

## 대기 중 수용성 입자상 이온성분 실시간 분석기 성능 비교 평가

신혜정<sup>†</sup> · 박승명 · 박종성 · 송인호 · 홍유덕 · 한진석

국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과

### Comparison and Assessment of Two Different Types of Real Time Atmospheric Water Soluble Ion Analyzers

Hye-Jung Shin<sup>†</sup>, Seung-Myung Park, Jong-Sung Park, In-Ho Song,  
You-Deog Hong, and Jin-Seok Han

*Air Quality Research Division, National Institute of Environmental Research, Seoul 122-706, Korea*

Received June 13, 2014/Revised June 20, 2014/Accepted June 26, 2014

This study was conducted to compare and assess two different types of real time atmospheric water soluble ion analyzers (MARGA and AIM) using ion concentration data measured in 2014 at an intensive monitoring site in Seoul, Korea. The two analyzers yielded very similar trends in time series of ions and the absolute concentrations of major components such as sulfate, nitrate and ammonium, whereas they showed difference in the absolute concentrations of minor components such as sodium, potassium, magnesium and calcium. The correlation coefficients of major ions (sulfate, nitrate, ammonium) measured by both analyzers were higher (0.97~0.98) than those of minor ions (sodium, potassium, magnesium, calcium) (0.18~0.55). The ratios of total ion concentrations to PM<sub>2.5</sub> mass concentrations given by AIM and MARGA were 0.60 and 0.64, respectively. Furthermore, the ion-to-mass ratios measured by these instruments were compared for five PM<sub>2.5</sub> mass concentration ranges (< 10 /m<sup>3</sup>, 10~25 /m<sup>3</sup>, 25~50 /m<sup>3</sup>, 50~100 /m<sup>3</sup> and >=100 /m<sup>3</sup>). It was found that the correlation coefficients of both analyzers increased along with higher PM<sub>2.5</sub> concentrations, which implies that the reliability of their measurements is higher in relatively high PM<sub>2.5</sub> ranges. The findings of this study are meaningful in interpreting data, and may be useful for improving the reliability of ion concentration measurements with the characteristics of each instrument taken into account.

**Key words:** MARGA, AIM, Ion concentrations, PM<sub>2.5</sub>

### 1. 서 론

우리나라의 대기오염물질 중 황산화물, 일산화탄소와 같은 전형적인 1차 오염물질은 농도가 꾸준히 감소하고 있는 추세이다.<sup>1,2)</sup> 그러나, 오존이나 미세입자와 같이 대기 중 광화학반응에 의해서 생성되는 2차 오염물질의 농도는 여전히 우려할 만한 수준이다. 2012년도 전국 도시 대기측정망의 미세먼지 환경기준 달성률을 살펴보면 연간 환경기준 달성률은 76.8%, 24시간 환경기준 달성률은 38.6%이며, 오존의 경우 8시간 환경기준 달성률은

2%, 1시간 환경기준 달성률은 61.9% 수준으로 2차 오염물질의 환경기준 달성률은 상당히 낮은 수준이다.<sup>1)</sup> 또한 우리나라는 동북아 지역의 최대 오염물질 배출원인 중국의 풍하방향에 위치하고 있어 지속적으로 중국에서 배출되는 오염물질의 영향 및 황사에 의한 영향을 받고 있다.<sup>3-7)</sup> 이에 따라 환경부에서는 미세먼지 및 황사 발생 시 대기오염물질에 대한 상세 분석 및 대국민 정보 제공을 위해 2007년부터 2013년까지 전국 6개 권역(백령도, 수도권, 중부권, 남부권, 영남권, 제주권)에 대기오염집중측정소를 설치·운영하고 있다. 대기 중 입자상

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

물질의 주요 구성성분은 이온성분, 금속성분, 탄소성분 등으로 대기오염집중측정소에서는 입자상 물질의 질량 농도뿐만 아니라 구성성분의 농도도 실시간으로 측정하고 있다. 이러한 구성성분에 대한 분석은 미세먼지 입자에 대한 배출원 추정뿐만 아니라 인체 위해성 평가 등을 위해 활용될 수 있다. 미세먼지 구성성분에 대한 실시간 측정은 짧은 시료채취 시간과 연속적인 분석의 반복으로 수동측정방법에 비해 정확도가 떨어질 수 있는 단점이 있으나, 수동측정 방법에 비해서 짧은 시간 해상도를 가지므로 고농도 미세먼지 발생이나 황사 발생 시 대국민 정보 제공을 위해서 활용도가 높다고 할 수 있다.

따라서 대기오염집중측정소에서는 일정 수준의 정확도를 담보할 수 있는 실시간 측정 장비를 운영하기 위해 지속적으로 대상 물질별 수동 분석방법과 실시간 분석방법 및 실시간 분석기 간의 비교 분석을 수행하여 왔다. 미세먼지 질량농도 중량측정법과 자동측정법 비교 연구(TEOM1400A, Thermo; BAM1020, MetOne Ins.; FH62, Thermo; PMS-103, APM Eng.)<sup>8)</sup>, 입자상 이온 및 중금속성분 분석방법 평가(Xact620, CES)<sup>9)</sup>, 대기 중 검댕입자 측정결과 신뢰도 평가(SP2, Droplet Measurement Technologies; SECOC, Sunset)<sup>10)</sup> 등이 수행되었다. 본 연구에서는 서울시 은평구 불광동에 위치한 수도권대기오염집중측정소에서 2014년 4~5월까지

약 1개월 동안 측정한 MARGA(Monitor for Aerosols & Gases in Ambient Air, Applikon Analytical)와 AIM (Ambient Ion Monitors, URG)의 대기 중 입자상 이온성분 실시간 측정 결과로 두 장비의 대기 중 입자상 이온성분 실시간 분석 성능을 비교·평가하고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 연구는 수도권대기오염집중측정소(37.6105° N, 126.9336° E, 67 m a.s.l.)에서 2014년 4월 8일~5월 12일까지 1시간 간격으로 두 종류의 이온성분 실시간 분석기(MARGA, AIM)로 연속 모니터링한 결과를 대상으로 분석하였다. AIM의 경우 3 L/min의 PM<sub>2.5</sub> 사이클론(URG-2000-30ED, URG Corp.), MARGA의 경우 16.7 L/min의 PM<sub>2.5</sub> 사이클론(URG-2000-30EH, URG Corp.)을 시료유입부 전단에 설치하여 PM<sub>2.5</sub> 내의 이온성분(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)을 측정하였다. 또한 이온성분 분석결과의 평가를 위해서 동 기간에 BAM1020(MetOne Ins.)을 이용하여 측정한 시간별 PM<sub>2.5</sub> 질량농도를 사용하였다.

### 2.1. 측정 장비 특성

MARGA 장비의 구조는 Fig. 1<sup>11)</sup>과 같다. PM<sub>2.5</sub> 사이

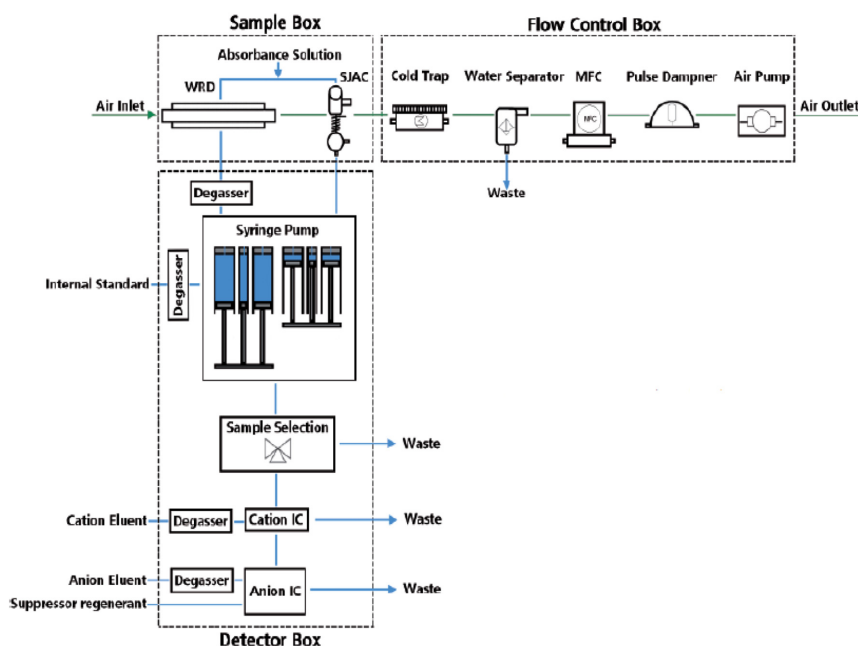


Fig. 1. A schematic diagram of MARGA.

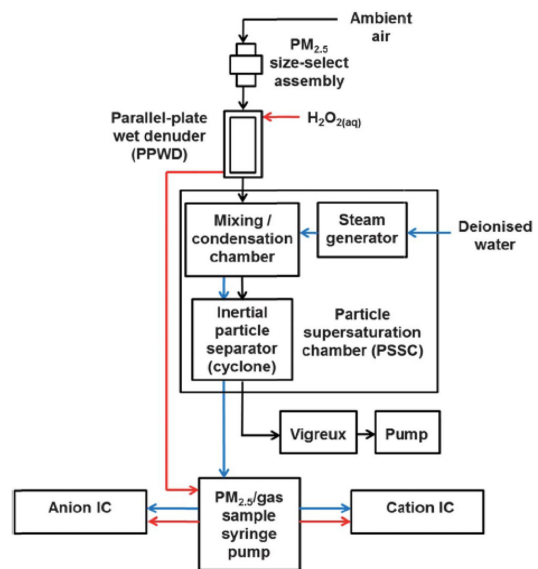
**Table 1.** Analysis condition of ion chromatography of AIM and MARGA

Ion Group Type	AIM		MARGA	
	Anion	Cation	Anion	Cation
Eluent	KOH (21 mM)	MSA (20 mM)	NaHCO <sub>3</sub> (8 mM) + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (7 mM)	HNO <sub>3</sub> (3 mM)
Flow rate	0.25 mL/min	0.25 mL/min	0.7 mL/min	0.7 mL/min
Column	IonPac AG18, AS18 (2 mm)	IonPac CG12A, CSA12 (2 mm)	Metrosep A SUPP 10 (4 mm)	Metrosep C4 (4 mm)
Internal STD	-	-	Br <sup>-</sup>	Li <sup>+</sup>
Suppressor	ASRS300 (2 mm)	CSRS300 (2 mm)	Suppressor Rotor (4 mm)	-
Detector	Conductivity detector	Conductivity detector	Conductivity detector	Conductivity detector

클론을 통과하여 16.7 L/min으로 유입된 시료는 습식 회전디누더(WRD, Wet Rotating Denuder)를 통과하면서 가스상 물질이 포집된 후 고온의 증기가 분사되는 에어로졸 포집기(SJAC, Steam-Jet Aerosol Collector)에 입자상 물질이 포집된다. 실린지 펌프에 의해 한 시간 동안 연속적으로 포집된 시료는 2.5 mL의 내부표준 물질(브롬화 리튬)과 혼합된 후 각각 양이온과 음이온 이온크로마토그래피(Metrohm, Column Metrosep A Supp 10 75/4.0; Column Metrosep C 4 100/4.0)로 분석된다. MARGA 장비의 경우 내부표준물질을 주입하여 시료량에 따른 오차를 지속적으로 검증함으로써 이에 따른 오차를 최소화할 수 있는 특징이 있다. 이온의 상세한 분석조건은 Table 1과 같다.

AIM 장비의 구조는 Fig. 2<sup>12)</sup>와 같다. Park et al. (2012)<sup>5)</sup>에 설명된 바와 같이 PM<sub>2.5</sub> 사이클론을 통해 3 L/min으로 유입된 시료는 30% 과산화수소 용액으로 채워진 디누더를 통과하면서 가스상 물질이 제거되고, 입자상 물질만 과포화 챔버로 이동된다. 과포화 챔버에서는 고온의 수증기로 입자상 물질을 액적으로 성장시킨 후 관성으로 포집하여 시료저장 실린지로 보내진다. 55 분간 연속적으로 채취된 시료는 이온크로마토그래피(ICS-2000, Dionex Co.)로 주입되어 15분간 분석을 수행한다. 이온의 분석조건은 Table 1과 같다. 이온 분석의 정도관리를 위하여 주기적으로 공시료 분석, 검량선 분석을 수행하였다. 공시료 분석은 시료유입부 전단에

Hepa filter를 설치하여 시료유입을 차단하여 수행하였고, 시간자료의 광범위한 농도 분포를 고려하여 넓은 측정 범위를 고려한 6단계 농도의 표준물질(약 0.0001 ~0.81 ppm)을 이용하여 검량선 분석을 수행하였다 (Table 2). 검량선 분석 결과 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>의 R<sup>2</sup>는 각각 0.999, 0.997, 0.997, 0.999, 0.991, 0.999, 0.995, 0.991로 나타났다.

**Fig. 2.** A schematic diagram of AIM.**Table 2.** The concentrations of calibration curves for 8 ions (unit: ppm)

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
#1	0.00900	0.00900	0.00090	0.00098	0.00980	0.00049	0.00010	0.00049
#2	0.02700	0.02700	0.00270	0.00392	0.03920	0.00196	0.00039	0.00196
#3	0.08100	0.08100	0.00810	0.00980	0.09800	0.00490	0.00098	0.00490
#4	0.20250	0.20250	0.02025	0.01960	0.19600	0.00980	0.00196	0.00980
#5	0.40500	0.40500	0.04050	0.03920	0.39200	0.01960	0.00392	0.01960
#6	0.81000	0.81000	0.08100	0.05880	0.58800	0.02940	0.00588	0.02940

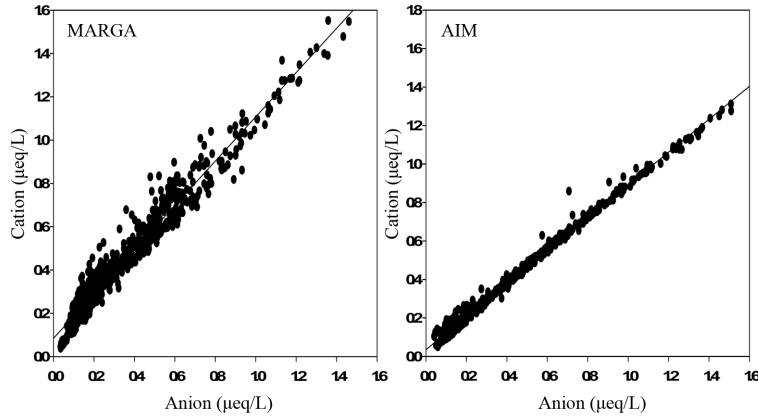


Fig. 3. Equivalent ratio between anion cation for MARGA and AIM.

2.2. 분석방법

실시간 분석 장비의 특성상 급격한 농도 변동에 대한 반응성에 따라 장비별 농도의 차이가 나타날 수 있고, 장비의 운영 상태에 따라 측정치의 이상 등이 나타날 수 있기 때문에 우선적으로 MARGA와 AIM으로 측정된 이온 자료에 대한 대조 검토(Cross-Check)를 수행하였다. MARGA와 AIM의 이온성분별, 시간별 측정자료 산포도를 기반으로 하여 회귀직선에서 크게 벗어나는 자료는 재검토하였다. 대상 자료는 이전, 이후 시간 자료와의 연속성, 타 이온 농도변동과의 상관성 등을 확인 후 제거하였다. 이온 자료에 대한 대조 검토를 수행하여 MARGA, AIM 측정 결과값 811개 중 각각 약 14%, 약 6%가 제거되어 최종 MARGA 측정 결과값 699개, AIM 측정 결과값 763개가 분석에 사용되었다.

시간별 이온 농도는 분석 전 이상 자료 선별을 위해 정도 관리를 수행하였다. 먼저, 양이온 농도의 합과 음이온 농도의 합에 대한 당량비를 살펴보았다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 MARGA와 AIM 분석자료의 당량비는 각각 1.02(R<sup>2</sup>=0.96), 0.86(R<sup>2</sup>=0.99)으로 나타났다.

또한 이온수지방정식(Eq. 1)을 이용하여 이온 측정 자료를 검증하였다.

$$R_1 = \frac{\sum Cation - \sum Anion}{\sum Cation + \sum Anion} \times 100\% \quad \text{Eq. 1.}$$

이온수지방정식에 의하면 수용액에서는 양이온 농도와 음이온 농도는 같아야 하며, 위의 식에서 정의된 R<sub>1</sub> 값이 이온수지 방정식 만족여부 평가에 사용된다.<sup>13)</sup> 이온 측정 자료를 검증한 결과, 이온성분의 농도합이 50 µg/m<sup>3</sup> 미만일 때 MARGA와 AIM의 총측률은 각각

88%, 97%로 동아시아 산성강하물 모니터링 네트워크(EANET, Acid Deposition Monitoring Network in East Asia)에서 이온성분 분석의 정도관리 기준으로 제시하는 R<sub>1</sub> 허용범위인 ±30%를 만족하는 것으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이온성분 농도

앞서 제시한 방법으로 분석된 MARGA와 AIM의 이온성분 농도의 시계열 및 통계치를 Fig. 4 및 Table 3에 나타내었다. 두 장비에서 분석된 이온 농도의 시계열 분포를 살펴보면 주성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 농도 증감 경향과 절대값의 경우 상당히 유사한 수준을 나타내었다. MARGA로 측정된 결과 가장 높은 농도를 보이는 성분은 NO<sub>3</sub>로 14.0 µg/m<sup>3</sup>, 다음으로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 13.9 µg/m<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 8.5 µg/m<sup>3</sup>의 순으로 나타났으며, AIM으로 측정된 결과 역시 MARGA와 같은 순서로 각각 15.7, 15.7, 9.4 µg/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 이에 비해 대기 중 미량으로 존재하는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>의 경우 각 장비 간 농도의 증감 경향은 서로 유사한 양상을 보이고 있으나 농도 수준의 차이를 보이는 것으로 나타났다. MARGA 장비의 측정값은 AIM 장비 측정값에 비해서 Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>의 경우 각각 19.7배, 26.9배 정도로 높게 나타났다. MARGA의 경우 채취 유량이 16.7 L/min, AIM의 경우 채취 유량이 3 L/min으로 MARGA에 비해 채취유량이 5배 정도 적으므로 저농도 성분의 경우 AIM의 포집효율이 MARGA에 비해 낮을 가능성이 있다. 또한 MARGA의 경우 AIM에 비해 상대적으로 기억 효과

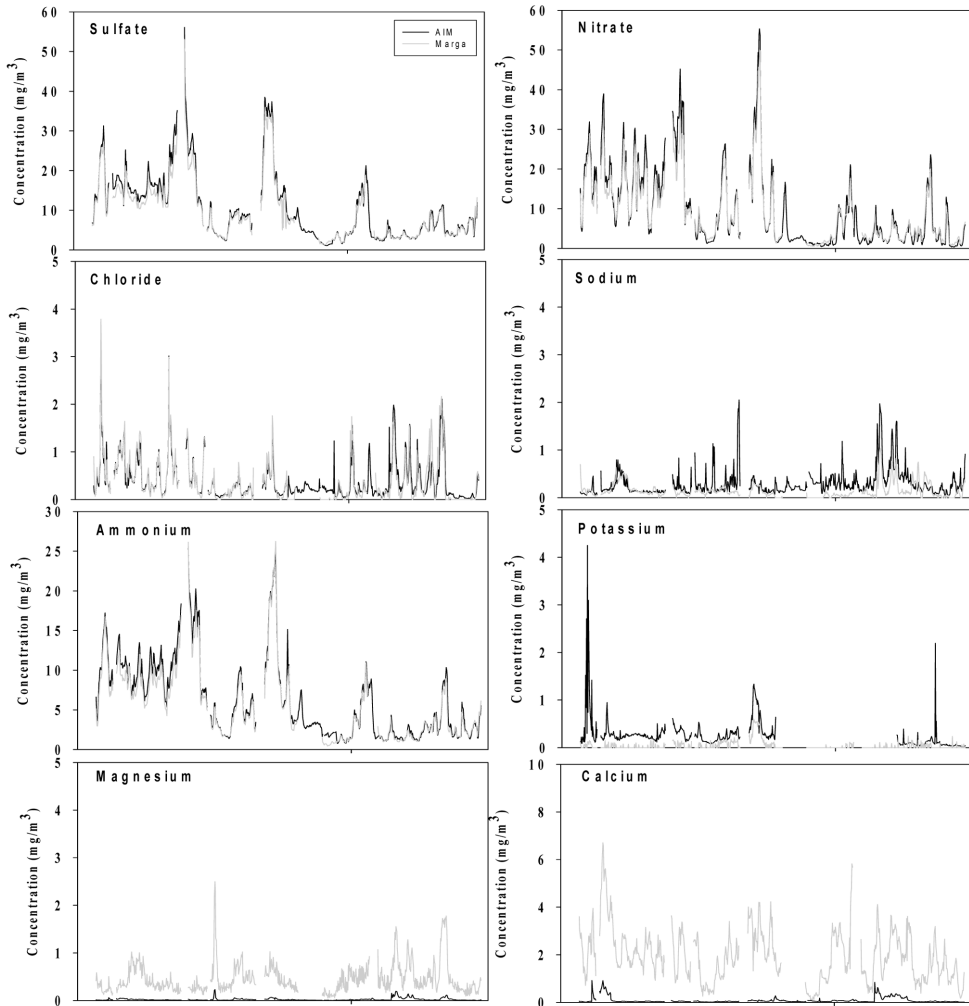


Fig. 4. Time series of ion concentration measured by MARGA and AIM.

Table 3. Statistical summary of ion concentrations measured by MARGA and AIM (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Statistics	Ions	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
		MARGA	Avg. 13.94	13.96	0.48	0.15	8.46	0.07	0.44
	Std.	7.82	8.55	0.49	0.11	4.79	0.12	0.28	1.10
AIM	Avg.	15.65	15.68	0.46	0.24	9.40	0.34	0.02	0.08
	Std.	8.78	10.68	0.43	0.24	4.99	0.37	0.02	0.14
MARGA/AIM	Ratio	0.9	0.9	1.0	0.6	0.9	0.2	19.7	26.9

가 크게 나타나는 경향이 있어 AIM에 비해 과대 측정될 가능성이 있다.

### 3.2. 측정자료 비교 · 평가

AIM과 MARGA의 이온 측정결과의 상관관계를 분석

하였다(Fig. 5, Table 4). 이온성분의 주성분인  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ 과  $\text{Cl}^-$ 에 대한 두 장비 측정결과 간의 상관관계는 각각 0.98, 0.97, 0.98, 0.83로 높게 나타났으나, 상대적으로 낮은 농도를 보이는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 의 경우 상관관계가 0.18~0.55로 낮게 나타났다.

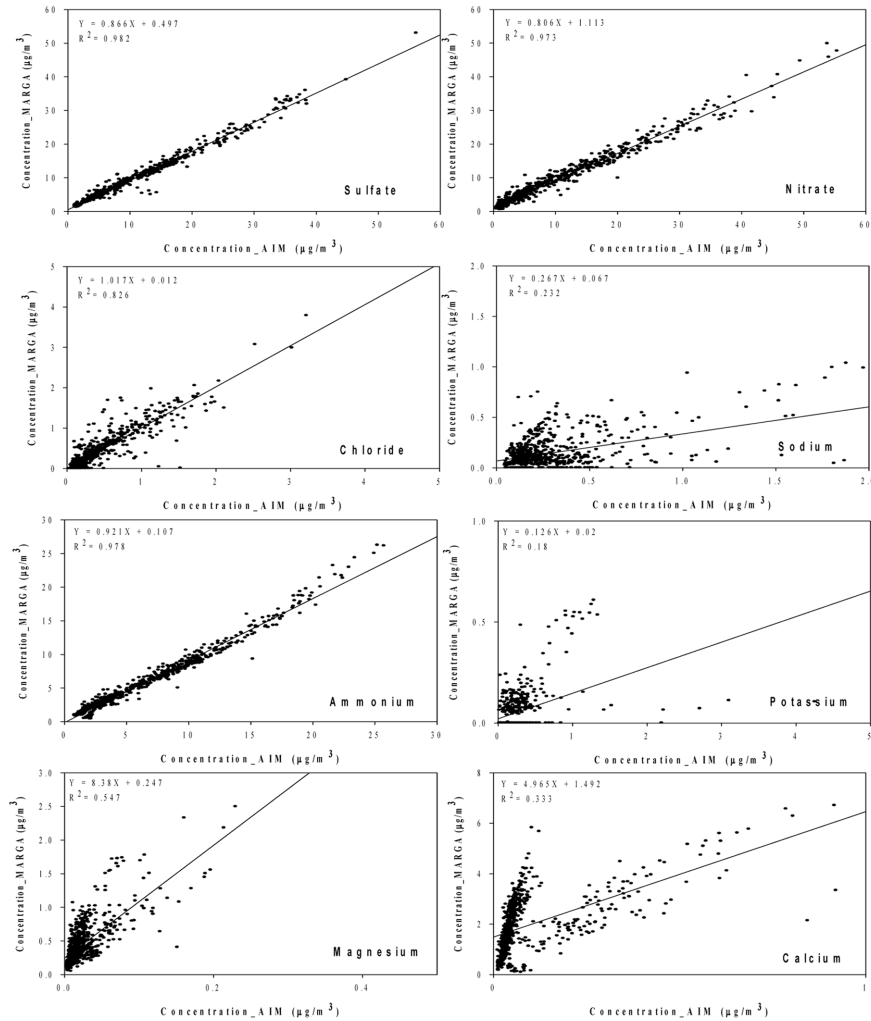


Fig. 5. Scatter plot of ion concentrations measured MARGA and AIM.

Table 4. Linear regression results measured by MARGA and AIM

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Slope	0.87	0.81	1.02	0.27	0.92	0.13	8.38	4.97
R <sup>2</sup>	0.98	0.97	0.83	0.23	0.98	0.18	0.55	0.33

MARGA와 AIM에서 측정된 이온성분의 합과 PM<sub>2.5</sub> 질량농도의 비를 Fig. 6에 나타내었다. MARGA와 AIM으로 측정된 이온성분에 대한 PM<sub>2.5</sub> 질량비(10 µg/m<sup>3</sup> 미만 값 제외)는 각각 평균 0.64, 0.60으로 서로 유사한 수준을 보이는 것으로 나타났다. 우리나라에서 수행되었던 선행연구 결과에 따르면 PM<sub>2.5</sub> 중 이온성분의 구성비는 약 38~48%로<sup>14,15)</sup> 나타나 실시간으로 측정하는 MARGA와 AIM의 경우 선행연구 결과에 비해 이온성분 구

성비가 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

앞에서 살펴본 바와 같이 MARGA와 AIM으로 측정된 이온성분 농도는 주성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우 매우 유사한 수준을 나타내고 있으나, 위 성분에 비해 낮은 농도 수준의 이온성분들(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)은 차이를 보이고 있다. 이에 대해서 좀 더 상세히 살펴보기 위해서 MARGA와 AIM으로 측정된 이온성분의 특성을 PM<sub>2.5</sub> 질량농도 구간으로 구분하여 살펴보았다.

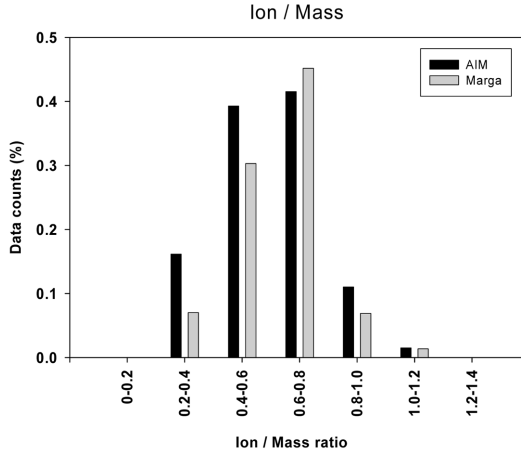


Fig. 6. Ion/mass ratio for MARGA and AIM.

PM<sub>2.5</sub> 질량농도를 0 µg/m<sup>3</sup> 이상~10 µg/m<sup>3</sup> 미만, 10 µg/m<sup>3</sup> 이상~25 µg/m<sup>3</sup> 미만, 25 µg/m<sup>3</sup> 이상~50 µg/m<sup>3</sup> 미만, 50 µg/m<sup>3</sup> 이상~100 µg/m<sup>3</sup> 미만, 100 µg/m<sup>3</sup> 이상의 5개 구간으로 나누고, 이온성분별 두 장비 간 측정결과를 살펴보았다. PM<sub>2.5</sub> 농도 구간별 MARGA와 AIM으로 측정한 이온성분의 상관계수 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 전반적으로 PM<sub>2.5</sub> 농도가 0 µg/m<sup>3</sup> 이상~10 µg/m<sup>3</sup> 미만일 때 상관계수가 크게 낮았으나, PM<sub>2.5</sub> 농도가 10 µg/m<sup>3</sup> 이상의 구간에서 농도가 증가할수록 상관계수의 값이 증가하는 것으로 나타나 두 장비의 측정결과 신뢰도가 높아짐을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

서울시 불광동 수도권대기오염집중측정소에서 2014년 4월 8일부터 5월 12일까지 1시간 간격으로 두 종류의 장비(MARGA, AIM)로 측정한 수용성 이온성분(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)의 분석능력을 비교·평가하였다. 두 장비에서 분석된 이온성분 농도의 시계열 분포는 농도의 경향성이 상당히 유사하며, 주성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 농도 절대값에서 MARGA와 AIM의 측정값이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 각 성분들 간의 상관관계를 살펴보면, 주성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 각각 0.98, 0.97, 0.98로 매우 높은 상관성을 나타냈으나, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>의 경우 상관계수가 0.18~0.55로 낮게 나타났다. MARGA와 AIM의 채취 유량에 따른 검출한계 차이, 실시간 측정 장비의 기억 효과 크기 차이, 내부표준물질 사용 여부

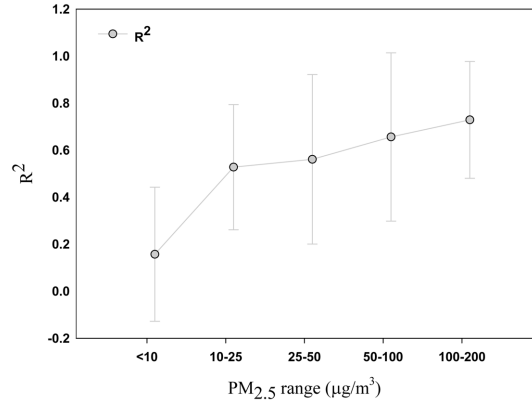


Fig. 7. Distribution of R<sup>2</sup> for ions in accordance with PM<sub>2.5</sub>.

등이 미량 성분의 상관관계에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 두 장비 측정결과 비교 시 MARGA와 AIM의 측정값이 유사하게 나왔으나 이온성분에 대한 절대 비교값이 없으므로, 간접적으로 이온성분 분석결과 정확도를 파악하기 위하여 각 측정 장비에서 측정된 이온성분의 합과 PM<sub>2.5</sub> 질량농도의 비를 살펴보았다. AIM의 경우 측정된 이온성분의 합과 질량농도의 비가 0.60, MARGA의 경우는 0.64로 나타나, 선행 연구결과에 비해 이온성분 구성비가 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 두 장비의 경향을 좀 더 자세히 알아보기 위해 PM<sub>2.5</sub> 질량농도를 구간별로 나눠 이온성분별 분포를 살펴보았다. PM<sub>2.5</sub> 농도가 10 µg/m<sup>3</sup> 이상의 구간에서 MARGA와 AIM 측정결과 상관관계는 높으며, PM<sub>2.5</sub> 농도가 높아질수록 상관관계가 증가하는 경향을 나타냈다.

본 연구는 두 장비의 이온성분에 대한 실시간 측정 및 분석의 비교 결과로서 절대적인 측정의 정확도를 파악할 수는 없지만, 주성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 성분 간 경향성 및 농도값은 신뢰할 만한 수준인 것으로 판단된다. 또한, 추후 측정 자료의 활용 시 공시료 값 적용 등 추가적인 정도관리를 통해 자료의 신뢰성이 더 높아질 수 있을 것으로 보여진다.

현재 국립환경과학원에서는 PM<sub>2.5</sub> 성분 측정망을 구축하여 운영하고 있으며 정기적으로 수동 측정한 PM<sub>2.5</sub> 성분 결과를 보고하고 있다. 따라서 향후 수동 측정한 PM<sub>2.5</sub> 성분 결과가 보고되면 좀 더 상세한 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 비교 측정결과에서 얻은 장비 간 특성 등을 고려하여 측정결과 신뢰도 향상을 위해 분석 장비의 정확도와 정밀도 등을 높여 지

속적인 모니터링을 실시하면 자료의 활용도가 더 높아질 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 환경부 “대기오염측정망 구축·운영” 예산을 지원받아 국립환경과학원의 대기오염집중측정소 운영 결과를 활용하여 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 국립환경과학원, “대기환경연보(2012)”, **2013**, 19-21.
2. 김용표, 여민주, “서울의 대기환경기준물질 농도 추이”, *한국대기환경학회지*, **2013**, 29(4), 369-377.
3. E. H. Kang, J. H. Han, M. H. Lee, G. W. Lee, and J. C. Kim, “Chemical characteristics of size-resolved aerosols from Asian dust and haze episode in Seoul Metropolitan City”, *Atmospheric Research*, **2013**, 127, 34-46.
4. 박진수, 한진석, 안준영, “황사의 국내 연구동향과 최근 에피소드 분석”, *한국대기환경학회지*, **2013**, 29(5), 553-5732.
5. 박승명, 문광주, 박종성, 김현재, 안준영, 김정수, “2009년 서울지역 황사 및 고농도 미세먼지 사례 시 미세먼지의 화학성분 특성”, *한국대기환경학회지*, **2012**, 28(3), 282-293.
6. 김영성, “황사의 대기환경영향”, *한국대기환경학회지*, **2011**, 27(3), 255-271.
7. 이해영, 김승범, 김수민, 송승주, 전영신, “같은 황사와 연무가 공존한 대기의 에어러솔 특성: 2009년 3월 15~17일”, *한국대기환경학회지*, **2011**, 27(2), 282-293.
8. 전하은, 박진수, 김현재, 성민영, “PM<sub>2.5</sub> 증량측정법과 자동측정법의 비교 연구”, *한국대기환경학회 정기학술대회 발표논문집*, **2013**, 125.
9. 박승명, 문광주, 박종성, 송인호, 김현재, 성민영, 전하은, 박진수, “서울지역 대기 중 중금속성분에 대한 자동법과 수동법 비교연구”, *한국대기환경학회 춘계학술대회 발표논문집*, **2012**, 73.
10. 박종성, 문광주, 박승명, 송인호, 오준, 이석조, “SP2를 이용한 대기 중 검댕입자 측정결과의 신뢰도 평가에 관한 연구”, *한국대기환경학회 추계학술대회 발표논문집*, **2012**, 85.
11. Metrohm Applikon, “MARGA-monitor for aerosol and gases in ambient air”, **2013**, 5, Switzerland.
12. M. Z. Markovic, T. C. VandenBoer, and J. G. Murphy, “Characterization and optimization of an online system for the simultaneous measurement of atmospheric water-soluble constituents in the gas and particle phases”, *Journal of Environmental Monitoring*, **2012**, 14, 1872-1884.
13. EANET, “QA/QC program for wet deposition monitoring in East Asia”, **2000**, 11, Japan.
14. 정진희, 한영지, “춘천시 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도 및 이온성분 농도의 특성에 관한 연구”, *한국대기환경학회지*, **2008**, 24(6), 682-692.
15. H. S. Kim, J. B. Huh, P. K. Hopke, T. M. Holsen, and S. M. Yi, “Characteristics of the major chemical constituents of PM<sub>2.5</sub> and smog events in Seoul, Korea in 2003 and 2004”, *Atmospheric Environment*, **2007**, 41, 6762-6770.