

## PS10(SM33) 시화지역 PM<sub>2.5</sub> 분진의 화학적 조성 및 오염원 특성

### Chemical Composition and Sources of PM<sub>2.5</sub> Particles in Sihwa area

박승식 · 이권호 · 김영준 · 김상우<sup>1)</sup> · 윤순창<sup>1)</sup>

광주과학기술원 환경공학과, <sup>1)</sup>서울대학교 대기과학과

#### 1. 서론

대기에어로졸의 화학적 조성은 대기화학과정 및 에어로졸의 기후변화 (climate forcing)를 이해하는데 필요한 중요한 변수이다. 대기에어로졸 중 입자크기가 2.5  $\mu\text{m}$ 보다 작은 미세입자들은 인간의 건강과 사회복지에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (U.S. EPA, 1996). 시화지역은 크게 공단지역과 주거지역으로 구분되어 있으며 공단지역에서 발생한 대기오염물질이 대기확산을 통해 주거지역으로 이동하면서 주거지역에 살고있는 주민들에게 많은 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한, 시화지역은 지역적 특성상 공단지역에서 발생한 오염물질 외에도 서해 및 중국 등과 인접해 있는 관계로 중국 등에서 발생한 대기오염물질이 air masses 거동에 따라 시화지역으로 상당히 유입될 것으로 생각된다. 조승현 (1998)에 의하면 시화지역은 계절에 따른 바람의 방향이 상당히 다른 양상을 보여주고 있으며, 이에 따른 오염물질의 특성도 다르게 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서는 시화지구 주거지역에서 계절 및 기상조건변화에 따른 미세분진의 화학적 조성 및 오염원 특성을 파악하기 위해 99년 2월 및 8월에 PM<sub>2.5</sub> 분진을 측정하였다. 또한, 외부로부터 대기오염물질의 장거리 이동에 의한 유입가능성을 조사하기 위해 NOAA/ARL에서 개발한 HYSplit\_4 모델 (Draxler and Hess, 1998)에 의해 역 추적 분석을 수행하였다.

#### 2. 연구방법

대기중 PM<sub>2.5</sub> 입자의 측정은 시흥시 시화지구내 주거지역에 위치한 서해초등학교 6층 옥상에서 수행하였다. PM<sub>2.5</sub> 분진샘플을 채취하기 위해 Dichotomous 샘플러(ASI/GMW사 모델 241)와 두 세트의 PM<sub>2.5</sub> 싸이클론(URG-2000-30EH) 샘플러가 사용되었다. Dichotomous 샘플러에서 측정된 샘플들은 ICP-AES(Shimadzu ICPS-1000III), ICP-MS(VG Elemental PQIII STE), 및 AAS(Unicam989)에 의해 23종의(Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Cd, Sb, Ba, Pb) 성분이 분석되었으며, 분석은 기초과학연구원연구소(대전분소)에서 수행하였다. 두 PM<sub>2.5</sub> 싸이클론 샘플러에서 측정된 샘플들은 8종의 이온성분( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , 및  $\text{Ca}^{2+}$ )과 탄소성분을 분석하는데 사용되었다. 이온성분은 광주과학기술원에 보유하고 있는 IC(Dionex, DX-120)에 의해 분석하였고 탄소성분(유기 및 원소탄소)의 분석은 열산화방간법 (TMO, Thermal, Manganese Oxidation) (Fung, 1990)에 의해 미국 AtmAA사에서 수행하였다. PM<sub>2.5</sub>분진의 측정은 1999년 겨울 및 여름시즌에 두 번의 집중측정기간(1999년 1월 28일-2월 11일 및 8월 12일-8월 24일)을 통해 이루어졌으며, 측정시간은 측정 당일 오전 9시부터 다음날 9시까지 24시간 동안 분진을 채취하였다. 그리고 분진측정기간중 시화공단내 노동복지회관 15m 높이의 옥상에서 자동기상측정장비에 의해 풍향, 풍속, 및 습도등의 기상자료를 1시간 평균으로 관측하여 풍향변화에 따른 오염물질의 변화양상을 조사하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

표 1은 시화공단 주거지역에서 두 번의 집중측정기간 (1999년 2월 및 8월)을 통해 얻은 PM<sub>2.5</sub> 분진의 화학성분자료를 나타낸 표로서 평균농도 및 표준편차를 포함하고 있다. 표 1에 의하면 겨울철에 측정된 PM<sub>2.5</sub> 질량농도 및 화학적 성분농도는 여름철의 화학적 성분농도에 비해 대부분 높게 나타나고 있다. 두 번의 집중측정기간중 99년 2월에는 북서풍 계열, 99년 8월에는 남서 또는 북동풍 계열로 기상학적 관점에서 오염물질의 거동양상을 볼 때, 공단지역에서 발생한 대기오염물질이 주거지역에 미치는 영향은 여름시즌이 겨울시즌보다 클 것으로 생각되지만, 측정결과는 반대의 양상을 보여주고 있다. 4-day 역 추적 해석결과에 의하면, 겨울철에는 대부분의 air mass가 중국북쪽으로부터 유입되고 있는 반면, 여름철에는

air mass 근원이 대부분 ocean에서 발생되어 시화지역으로 유입된 것으로 보아 겨울철 PM<sub>2.5</sub> 에 함유된 화학적 성분의 농도증가는 겨울철 에너지 사용량의 증가 및 공단지역으로부터 발생한 오염물질 외에도 중국 또는 몽골 등에서 발생한 오염물질에 의해 시화지역이 영향을 받고 있음을 짐작할 수 있다.

Table 1. Statistical summary of PM<sub>2.5</sub> aerosol concentrations in Sihwa area

	1/28 ~ 2/11/99		8/12 ~ 8/24/99		99년 평균	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	42.31	19.19	29.01	11.19	36.14	17.09
Na ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.266	0.071	0.207	0.109	0.239	0.094
Mg ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.052	0.017	0.031	0.019	0.042	0.020
Al ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.257	0.423	0.118	0.072	0.192	0.316
S ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2.361	1.773	1.512	0.647	1.967	1.415
K ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.476	0.352	0.241	0.118	0.367	0.291
Ca ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.098	0.033	0.099	0.052	0.099	0.042
Ti ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	6.391	2.408	8.426	6.687	7.336	4.893
V ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.212	0.090	0.524	0.686	0.357	0.488
Cr ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	2.239	0.893	1.643	1.940	2.000	1.402
Mn ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	20.987	7.964	16.335	9.444	18.827	8.838
Fe ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.214	0.071	0.230	0.102	0.222	0.086
Ni ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	8.051	3.401	6.886	4.144	7.510	3.739
Cu ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	53.607	50.936	68.716	71.955	60.622	60.871
Zn ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.264	0.182	0.256	0.169	0.261	0.173
As ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	8.414	6.502	5.286	5.246	6.962	6.056
Se ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.773	0.632	1.268	0.816	0.946	0.722
Cd ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	4.142	1.705	3.369	2.952	3.798	2.325
Sb ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	7.990	6.700	6.762	6.165	7.420	6.368
Ba ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	7.773	2.509	7.767	3.700	7.770	2.968
Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.193	0.190	0.145	0.155	0.171	0.173
OC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	13.462	4.953	7.932	2.525	10.894	4.842
EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1.922	1.328	2.833	1.380	2.345	1.405
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	7.416	5.007	3.715	1.513	5.698	4.190
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	6.390	4.536	1.793	1.228	4.256	4.097
Cl <sup>-</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1.279	0.765	0.677	0.438	1.000	0.695
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	5.016	2.803	1.692	0.884	3.473	2.696

그림 1은 측정기간중 OC/EC 비와 PM<sub>2.5</sub> 질량농도변화추이를 나타낸 그림으로서, 위에서 설명한 겨울철 air mass 특성을 잘 반영해 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 겨울철의 평균 OC/EC비는 8.1로 여름철

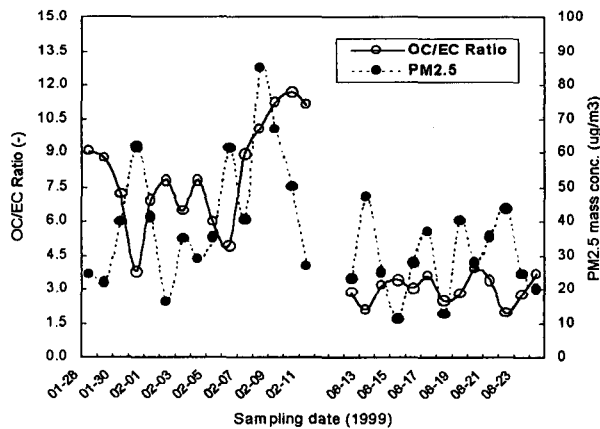


Figure 1. The trends of OC/EC Ratio and PM<sub>2.5</sub>

의 OC/EC 비인 3.0에 비해 상당히 높은 값을 나타내고 있다. 기존의 탄소성분에 대한 많은 연구에 의하면, 통상적으로 대기중 입자상 오염물질에는 OC/EC 비가 여름시즌이 겨울시즌보다 더 높게 관측이 되고 있는데, 본 연구지역에서는 정 반대의 결과가 확인되었다. 이에 대한 상세한 설명은 Park 등(2000)의 연구결과에서 잘 설명해 주고 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 및 2000년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었습니다.

#### 참고문헌

- Draxler, R.R. and Hess, G.D. (1998) Description of the HYsplit\_4 Modeling System, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland
- U.S. EPA(1996) National Air. Quality and Emissions Trends Report, EPA-454/R-97-013, Research Triangle Park, NC 27711.
- 조승현 (1998) 대기오염확산모델(ISCST3)을 이용한 시화 및 반월공단의 SO<sub>2</sub> 농도분포와 오염기여도에 관한 연구, 광주과학기술원 환경공학과 석사학위 논문.
- Park, S.S., Kim, Y.J. and Fung, K.K. (2000) Characteristics of PM<sub>2.5</sub> Carbonaceous Aerosol in the Sihwa Industrial Area, Korea, Atmos. Environ., submitted for publication.