

PA42) 2006-2008년 제주도 고산지역 봄철 미세먼지의 이온 조성 Ionic Compositions of Fine Particles at Gosan Site, Jeju Island in Spring of 2006-2008

이순봉 · 강창희 · 김행범 · 오용수 · 강혜림 · 부준오 · 김정수¹⁾ · 이석조¹⁾

제주대학교 화학과, ¹⁾국립환경과학원 기후대기연구부

1. 서 론

대기 에어로졸은 지구에 도달하는 태양 빛을 산란, 흡수시켜 복사 평형에 중요한 역할을 하고, 또 대기 중 구름 형성에 필요한 응축 핵으로 지구 기후변화에도 영향을 미친다(김평래 등, 2009). 유럽연합에서는 연평균 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 PM_{10} 환경기준을 2005년부터 2010년까지 연평균 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮추는 것을 목표로 하고 있다(Rodriguez et al., 2003). 우리나라도 향후 10년 이내에 수도권지역의 대기환경을 선진국 수준으로 개선하기 위한 '수도권 대기환경개선에 관한 특별법'을 2003년 12월에 제정하여, 2005년 1월부터 시행하고 있다(환경부). 이 특별법에서 '수도권 대기환경관리 기본계획'의 목표는 서울시의 PM_{10} 농도를 2014년까지 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 줄이는 것이다. 이러한 PM_{10} 저감 대책들이 효과적으로 실행되기 위해서는 우선 기존 측정망 자료 분석을 통해서 PM_{10} 농도변화 추이와 특성을 이해하고, 그 주요 원인을 파악하는 등 PM_{10} 농도변화를 이해하기 위한 종합적인 연구가 뒷받침 되어야 한다(한지현 등, 2008). 또 대기 에어로졸은 입자크기에 따라 조성, 기원이 다르고 계절적 특성도 다르기 때문에 입경분포별로 성분을 비교함으로써 조성을 비교할 필요가 있다(국립환경과학원, 2006). 그리고 입자 크기에 따라 화학조성이나 발생 메커니즘이 확연한 차이로 보이고 있어서 $\text{PM}_{2.5}$ 와 $\text{PM}_{2.5-10}$ 의 구성 성분을 구분하여 비교하는 것은 의미가 있다. 본 연구는 국내 배경농도 지역에서 대기 미세먼지의 조성을 분석하고, 그 오염 특성을 조사하기 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위해 국내 배경농도 지역인 제주도 고산 지역에서 2006년부터 2008년까지 봄철에 PM_{10} 과 $\text{PM}_{2.5}$ 미세먼지를 채취하여 수용성 이온 분석하였고, 그 결과로부터 배경지역 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 미세먼지의 오염특성, 발생기원, 조성변화 등을 다각도로 조사하였다.

2. 연구 방법

제주도 고산지역(33°28'N, 127°17'E)에 URG 사의 Cyclone (Model URG-2000-30EH)과 Sequential Air Sampler (APM Engineering, Model PMS-102)를 설치하여, 2006년부터 2008년까지 봄철에 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 에어로졸 시료를 동시에 채취하였고, 시료수는 각각 42, 74개이다. 대기 에어로졸은 Metrohm사의 모델 Modula IC를 사용하여 양이온은 Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 column, 음이온은 Metrohm Metrosep A-SUPP-4 column으로 분석하였다(Kang et al., 2007).

3. 결과 및 고찰

고산지역에서 채취한 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 에어로졸 각각에 대해 주요 이온성분을 분석하였다. PM_{10} 이온성분 농도는 nss-SO_4^{2-} (6.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > NH_4^+ (2.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > NO_3^- (2.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Cl^- (1.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Na^+ (1.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > K^+ (0.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > nss-Ca^{2+} (0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Mg^{2+} (0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 높게 나타났다. 그리고 $\text{PM}_{2.5}$ 이온성분은 nss-SO_4^{2-} (5.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > NH_4^+ (2.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > NO_3^- (1.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Na^+ (0.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > nss-Ca^{2+} (0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Cl^- (0.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > K^+ (0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Mg^{2+} (0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 높은 농도를 보여, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 에서 모두 nss-SO_4^{2-} 가 가장 높은 농도를 나타내었다(그림 1). 미세먼지의 조성을 확인한 결과, PM_{10} 의 경우 인위적 기원(NH_4^+ , NO_3^- , nss-SO_4^{2-}), 해양기원(Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}), 토양기원(nss-Ca^{2+}) 성분의 조성이 각각 78.7, 16.0, 2.0%를 보였고, $\text{PM}_{2.5}$ 에서는 이들 성분들의 조성이 각각 87.1, 7.2, 2.9%를 나타내어, 대체적으로 $\text{PM}_{2.5}$ 에서 상대적으로 인위적 성분들의 조성비가 높은 경향을 보였다. 또한 측정기간의 기류 이동경로를 조사하기 위하여 역궤적 분석을 실시하였다. 그리고 이동경로를 중국남부지

역(I 구간), 중국북부지역(II 구간), 한반도 및 시베리아 지역(III 구간), 동해 및 일본지역(IV 구간), 북태평양지역(V 구간) 등 5개 구간으로 분류하여 각 구간별로 농도를 비교하였다. 조사결과, PM₁₀ 미세먼지의 nss-SO₄²⁻ 농도는 II 구간 > IV 구간 > I 구간 > V 구간 > III 구간 순으로 높고, 공기가 중국 북부지역에서 제주도도로 유입되었을 때 가장 높은 농도를 나타내었다. 반면에 북태평양에서 공기가 유입되었을 때 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 또한 NO₃⁻ 농도는 II 구간, III 구간, IV 구간을 통과했을 때 높고, 상대적으로 V 구간을 통과했을 때 낮은 경향을 보였다. 주요 토양 지표성분인 nss-Ca²⁺ 농도는 II 구간에서 가장 높고, I 구간에서 가장 낮은 농도를 보이는 것으로 조사되었다. 마찬가지로 방법으로 PM_{2.5} 미세먼지를 비교해 본 결과, nss-SO₄²⁻ 농도는 II 구간 > IV > III 구간 > V 구간 > I 구간 순으로 나타나 PM₁₀과는 다른 경향을 보였다. 반면에 NO₃⁻, nss-Ca²⁺ 농도는 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두에서 유사한 경향을 보이는 것으로 조사되었다(표 1).

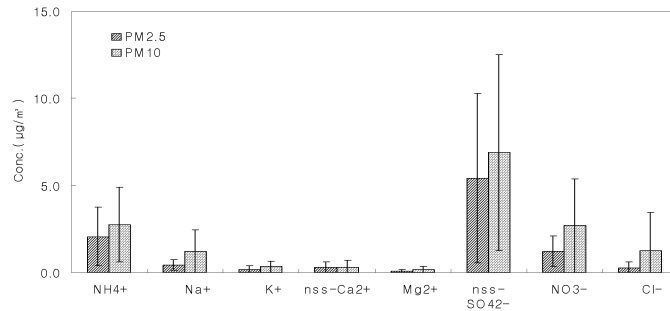


Fig. 1. Comparison of the concentrations of water-soluble components in fine particles.

Table 1. Sectional concentrations of ionic components of fine particles corresponding to the inflow pathway of air parcels.

Species	PM ₁₀					PM _{2.5}				
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5
NH ₄ ⁺	2.07	3.64	1.95	2.40	1.30	1.07	3.15	1.78	2.24	1.68
Na ⁺	0.33	1.32	1.90	1.06	0.52	0.22	0.52	0.29	0.42	0.46
K ⁺	0.14	0.47	0.2	0.28	0.15	0.07	0.35	0.18	0.24	0.12
nss-Ca ²⁺	0.07	0.48	0.25	0.37	0.13	0.00	0.39	0.26	0.20	0.11
Mg ²⁺	0.02	0.20	0.25	0.16	0.10	0.02	0.13	0.10	0.08	0.07
nss-SO ₄ ²⁻	4.93	9.07	4.26	6.51	4.56	2.37	8.09	4.03	5.85	4.01
NO ₃ ⁻	0.35	3.85	2.61	2.18	0.73	0.28	1.83	1.38	1.12	0.76
Cl ⁻	0.10	1.12	2.89	0.65	0.51	0.04	0.37	0.16	0.33	0.25

사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-C00934).

참 고 문 헌

국립환경과학원 (2006) 대도시 대기질 관리방안 조사 연구: 미세먼지 생성과정 규명과 저감대책 수립.
 김평래, 한영지 (2009) 춘천시 미세먼지와 그 이온성분의 입경분포에 대한 연구, 한국대기환경학회 2009 추계학술대회 논문집, 379-380.

한지현, 이미혜, 김영성 (2008) 전국 도시 대기 측정망의 2000~2005년 PM₁₀ 농도 군집분석, 한국대기환경학회지, 24(3), 300-309.

환경부, 수도권 대기환경관리 기본계획, 2005.1 (<http://www.me.go.kr>)

Rodriguez, S., X. Querol, A. Alastuey, and M.-M. Viana (2003) Events affecting levels and seasonal evolution of airborne particulate matter concentrations in the western mediterranean, Environ. Sci. Technol., 37, 216-222.