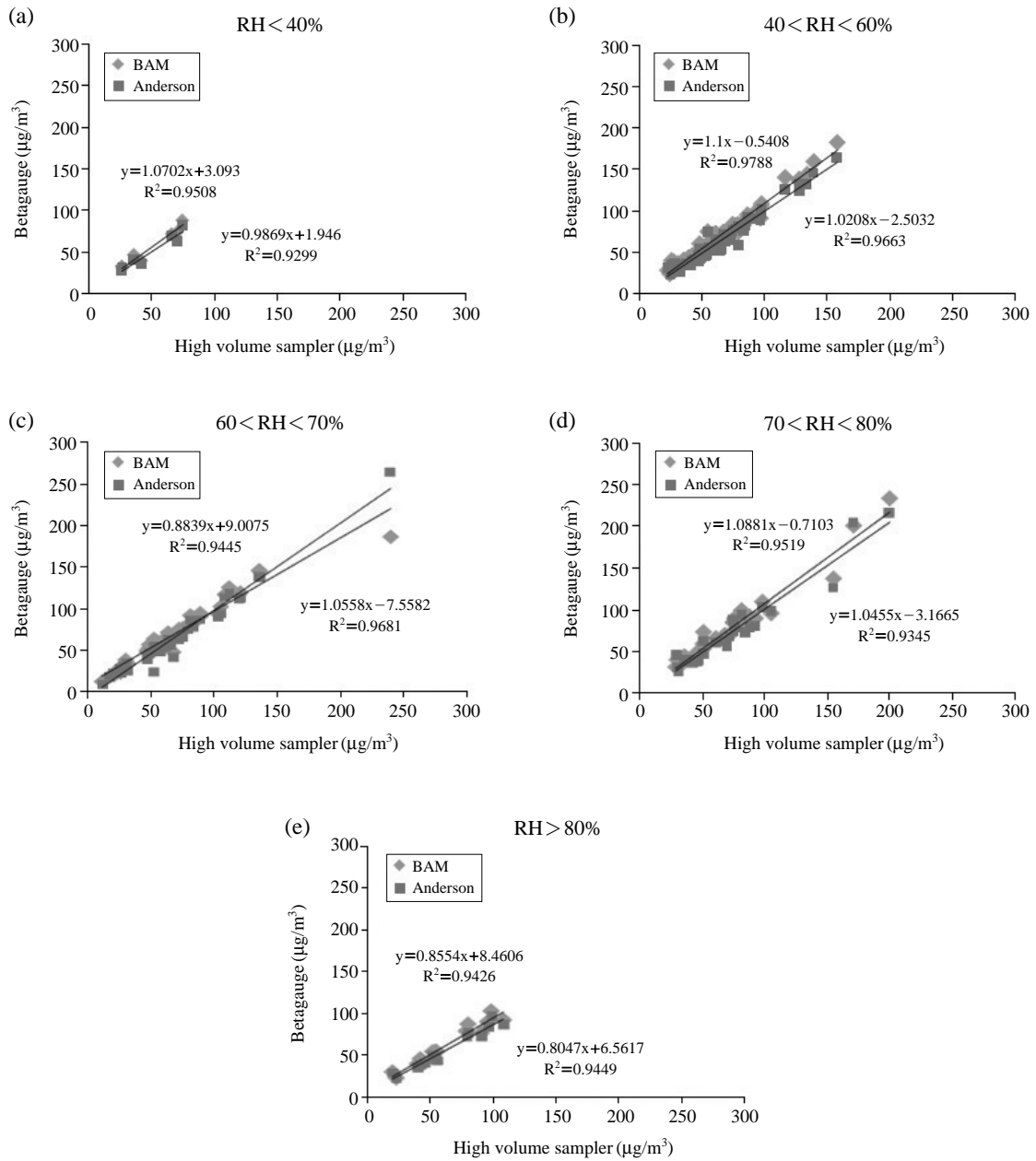


Figure 10. Comparison of the PM-10 mass concentration between high volume sampler and beta ray sampler according to the relative humidity.

을 통하여 분석하여 보았다. 일반적으로 베타선 흡수법은 입자가 베타선에 의해 감쇄되는 원리를 이용하여 입자의 농도를 유추하는 간접적인 방법이므로, 입자의 질량을 직접 측정하는 중량법과는 측정원리가

상이함으로 인해 오차가 발생할 수 있다. 특히, 수분이나 화학 성분 등 입자의 특성에 의해 상이한 결과를 보일 수 있으므로, 지역 및 기상조건에 따라 민감할 가능성이 있다. 본 연구에서, 측정된 결과에 의하

면, 측정방법 간의 오차는 -3~6% 정도의 오차로 측정방법 간 오차는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 이는 1차 회귀식에 의한 결과로서 일종의 평균적 의미에서의 상관성이 높음을 의미하므로, 고농도 사례나 황사 등 다양한 기상사례에 대한 집중적인 오차관련 분석이 필요하다. 이를 위해서는 보다 장기간의 지속적인 비교 측정이 요구된다.

또한 지역에 따른 다양한 차이를 보이기 위해서는 여러 지역에 걸친 동시 다발적인 비교 실험이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 또한, 일 자료를 중심으로 습도에 따른 미세먼지 농도의 변화경향을 살펴볼 경우, 미세먼지의 농도가 습도와 매우 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다. 즉, 습도가 높을수록 미세먼지의 농도가 증가하다가 일정 습도 이상에서는 감소하게 되는데 이는 강수에 의한 세정작용의 영향 때문인 것으로 사료된다. 습도에 따른 장비 간 상관관계 및 기울기를 살펴보았을 때에, 습도에 따른 뚜렷한 장비 간 오차의 경향을 보이지 않았다. 이는 베타산 흡수법 장비의 경우 유입부의 가온으로 인한 수분의 제거로 장비 간 오차의 원인이 상당부분 제거되었음을 보여준다. 그러나, 유입부의 가온은 휘발성 물질의 증발을 유발시킬수 있으므로, 이에 대한 보다 이론적 연구가 필요하다. 또한 본 연구의 결과는 일변화에 따른 자료를 바탕으로 하였다. 따라서 미세먼지 농도 변화 경향과 급격한 습도 변화가 미세먼지 농도에 미치는 영향을 파악하는 데 어려움이 있다. 향후, 습도 변화에 따른 미세먼지 농도의 변화 경향과악과 상관성 분석을 위해서는 시간별 자료를 중심으로 습도와 미세먼지 농도의 변화 경향을 파악하는 것이 필요하다. 또한 향후 PM-2.5으로 환경기준이 추가될 예정이므로 이와 관련한 비교실험 및 PM-10과의 영향에 관련한 보다 면밀한 분석이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- Bae, S.Y., Jung, C.H., and Kim, Y.P. (2006). Development and evaluation of an expression for polydisperse particle scavenging coefficient for the below-cloud scavenging as a function of rain intensity using the moment method, *Journal of Aerosol Science*, 37(11), 1507-1519.
- Chang, C.T., and Tsai, C.J. (2003). A model for the relative humidity effect on the readings of the PM-10 beta-gauge monitor, *Journal of Aerosol Science*, 34, 1685-1697.
- Chang, C.T., Tsai, C.J., Lee, C.T., Chang, S.Y., Cheng, M.T., and Chein, H.M. (2001). Differences in PM-10 concentrations measured by beta gauge monitor and high-vol sampler, *Atmospheric Environment*, 35, 5741-5748.
- Choi, B.C., Cha, J.W., Park, K.J., Choi, J.C., and Ahn, J.U. (2004). Characteristics on the automatic PM-10 analyzers of different measuring method and analysis of the observation data of the analyzers, *Proceeding of the 38rd Meeting of KOSAE*, pp. 61-63.
- Choi, E.K., and Kim, Y.P. (2004). Major factors affecting PM<sub>2.5</sub> water content in Seoul and Gosan, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(6), 803-810.
- Jung, C.H., Cho, Y.S., Hwang, S.M., Jung, Y.G., Ryu, J.C., and Shin, D.S. (2007). Analysis of measurement error for PM-10 mass concentration by inter-comparison study, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 23(6), 689-698.
- Jung, C.H., Kim, Y.P., and Lee, K.W. (2003). A moment model for simulating raindrop scavenging of aerosols, *Journal of Aerosol Science*, 34(9), 1217-1233.
- Kim, H.H., Lee, J.Y., Ryu, S.Y., and Kim, Y.J. (2004). Development of Calibrator for PM<sub>(10)</sub> Beta Gauge Monitor, *Proceeding of the 38rd Meeting of KOSAE*, pp. 126-127.
- Kim, J., Jung, C.H., Choi, B.C., Oh, S.N., Brechtel, F.J., Yoon, S.C., and Kim, S.W. (2007). Number size distribution of atmospheric aerosols during ACE-Asia dust and precipitation events, *Atmospheric Environment*, 41, 4841-4855.
- Kim, J.G. (2006). Automatic sample conditioning system on PM<sub>10</sub> beta gauge, *Proceeding of the 43rd Meeting of KOSAE*, pp. 193-195.
- Park, J.W. (1998). The effect of steam condensation on the behavior of an hygroscopic aerosol, *Journal of Research Institute of Advanced Technology*, 9(1), 55-63.
- Katsuyuki, T.K., Hiroaki, M.R., and Kazuhiko, S.K. (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter, *Atmospheric Environment*, 42, 5232-5240.
- Tsai, C.J., and Cheng, Y.H. (1996) Comparison of two ambient beta gauge PM-10 samplers, *JAWM & A*, 46, 142-147.