

연구논문

제주도 고산 측정소의 미세먼지 측정방법에 따른 질량농도 비교

신소은* · 김용표* · 강창희**

이화여자대학교 환경공학과*, 제주대학교 화학과**

(2010년 5월 11일 접수, 2010년 8월 11일 승인)

Comparison of the PM10 Concentration in Different Measurement Methods at Gosan Site in Jeju Island

So Eun Shin* · Yong Pyo Kim* · Chang-Hee Kang**

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University*

Department of Chemistry, Jeju National University**

(Manuscript received 11 May 2010; accepted 11 August 2010)

Abstract

The reliability of the measurement of ambient trace species is an important issue, especially, in background area such as Gosan in Jeju Island. In a previous episodic study, it was suggested that the PM10 measurement result by the gravimetric method(GMM) was not in agreement with the result by the β -ray absorption method(BAM). In this study, a systematic comparison was carried out for the data between 2001 and 2008 at Gosan(GMM and BAM) and Jeju city (BAM) which is near to Gosan. It was found that at Gosan the PM10 concentration by BAM was higher than GMM and the correlation between them was low. The BAM results at Gosan and Jeju city showed similar trend implying the discrepancy at Gosan was not caused by instrumental problem of the BAM at Gosan. Based on the previous studies two probable reasons for the discrepancy are identified; (1) negative measurement error by the evaporation of volatile ambient species at the filter in GMM such as nitrate and ammonium and (2) positive error by the absorption of water vapor during measurement in BAM. There was no heater at the inlet of BAM at Gosan during the sampling period. Based on the size-segregated measurement data, it was identified that the evaporation error was minor, if any. The relationship between the two methods did not vary with the ambient relative humidity. Thus, at present, it is not clear why the discrepancy had been occurring and when using the PM10 data at Gosan, one should be aware the possible errors.

Keywords : PM10, β -ray absorption method, gravimetric method, relative humidity, evaporation error

1. 서론

동북아시아는 지리적으로 인접하여 동일한 환경권을 형성하고 있어 지역 내 각 국가에서 발생한 대기오염물질은 인접국가에 직접, 간접적으로 영향을 미칠 수 있다. 제주도 고산 측정소는 한반도, 중국 대륙, 일본의 경계지역에 있고 자체오염물질의 배출량이 적어 대기오염물질의 지역 이동에 대한 과학적인 연구 수행에 적합하다(그림 1). 고산측정소는 제주도의 서쪽 끝 지점인 제주도 북제주군 한경면 고산리 수월봉(북위 33° 17', 동경 126° 10')에 위치하고 있고, 측정소는 바다와 인접해 있으면서 해발고도가 약 78 m 인 언덕 위에 위치하고 있다. 인위적인 오염원의 영향을 비교적 적게 받는 제주도에서도 가장 청정한 지역에 속하며 한반도의 서쪽에 위치해 있어 중국에서 이동되어오는 오염물질의 모니터링에 적합하다(Arimoto *et al.*, 2006). 또한 우리나라 국가 배경 측정망 6곳 중 하나로 고산 측정소에서 측정된 입자의 질량, 화학성분 농도는 우리나라 정책 수립뿐 아니라 중국, 일본과의 협력관계를 갖추는데 중요한 자료로 쓰이기 때문에 무엇보다 측정 자료의 신뢰성이 요구된다. 고산 측정소는 1992년 2월 설치되어 다양한 대기오염물질이 장기간 관측되고 있다(Park *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2009). 그 가운데 하나는 여과지를 이용한 중량측정법으로 PM_{2.5}와 PM₁₀농도를 측정하는 것이다. 또한 2001년 1월부터는 고산 측정소에 국가배경측정망이 설치되어 베타선 흡수법으로 PM₁₀농도를 측정하고 있다.

2005년 10월과 2006년 1월, 4월의 미세먼지 측

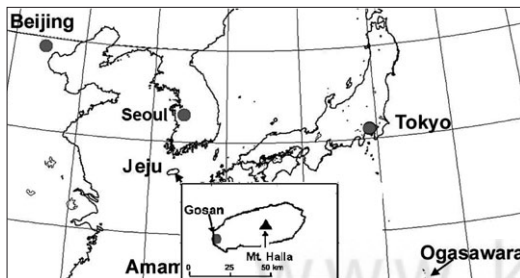


Fig 1. The location of Gosan site in Jeju island

정결과 중량분석법으로 측정된 질량농도와 국가 배경 측정망에서 베타선 흡수법으로 측정된 질량농도가 큰 차이를 보였다(국립환경과학원, 2006). 측정기간 동안 베타선 흡수법을 이용한 자료의 평균은 46.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 중량분석법의 질량농도의 평균은 23.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 중량분석법이 더 낮은 농도를 나타내고 있다. 또한 두 방법에서의 측정 수치간의 상관계수(r)는 0.78로 나타났다. 따라서 측정오차를 발생시키는 요인이 어떤 것인지 밝히는 것이 중요하다. 예를 들어 여러 연구에서 고산에서의 미세먼지 농도 값이 모델링 자료로 사용되고, 때문에 측정값의 신뢰성이 의문시 된다면 결과의 검증에 대한 재해석이 필요하다. 따라서 보다 장기간인 2001년 5월부터 2008년 6월까지의 측정 자료를 이용하여 두 방법의 차이를 분석하고, 측정방법에 따른 질량농도의 차이가 있다면 이러한 측정오차가 발생하는 원인에 대해 알아보는 것이 이 연구의 목표이다.

II. 분석 자료

우리나라는 전국적으로 대기오염측정망을 설치하여 PM₁₀ 농도를 측정하고 있다. 대기오염측정망에서 공식적으로 사용하는 측정방법은 베타선 흡수법을 이용한 측정법(β -ray absorption method, BAM)으로 대기 중에 부유하고 있는 직경 10 μm 이하의 입자를 분당 16.7 L의 유량으로 1시간 동안 여과지 위에 채취하여 베타선을 투과시켜 조사된 베타선이 여과지 위의 입자를 통과할 때 흡수·소멸되는 베타선의 차로써 질량농도를 측정하는 방법이다. 매 시간 입자에 대한 관측이 자동적으로 측정되어 노동력이 적게 든다는 장점이 있는 반면에 여과지 위에 쌓이는 입자의 질량을 직접 측정하기 때문에 먼지가 흡수하는 수분에 의한 측정 오차가 발생할 수 있다. 따라서 정부에서는 공기유입부에 가열기를 설치하여 수분에 의한 오차를 줄이는 노력을 진행하고 있다. 이에 비해 중량분석법(Gravimetric method, GMM)은 여과지를 이용하여 시료채취 전후에 48시간동안 일정한 온도, 습도 조건에서 항량 시킨(수분

이 많은 경우 96시간) 여과지를 이용하여 1일 단위로 시료를 채취하고 측정 전과 후의 질량 차와 측정 유량을 이용하여 입자의 질량농도를 계산한다(국립환경과학원, 2007). 정창훈 등(2007, 2009)이 인천에서 수행한 연구결과에 따르면 중량분석법과 베타선 흡수법은 거의 같은 결과를 보이고 있으며 상관계수(r)도 0.98로 매우 높았다. 또한 고산과 마찬가지로 해안가에 위치한 국가 배경농도측정소인 백령도에서도 2009년 1~10월 베타선 흡수법과 중량분석법 측정자료의 계절별 상관성 분석결과 상관계수(r)가 0.95로 높은 수준으로 나타났다(공부주 등, 2010). 하지만 이는 베타선 흡수법에 유입부 가온이 이루어져 앞에서 언급한 베타선 흡수법의 대기 중 수분 오차를 보완하였기 때문이다.

고산에서 중량분석법으로 채취한 질량농도와 베타선 흡수법의 측정값이 차이를 나타내는지 비교하기 위한 대상 기간은 두 측정이 동시에 이루어진 2001년 5월부터 2008년 6월까지이다. 고산의 베타선 흡수법은 2008년 7월부터 유입부 가온이 실시 되었으므로(영산강유역환경청, 개인 교신), 2008년 6월까지의 자료에는 습도에 의한 영향이 포함되어 있을 것이다.

고산에서의 중량분석법을 이용한 미세먼지 측정은 10 μm 이하의 입자를 채취할 수 있는 테플론으로 코팅 된 알루미늄 사이클론식 분립장치(URG-2000-30EH), 테플론 재질의 필터백(Sarvillex-6T-473-4N), 채취 유량을 분당 16.7 L로 조절하도록 설계된 임계 오리피스(critical orifice, BGI-SO-10), 그리고 1/2마력 진공펌프(Dayton model 42339)로 구성된 저유량 측정기를 이용하여 측정되었다(이종훈, 1999). 중량분석법으로 측정된 미세먼지 질량농도는 정도관리를 통하여 음이온 함에 대한 양이온 함의 당량 농도 비가 30%이상 차이 나는 자료를 제외하였다(Park *et al.*, 2004). 베타선 흡수법은 분당 16.7 L로 채취한 1시간 평균값으로부터 24시간 평균을 산출하였다. 두 방법의 측정이 일치하는 날의 총 216개의 측정자료를 통해 베타선 흡수법과 중량분석법의 질량 농도를 비교하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

그림 2는 중량분석법과 베타선 흡수법의 측정값을 비교한 것이다. 상관관계를 관찰한 결과 두 측정값은 인천에서의 선행연구결과와 비교하여 상관계수(r)가 0.57로 낮은 상관관계를 갖는다. 또한 절편값이 17.86으로 높아 베타선 흡수법이 중량분석법을 사용한 결과보다 높다는 것을 알 수 있다.

표 1은 베타선 흡수법과 중량분석법으로 측정된 자료에 대한 각각의 연도별 평균 농도, 표준편차, 분석 자료 개수이다. 베타선 흡수법이 중량분석법보다 높은 농도를 나타내며 측정오차의 시간에 따른 변화는 찾아 볼 수 없었다. 2002, 2003, 2006, 2007년은 오차가 100%에 가까울 정도로 베타선 흡수법이 중량분석법보다 큰 농도를 나타낸다. 두 집단의 평균농도의 차이가 통계적으로 유의한지 t검정을 통해 알 수 있다. 동시에 측정된 날의 측정자료를 비교하기 때문에 분석개수가 같아 대응표본 t검정(쌍체비교)을 실시할 수 있다. 신뢰수준 95%에서 베타선 흡수법과 중량분석법의 평균농도는 다르게 나타났다.

이처럼 고산에서의 베타선 흡수법에 의한 측정값이 중량분석법보다 훨씬 높은 농도를 나타내고 두 집단간 평균이 다르게 나타났기 때문에 측정값의

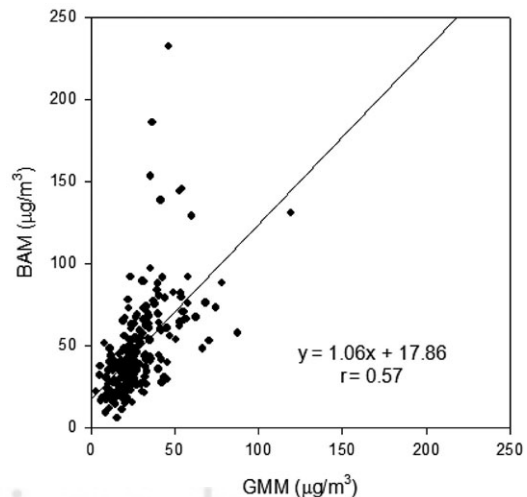


Fig 2. Comparison of the PM10 concentrations between BAM and GMM at Gosan

Table 1. Comparison of the statistical value of the PM10 concentrations measured at Gosan

| (a) β -ray absorption method | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Year | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 35.45 | 54.15 | 45.77 | 42.98 | 62.81 | 58.73 | 46.05 | 58.43 |
| S.D. | 17.41 | 47.83 | 19.6 | 24.5 | 21.56 | 30.1 | 17.62 | 23.84 |
| N | 28 | 43 | 29 | 38 | 3 | 20 | 34 | 21 |
| (b) Gravimetric method | | | | | | | | |
| Year | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 26.88 | 27.93 | 21.52 | 32.02 | 35.87 | 28.91 | 21.58 | 46.87 |
| S.D. | 17.4 | 13.31 | 12.47 | 11.58 | 15.35 | 13.43 | 8.22 | 24.97 |
| N | 28 | 43 | 29 | 38 | 3 | 20 | 34 | 21 |

신뢰성에 대한 검증이 필요하다. 측정오차는 베타선 흡수법에서 발생하는 것과 중량분석법에서 발생할 가능성, 두 측정법 모두 발생할 가능성이 있다. 이 중 고산의 베타선 흡수법에 의한 측정값의 신뢰성을 확인하기 위해 고산과 인접해있는 제주도 이도동의 도시대기측정소의 베타선 흡수법에 의한 측정값과 비교하였다. 이도동은 도시대기측정망으로 국가배경측정망인 고산과 차이가 있지만 고산과 제주시의 거리가 40 km 정도이므로 장거리 이동 관점에서는 같은 영향권으로 생각할 수 있다. 따라서 고산에서 측정한 베타선 흡수법과 농도 추이가 비슷하게 나타난다면 고산의 베타선 흡수법의 측정 결과에 대한 신뢰성이 커질 수 있다.

이도동의 베타선 흡수법 측정자료는 유입부 가온이 2003년 3~5월 중에 실시되어(제주도 보건환경연구원, 개인 교신) 고산과 이도동 두 곳 모두 유입부를 가온하지 않은 자료와(2001년 5월~2002년 12월), 이도동에만 유입부 가온이 실시된 자료로(2003년 4월~2008년 6월) 나누어 살펴보았다. 두 곳 모두 유입부 가온이 이루어지지 않았을 때 고산과 이도동의 평균은 대응표본 t 검정(쌍체비교)을 통해 95% 신뢰구간에서 같았고, 마찬가지로 쌍체비교를 통해 이도동만 유입부를 가온한 기간에는 두 집단의 평균이 다른 것으로 나타났다. 이도동이 도시대기측정망이기 때문에 국가배경측정망인 고산과의 차이가 있음에도 두 곳 모두 유입부 가온이 실시되지 않은 기간에는 이도동과 고산의 평균농도가 같은 것으로 나타나 유입부 가온 여부가 두 집단

의 농도 차이에 영향을 주었다고 할 수 있다.

이도동에만 유입부 가온이 실시된 기간(2003년 4월~2008년 6월)의 상관성을 비교한 그림 3을 보면 고산과 이도동의 베타선 흡수법 측정값 사이의 상관관계는 고산의 기기별간의 상관관계보다 좋은 것으로 나타났다. 즉 고산과 이도동의 측정값의 추이는 비슷하게 나타나 고산의 베타선 흡수법에서의 측정 오차가 존재 한다면 측정기기의 오작동에 인한 오차는 아닐 것이다.

그렇다면 이러한 측정오차가 발생하는 원인은 무엇일까. 주목할 점은 베타선 흡수법이 중량분석법으로 측정한 농도보다 높게 측정되었다는 것이다. 고산의 총 216일의 측정 자료 중 189개(87.5%)가 베타선 흡수법이 중량분석법보다 높은 농도를 나타낸다. 때문에 중량분석법에서의 음의 오차 또는 베타선 흡수법에서의 양의 오차를 생각해 볼 수 있다.

Katsuyuki 등(2008)은 도쿄에서 1997년 4월~2004년 3월까지 7년 동안의 베타선 흡수법의 농도와 중량분석농도를 비교하였다. 여름철 베타선 흡수법이 중량분석법보다 높은 농도를 나타내는데, 이들은 이를 중량분석법에서의 음의 오차와 베타선 흡수법에서의 양의 오차로 설명하였다. 2차 무기애어로졸의 대부분을 차지하고 있는 NH_4NO_3 , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 중에서 여름철 고온의 영향으로 NH_4NO_3 , NH_4Cl 입자가 중량분석법의 여과시상에서 휘발의 가능성이 있는데, 이들은 이를 입증하기 위해 14일 동안 하나의 여과지로 채취한 이온농도와 날마다 채취한 14일을 일평균한 농도를 비교하였다. 여름철의

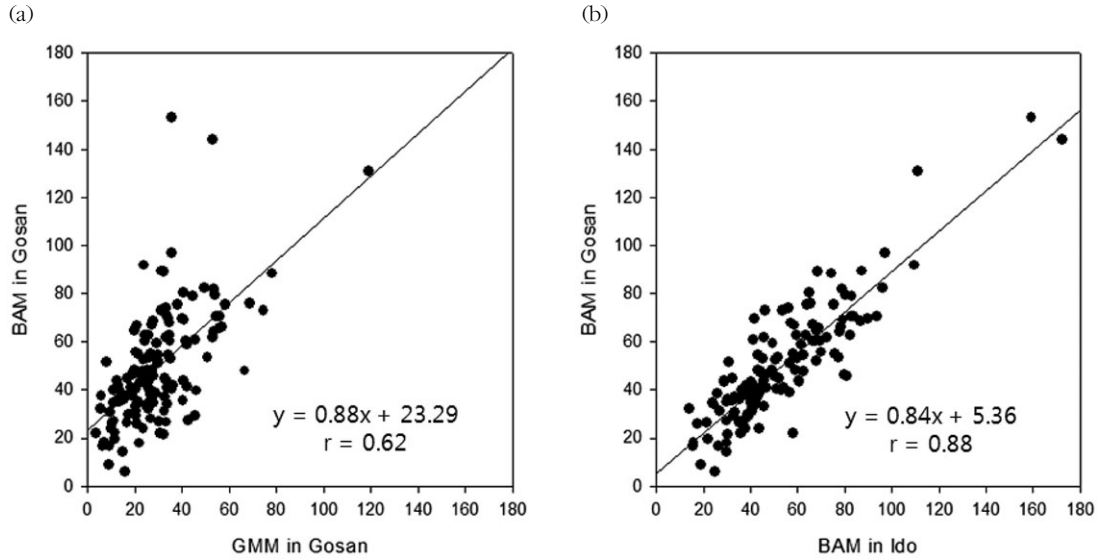
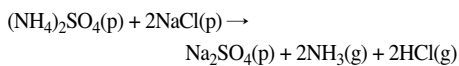
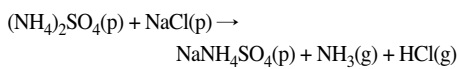


Fig 3. Comparison of the PM10 concentrations (a) between GMM and BAM at Gosan between April 2003 and June 2008 and (b) between BAM at Jeju city and BAM at Gosan between April 2003 and June 2008

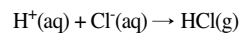
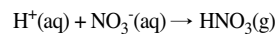
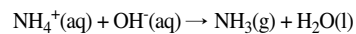
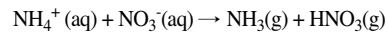
NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- 농도는 장기간 포집한 농도가 일 평균 농도 보다 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮았고 겨울철은 $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 낮아 여름철 휘발의 영향이 다른 계절에 비해 상대적으로 크다는 것을 알 수 있으며 여름철 베타선 흡수법과 중량분석법의 농도 차가 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 그 중 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 휘발이 일어난 것으로 휘발의 영향이 측정 오차에 20%를 차지한다고 주장하였다. 습도가 높은 여름철에는 높은 상대습도에 의해서 입자의 수분함량이 증가하여 베타선 흡수법에서의 양의 오차가 전체 오차의 80% 정도로 크다. 도쿄에서의 베타선 측정은 고산에서와 마찬가지로 유입부 가운데 이루어지지 않았다.

고산의 경우에서도 중량분석법에서의 음의 오차를 생각해 볼 수 있다. 도쿄와 달리 고산은 해안가에 위치하고 있어 앞의 휘발 외에도 해염성분에 의해 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 가 휘발할 가능성이 크다(김용표, 2000). 즉 다음과 같이 반응이 일어날 수 있다.



해염성분에 의한 휘발을 정량적으로 보여주는 예

로 TSP의 암모늄농도가 미세먼지나 극미세먼지에서의 농도와 비슷하거나 오히려 낮은 경우를 볼 수 있다. 1994년 7-8월 고산의 측정값을 보면 암모늄이온이 TSP가 $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ 가 $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 $\text{PM}_{2.5}$ 에서의 암모늄이온이 더 높은 농도를 나타낸다(김용표, 2000). 일반적으로 TSP가 $\text{PM}_{2.5}$ 를 포함하는 개념으로 TSP에서 농도가 더 높게 나와야 하기 때문에 이 결과는 TSP에서의 암모늄이온의 휘발을 의미한다. 이러한 해염성분에 의한 휘발 외에도 입자에 있는 휘발성 성분들이 단독으로 또는 쌍(pair)으로 휘발할 가능성이 있다(김용표, 2005).



분석대상일인 2001년 5월부터 2008년 6월까지의 중량분석법의 미세먼지 측정 농도 중 휘발성 이온성분의 농도가 $\text{PM}_{2.5}$ 의 이온농도보다 낮다면 휘발에 의한 음의 오차를 정량화 할 수 있다. 그러나 표 2에 보이듯이 TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 를 동시에 측

Table 2. Comparison of the mean concentrations of the size-segregated particle composition measured at Gosan between May 2001 and June 2008 (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| | NH_4^+ | Na^+ | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | SO_4^{2-} | NO_3^- | Cl^- | nss- Ca^{2+} | nss- SO_4^{2-} | Mass |
|-------|-----------------|---------------|--------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| TSP | 1.93 | 2.11 | 0.43 | 0.54 | 0.31 | 7.39 | 2.59 | 1.82 | 0.46 | 6.86 | - |
| PM10 | 1.85 | 0.47 | 0.22 | 0.19 | 0.08 | 4.88 | 2.05 | 0.37 | 0.18 | 4.76 | 27.69 |
| PM2.5 | 1.59 | 0.39 | 0.19 | 0.15 | 0.06 | 4.09 | 1.53 | 0.28 | 0.14 | 3.99 | 21.83 |

정한 날에 대해 비교한 결과 휘발성인 NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- 의 이온농도가 TSP, PM10, PM2.5 순으로 나타나 휘발의 가능성을 정량적으로 입증하기는 어렵다. 또한 미세먼지 중 NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- 의 이온농도가 PM2.5의 이온농도보다 낮게 나타난 음의 오차 발생 빈도를 보면 각 이온별 약 20%내외였으며 음의 오차가 발생하여도 90%이상 그 양이 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 나타나 휘발에 의한 음의 오차 영향은 적은 것으로 판단된다.

나트륨이온은 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 과 해염성분의 반응에서 농도변화가 없으므로 나트륨이온과 암모늄이온과의 관계를 통해 암모늄이온의 휘발을 생각할 수 있다. 그러나 미세먼지 농도에서 암모늄이 차지하는 비와 나트륨이온이 차지하는 비의 관계가 유의하지 않았다. 때문에 해염성분에 의한 암모늄이온의 휘발은 일어나기는 하지만 미미한 수준으로 보인다.

따라서 베타선 흡수법이 중량분석법보다 높은 농도로 측정될 가능성으로 수분의 영향이 있을 것으로 예상된다. 앞에서 언급했듯 분석대상기간에 고산의 베타선 흡수법 측정시 유입부 가온이 실시되지 않아 향은, 향습 후 건조한 먼지 농도의 질량을 측정하는 중량분석법과 달리 그 과정을 거치지 않고 대기 조건에서 질량농도를 측정하기 때문에 습도에 크게 영향을 받을 수 있다. 일반적으로 상대습도가 높을수록 흡습성 입자의 경우 주변의 수분을 흡수하여 입자의 크기는 성장하게 되어 미세먼지 농도가 높아질 수 있다. 대만의 Chang 등(2001)의 연구에서 상대습도가 조해점인 70% 이하일 때에는 두 측정값이 비슷하고 조해점 70%를 초과했을 때 베타선 흡수법이 중량분석법보다 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 조해점 이상의 상대습도에서는 상대습도가 증가하

면서 베타선 흡수법과 중량분석법의 비율이 양의 경향으로 높아지지만 선형적으로 높은 상관관계를 보여주진 않는다. Chang 등은 이를 입자가 수분을 많이 흡수한 만큼 또한 증발하기 때문이라 설명한다. 그림 4는 고산의 경우로 상대습도와 중량분석법에 대한 베타선 흡수법의 비는 양의 경향을 띄고 있는지만 상관관계를 갖고 있다고 말하기 어렵고, 조해점과 상관없이 중량분석법에 대한 베타선 흡수법의 비율이 대부분 1이상임을 알 수 있다.

또한 그림 5의 상대습도를 $\text{RH} < 60\%$, $60\% \leq \text{RH} < 70\%$, $70\% \leq \text{RH} < 80\%$, $80\% \leq \text{RH}$ 로 구분하여 상대습도에 따른 베타선 흡수법과 중량분석법의 관계를 보아도 상대습도의 변화에 따라 기울기가 크게 변하지 않아 상대습도가 두 방법사이의 차이에 어떻게 영향을 주었는지를 파악하기 힘들다. 상대습도에 따른 수분흡수가 차이를 유발한다면 상대습도가 커짐에 따라 베타선 흡수법과 중량분석법 결과의 차이가 커져서 기울기가 증가할 것으로 예상되지만, 기울기는 오히려 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 이들 관계식에서는 절편값이 크게 나타

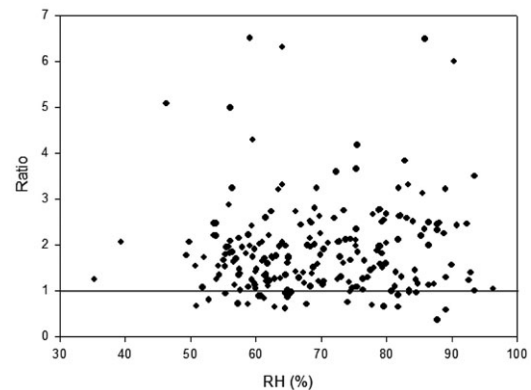


Fig 4. The ratio of PM10 concentrations of BAM to GMM versus relative humidity(RH) at Gosan between May 2001 and June 2008

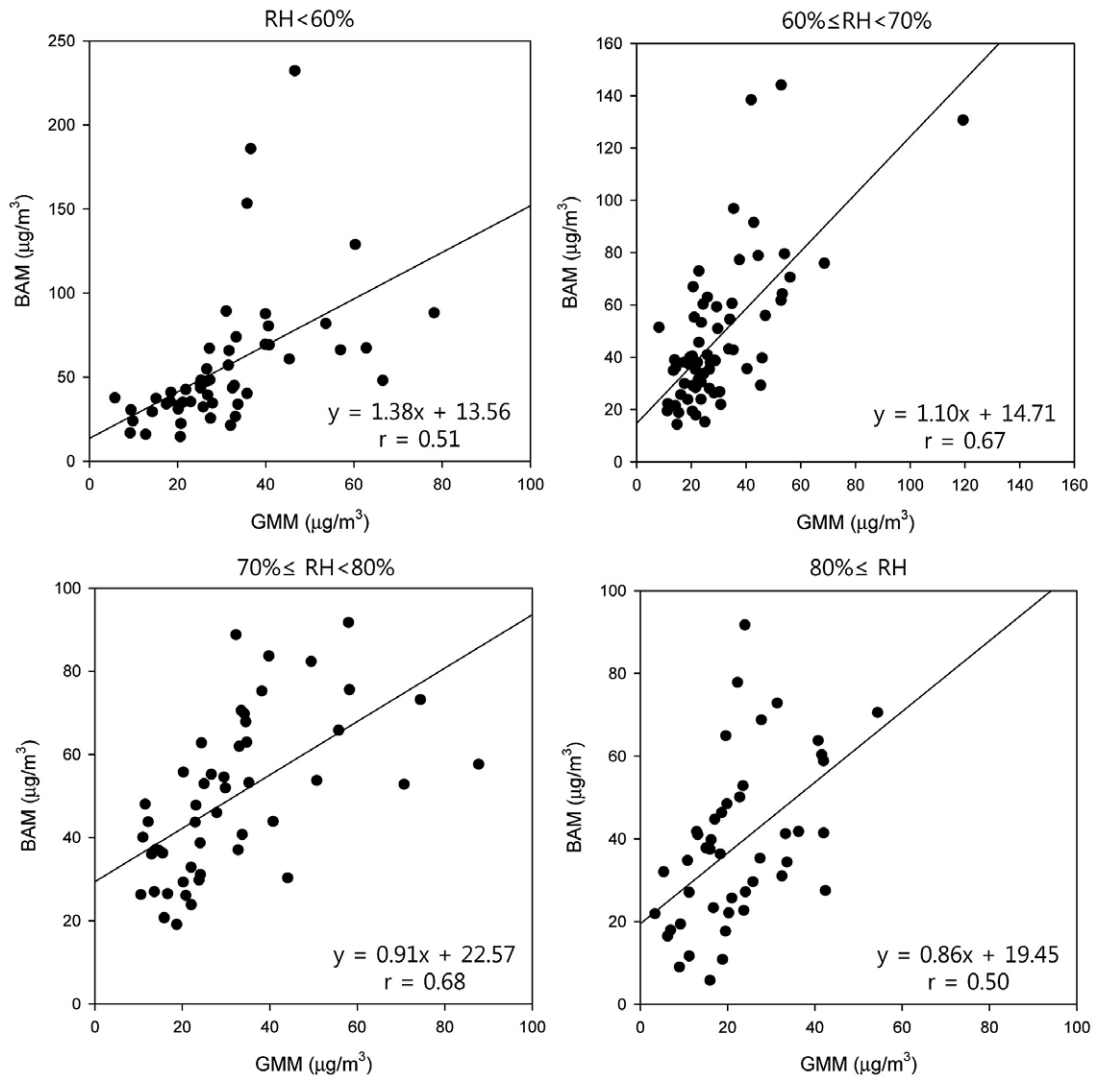


Fig 5. Comparison of the PM10 concentrations between GMM and BAM according to relative humidity(RH)

나 기율기만으로 베타선 흡수법과 중량분석법의 차이를 판단하기 어려워 상대습도 구간에 따라 베타선 흡수법과 중량분석법 차이의 평균값을 비교해 보았다. RH<60%에 해당하는 자료에서 차이의 평균은 $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60\% \leq \text{RH} < 70\%$ 에서 $17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $70\% \leq \text{RH} < 80\%$ 는 $18.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $80\% \leq \text{RH}$ 에서 $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 차이의 절대값을 비교해 보아도 상대습도가 높아질수록 차이값이 커지지 않았다. 또한 절대습도로 환산하여 베타선 흡수법과 중량분석법의 관계성을 보아도 상대습도와 같은 양상을

보였고, 절대습도 구간에 따른 차이의 평균값 비교에서도 절대습도가 높아질수록 차이값이 커지지 않았다. 즉 습도의 영향이 측정방법에 따른 차이에 결정적인 원인이라 판단할 수 없다. 습도의 영향이 측정 오차에 어느 정도 기여하는지는 알 수 없을 뿐 아니라 습도의 영향으로 측정 오차가 발생한다면 풍속, 강수 등의 기상변화나 다른 요인과 더해져 측정 방법에 따른 차이를 유발하는 것으로 보인다. 때문에 실제로 측정오차를 발생하는데 상대습도의 영향이 크더라도 다른 요인과 복합적으로 오차를 받

생시켜 상대습도만으로 측정방법의 차이를 설명하기 힘들다.

IV. 결론

본 연구에서는 국가 배경 측정망 중 하나인 제주도 고산에서 2001년 5월부터 2008년 6월까지 중량 분석법과 베타선 흡수법으로 측정한 미세먼지(PM10) 질량농도가 다르게 나타나는지 비교하였다. 측정 결과 일평균 변화를 기준으로 하였을 때 베타선 흡수법이 중량분석법보다 대체적으로 높은 농도를 보였고 상관관계도 좋지 않았다. 이는 중량 분석법과 베타선 흡수법이 서로 잘 일치하였던 선행연구와는 다른 결과이다.

고산에서 사용된 베타선 흡수법 기기의 신뢰성을 검증하기 위해 고산에서 40 km 떨어진 제주시 이도동에 설치된 베타선 흡수법 기기에 의한 결과와 비교하였다. 기기의 공기 유입구의 가온장치 설치 여부에 따라 절대값의 차이는 있지만, 같은 경향을 보여, 기기 자체의 문제는 아닌 것으로 판단하였다.

차이를 유발할 수 있는 이유는 중량측정법에서 사용한 여과지에 채취된 입자에서의 휘발성분의 휘발에 의한 음의 오차와, 베타선 흡수법에서의 입자의 수분 흡수에 의한 양의 오차가 있다. 입경별 이온 성분 측정 결과, 휘발성 성분의 농도에 큰 변화가 없어 음의 오차 영향은 크지 않는 것으로 보인다.

고산에서 사용된 베타선 흡수법 기기는 입구에 가열부가 최근에 설치되어, 분석 기간에는 유입부에 가온이 실시되지 않아 수분 흡수에 의한 오차가 발생할 가능성이 높다. 특히 고산지역이 바닷가에 위치하여 베타선 흡수법 측정값이 습도의 영향을 크게 받을 것으로 예상하기 쉽다. 선행 연구결과에서는 베타선 흡수법의 유입부에 가온이 실시되었고 중량분석법과 베타선 흡수법이 높은 상관성을 보였다. 베타선 흡수법에서의 유입부 가온이 측정법간의 상관성을 높이는데 기여했다고 볼 수 있다. 이에 유입부에 가열부가 설치되지 않은 고산의 베타선 흡수법에서 상대습도에 따른 입자의 수분 흡수에

의한 양의 오차 가능성을 보였다. 상대습도가 높을 수록 농도 차이 변화가 나타나지 않아 습도에 의한 영향을 파악하기 어렵다. 또한 절대습도로 환산하여 보아도 상대습도와 같은 결과를 보였다. 습도가 측정방법에 따른 차이에 영향을 준다면 다른 요인에 의한 영향이 복합적으로 작용하여 측정오차를 발생시키기 때문이라 해석할 수 있다. 따라서 습도 이외에 측정방법에 따른 차이를 유발할 수 있는 다른 요인들을 밝혀내야 하며 이러한 요인들을 복합적으로 고려하여 측정오차를 설명할 수 있어야 한다. 고산에서 유입부 가온을 실시한 이후의 자료를 분석할 필요가 있으며 고산의 지리적 특성과 관련하여 유발될 수 있는 미세먼지 측정오차에 대한 연구가 더 필요하겠다. 고산 측정소는 인위적 오염원의 영향이 거의 없는 청정지역으로 고산의 미세먼지 측정값은 우리나라 정책 결정에 필요한 중요한 자료이며, 모델 검증 등에 널리 쓰이고 있다. 따라서, 명확한 결론이 날 때까지는 고산의 미세먼지 측정값의 사용에 주의가 요망된다.

고산 측정소는 한반도, 중국, 일본의 경계지역에 위치해 있기 때문에 고산에서의 대기오염물질 농도는 동북아시아 배경농도뿐 아니라, 우리나라 배경농도로도 중요한 자료이다. 우리나라의 대기정책 수립 시에는 고산 같은 배경지역의 농도를 외부영향의 정도를 파악하는 지표로 사용하고 있다. 또한 모델링 연구에서도 모델 결과 검증이나, 모델 파라미터 설정 등에 배경지역 측정값이 사용되고 있다. 때문에 측정 방법에 따른 미세먼지 질량농도의 오차의 원인을 파악하여 측정결과의 신뢰성을 높이는 데 노력을 기울여야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2010-0008005와 No. 2010-0001898)입니다.

참고문헌

- 공부주, 박진수, 이상덕, 김상균, 김정수, 이석조, 2010, Characteristics of Particle composition at national background site, 한국대기환경학회 2010년 춘계학술대회논문집, 175-176.
- 국립환경과학원, 2006, 장거리이동 입자상물질의 화학적 특성과 거동에 관한 연구, 국립환경과학원.
- 국립환경과학원, 2007, 장거리이동 입자상물질의 화학적 특성과 거동에 관한 연구(II), 국립환경과학원.
- 김용표, 2000, 해염성분에 의한 에어로솔 물성변화 모사연구, 한국대기환경학회지, 16, 113-120.
- 김용표, 2005, 미세먼지 측정에서 휘발성분 측정오차 정량, 2005년도 대기환경학회 측정 및 분석 학술 강습회.
- 이종훈, 1999, 동북아시아지역 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구, 박사학위 논문, 건국대학교 대학원.
- 정창훈, 조용성, 황승만, 정용국, 유재천, 신동석, 2007, 비교 측정을 통한 PM10 질량농도의 오차 분석, 한국대기환경학회지, 23, 689-698.
- 정창훈, 박진희, 황승만, 정용국, 2009, 측정방법 및 기상상태에 따른 PM-10 질량농도 비교, 한국입자에어로졸학회지, 5, 53-62.
- Arimoto, R., Kim, Y. J., Kim, Y. P., Quinn, P. K., Bates, T. S., Anderson, T. L., Gong, S., Uno, I., Chin, M., Huebert, B. J., Clarke, A. D., Shinozuka, Y., Weber, R. J., Anderson, J. R., Guazzotti, S. A., Sullivan, R. C., Sodeman, D. A., Prather, K. A., and Sokolik, I. N., 2006, Characterization of Asian dust during ASCE-Asia, Global and Planetary Change, 52, 23-56.
- Chang, C. T., Tsai, C. J., Lee, C. T., Chang, S. Y., Cheng, M. T., and Chein, H. M., 2001, Differences in PM10 concentrations measured by β -gauge monitor and hi-vol sampler, Atmospheric Environment, 35, 5741-5748.
- 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.
- Kim, N. K., Park, H.-J., and Kim, Y. P., 2009, Chemical composition change in TSP due to dust storm at Gosan, Korea: Do the concentrations of anthropogenic species increase due to dust storm?, Water, Air, & Soil Pollution, 204, 165-175, doi 10.107/s11270-009-0035-7.
- Park, M. H., Kim, Y. P., Kang, C.-H., and Shim, S.-G., 2004, Aerosol composition change between 1992 and 2002 at Gosan, Korea, J. Geophysical Research, 109, D19S13, doi:10.1029/2003JD004110.

최종원고채택 10. 08. 12