

SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)를 이용한 안산지역 대기중 초미세입자 (30~500 nm) 분포연구

Monitoring of Airborne Fine Particle using SMPS in Ansan Area

김 용 민 · 안 강 호*

한양대학교 기계공학과 나노입자제어연구실
(2004년 12월 28일 접수, 2005년 4월 1일 채택)

Yong-min Kim and Kang-Ho Ahn*

Nano-Particle Control LAB, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

(Received 28 December 2004, accepted 1 April 2005)

Abstract

The fine particles in the range of 30~500 nm are monitored at Hanyang University campus in Ansan using house made DMA (differential mobility analyzer) and commercial CPC (condensation particle counter, TSI inc.) in SMPS mode. The monitoring period is March 16th 2004 through May 7th, 2004. During the monitoring period, Aitken nuclei mode (30~100 nm) particle concentration has a tendency of increase in the morning and evening hours. However, the accumulation mode (100~500 nm) particle concentration stays rather stable than that of Aitken mode.

Key words : SMPS, Aitken nuclei mode, Accumulation mode

1. 서 론

대기 환경 문제가 대두되면서 미세먼지에 대한 관심도가 높아졌고, 이에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히, 도시환경에서 생성되는 미세먼지는 지구 환경에 영향을 주고 있으며, 인체에 해를 끼칠 수 있다(Wichmann and Peters, 2000). 자동차 등의 엔진에서 배출되는 초미세입자는 인체 위해성과 관련하여 그 중요성이 증대되고 있으며(Kittelson, 1988), 또한

최근에는 빈번하게 발생하고 있는 황사로 인하여 이의 영향에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다(Chun *et al.*, 2001).

일반적으로 미세입자는 구성 물질, 크기, 생성원리, 화학적 조성에 따라 nucleation mode (3~20 nm), Aitken nuclei mode (20~100 nm), accumulation mode (100~1,000 nm) 그리고 coarse mode (1,000 nm 이상)로 분류한다. Nucleation mode와 Aitken mode, accumulation mode의 입자는 가스 상태의 기체가 핵 응축하여 점점 성장하면서 만들어지며, coarse mode의 입자는 덩이 물질에서 떨어져 나와 마이크로 크기가 되어 생성되는 것으로 알려져 있다.

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-400-5284, E-mail : khahn@hanyang.ac.kr

가스 상태에서 입자가 생성되는 물리적 과정은 다음과 같다(1990, Kulmala).

- (1) 기상 반응
- (2) 핵 생성
- (3) 핵 표면에서의 응축 성장
- (4) 생성된 입자들간의 반응
- (5) 입자 내에서의 화학적 반응

(1), (2)번 과정에서 생성된 입자들이 3~20 nm의 크기를 갖는 nucleation mode이며, (3)번 과정에서 생긴 입자는 20~100 nm의 크기를 갖는 Aitken nuclei mode이고, (4), (5)번 과정에서 생성되는 입자가 Accumulation mode이다. Nucleation mode와 Aitken nuclei mode는 개수가 매우 많으며, 생성 조건에 따라서 변화가 매우 심하다. Accumulation mode는 Aitken mode의 변화 추이를 따라가지만, 그 변화폭은 제한적이다(Kaarel, 1996).

본 연구에서는 2004년 3월 16일부터 5월 7일까지 10분 간격으로 안산지역의 대기 중 초미세먼지 분포를 측정하였다. 측정 범위는 30~500 nm로, Aitken mode, accumulation mode에 있는 입자농도의 변화만을 관찰하였다. 측정시기인 3월에서 5월은 낮과 밤의 일교차가 심하며, 오전에는 강한 자외선이 쬐이는 경향이 있다. 이런 조건에서는 자외선에 의한 광화학 반응으로 새로운 입자가 생성되기 쉽기 때문에, 초미세입자의 농도변화를 관측하는데 유리하다(Kaarel, 1996). 또한 안산지역은, 공단이 가까이 있으며 바다를 접하고 있고 점점 도시화되어가는 지역이기 때문에 초미세입자의 농도변화가 높을 것으로 예상할 수 있다.

이에 본 연구에서는 안산지역의 초미세입자 농도를 연속적으로 모니터링하여 추후 이 지역의 대기환경에 관한 자료를 축적하고, 이 지역의 초미세입자의 특성 및 경향을 살펴보고자 한다.

2. 측 정

2.1 측정 위치

본 연구는 경기도에 위치한 한양대학교 안산캠퍼스내 제1공학관 3층 옥상에서 초미세입자의 분포를 측정하였다(그림 1). 측정위치에서의 초미세입자의 분포에 영향을 미칠 수 있는 주변 여건은 다음과 같다.

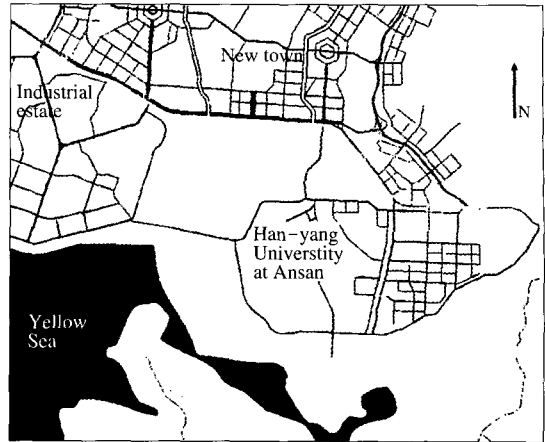


Fig. 1. Location of Hanyang University, Ansan and its surroundings.

(1) 측정위치로부터 북서방향으로 공단(안산-시화공단)이 위치하고 있다. 이 공단에서 배출되는 오염물질의 영향을 직접 받을 수 있다.

(2) 측정 위치로부터 북쪽에 있는, 산업도로의 차량에 의한 배기가스의 영향을 받을 수 있다.

(3) 측정 위치로부터 서쪽으로 바다와 맞닿아 있으며, 바다에서 불어오는 습하고 염분이 포함된 공기의 영향을 받을 수 있다.

(4) 캠퍼스 내부에 있는 연구실에서 배출되는 오염원의 영향을 받을 수 있다.

(5) 안산지역이 신도시이기 때문에 여러 곳에서 공사가 진행 중에 있으며, 캠퍼스 내에서도 공사가 진행되고 있다. 공사현장에서 생성되는 먼지의 영향을 받을 수 있다.

2.2 측정 방법

측정은 한양대학교 안산캠퍼스 제1공학관 3층 옥상(지상 15m 정도)에서 대기 중의 초미세입자를 샘플링하였다. 팬을 사용하여 직경 20cm, 길이 2.5m의 덕트로 대기 중의 공기를 흡입하면서, 덕트에 샘플링 프로브를 설치하여 입자 측정 시스템으로 유입시켰다. 측정 시스템은 미분형 전기 이동도 분석기(Differential Mobility Analyzer, DMA), 응축핵 계(Condensation Particle Counter, CPC)와 컴퓨터로 구성된 SMPS장치를 사용하였다. 초미세입자의 측정 범위는 30~500 nm이며, 10분마다 측정하였다. 본 연구에서

는 500 nm 이하의 초미세입자만을 측정하므로 입자 샘플링 시스템에서의 관성에 의한 입자 손실은 거의 무시할 수 있는 것으로 가정하였다.

3. 결 과

3.1 초 미세입자의 일변화

그림 2는 3월 23일 화요일의 초미세입자의 분포도이다. Aitken nuclei mode 입자와 Accumulation mode 입자의 농도변화를, 그리고 측정시점에서의 최빈값을 나타내는 입자의 사이즈를 시간별로 보여주고 있다. X축은 시간을, 좌측의 Y축은 입자 크기별로 측정된 농도를 모두 더한 값이며 우측의 Y축은 Peak Size를 나타낸다. 이 날의 평균 기온은 기상청발표 수원기준 7.6°C이며 풍속은 1.6 m/s, 일조시간은 11.6시간이다. 오전 6시에서 9시 사이에 Aitken mode의 입자수가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있으며, Accumulation mode의 입자수도 제한적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Peak size는 40 nm 근방에서 거의 일정함을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이는 Aitken mode의 입자의 생성이 Accumulation mode 입자의 생성보다 매우 크다는 것을 확인시켜주고 있다.

또한, 오전 10~12시를 보면 Aitken mode의 입자수가 현저하게 줄었으며, Accumulation mode의 입자수도 같이 줄어들었음을 확인할 수 있다. 그러나, Peak size의 분포는 최대 150 nm까지 커짐을 볼 수 있다. Peak size가 늘어나는 것은, 입자의 생성보다 입자의 성장이 더 지배적이라는 것을 의미한다. 또한, Peak size가 줄어드는 것은, 입자의 생성이 지배적인 측면과, Accumulation mode의 입자가 더 크게 성장하여 개수 농도로는 그 의미가 줄어드는 현상을 의미한다. 오전 10~12시 사이의 Peak size의 증가는 오전 6~9시 사이에 급격히 생성된 Aitken mode 입자가 Accumulation mode로 성장함으로써 파생된 결과라고 판단된다.

오후 4~6시 사이에서도 Aitken mode 입자의 급격한 상승이 있었으며, 오후 8~11시 사이에 Peak size가 증가하였음을 확인할 수 있다.

그림 3은 4월 7일 수요일의 초미세입자의 분포를 나타낸 것이다. X축은 시간을 나타내며, Y축은 입자

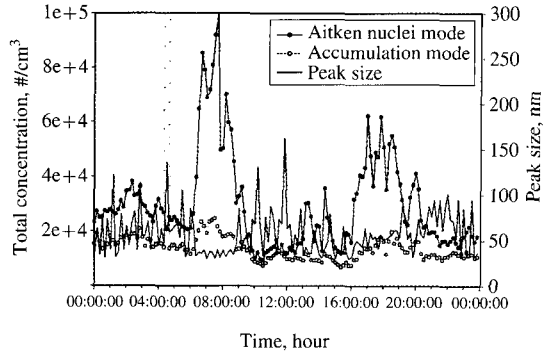


Fig. 2. Particle distribution at March 23rd, 2004.

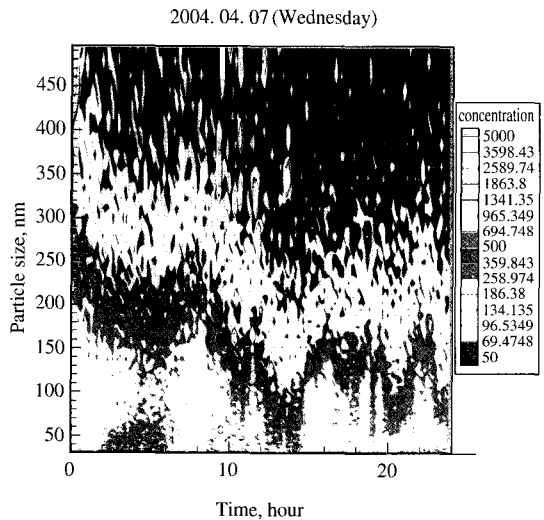


Fig. 3. Particle distribution on Abnormal day (April 7th, 2004).

의 크기를 나타낸다. 입자의 농도는 50~5,000#/cm³까지 자연로그 분포로 나타내었다. 이날의 평균 기온은 9.7°C이며, 평균 풍속은 2.7 m/s, 일조시간은 9.4시간이었다. 새벽 1시 이전에 매우 높은 농도를 가진 450 nm 크기의 입자가 측정된 후, 급방 사라졌다. 또한 오전 10시에서 오후 2시 사이에도 고농도의 입자가 측정된 후 사라지기를 반복하였다. 최대 농도는 10⁵#/cm³ 정도였다. 이는 일반적인 대기 환경에서 일어날 수 있는 것이 아닌, 특정한 오염원이 있음을 시사한다. 또한 농도가 매우 높으면서도 입자크기가 고루 퍼져있지 않다는 것은 오염 발생원이 측정 위치

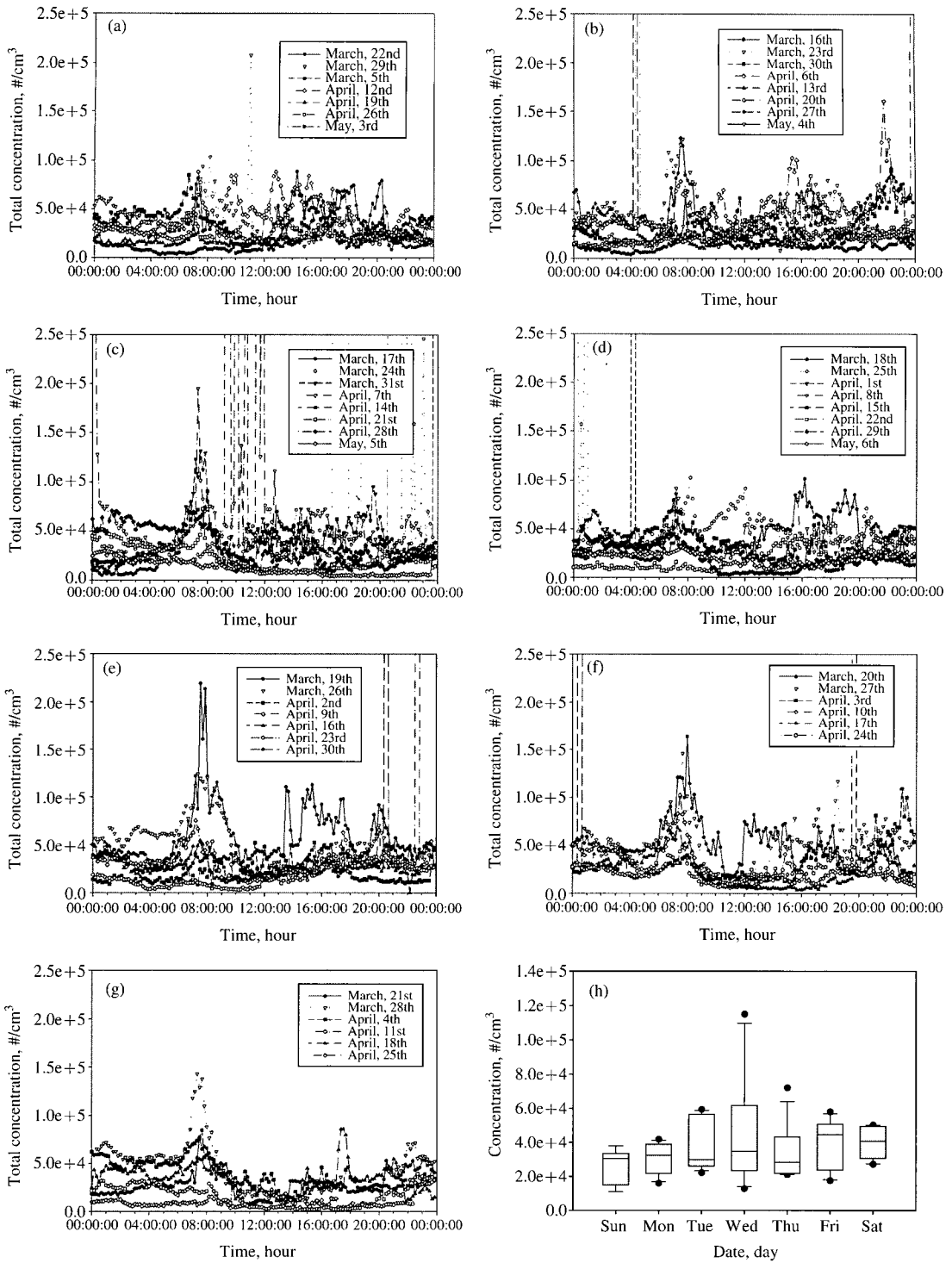


Fig. 4. Total particle concentration distribution by day of week. (a) Monday, (b) Tuesday, (c) Wednesday, (d) Thursday (e) Friday, (f) Saturday, (g) Sunday, (h) Week.

와 매우 가까이 있음을 유추할 수 있다. 그림 2에서도, 오전 4시경에 같은 현상이 일어나고 있음을 확인할 수 있다.

3.2 요일별 초미세입자의 농도분포

그림 4는 요일별 초미세입자의 분포를 나타내었다. 대체적으로 오전 6~9시 사이에 입자수가 많아졌다가 12시 전후로 줄어들었으며, 저녁에 다시 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. 그림 4의 (h)는 요일별 농도변화를 사분위표를 사용하여 나타낸 것으로, 중앙값을 나타내는 박스 내의 선을 기준으로 위 아래 25%를 표시하고 있다. 화, 수, 목요일에 입자수가 전반적으로 늘어났다가 주말을 전 후로 입자수가 줄어드는 것을 알 수 있다.

그림 5는 총 측정 날의 시간대별 Aitken mode, Accumulation mode의 분포와 Peak size의 분포를 나타내고 있다. 0~6시를 보면 Aitken mode의 입자의 총 농도는 20,000#/cm³으로 특별한 경향이 없는 반면, Accumulation mode 입자의 농도는 10,000#/cm³로 약간 높은 경향을 보인다. 그리고, Peak size도 약간 큰 경향을 보이는데, 이는 입자생성은 많지 않으면서 입자의 성장이 많이 일어나고 있다는 것으로 해석할 수 있다. Aitken mode와 Accumulation mode 입자 모두 오전 6~9시 사이에 증가하는 경향을 보이고 있으며, Peak Size는 줄어드는 경향을 보이고 있다. 즉 6~9시 사이에는 입자의 생성이 매우 활발하며, 그 영향으로 입자의 성장도 일어나고 있음을 알 수 있다. 12시 전후로는 Aitken mode와 Accumulation mode 입자 모두 낮은 경향을 보이고 있지만, Peak size는 매우 큰 경향성을 보이고 있다. 이는 입자의 생성이 저조하며, 입자의 성장이 거의 주도적인 것으로 판단된다. 또한 오후 2시 이후에는 Aitken mode의 농도는 상승하다가 평균치를 유지하는 모습을 보여주고 있으며, Accumulation mode의 입자는 낮은 농도를 유지하면서 약간씩 상승하는 경향을 보여주고 있다. 그런데, Peak size는 오후 4~7시 사이에 평균입자 크기가 작아지다가 밤이 되자 다시 커지는 경향을 보여주고 있다. 이는 해질 무렵 입자 생성이 일어나며, 밤이 되면서 입자가 성장하는 것으로 판단된다.

나노입자는 화학적/광화학적으로 생성되는 것으로 알려져 있으며, 그 주요인으로 차량의 엔진이나 화학

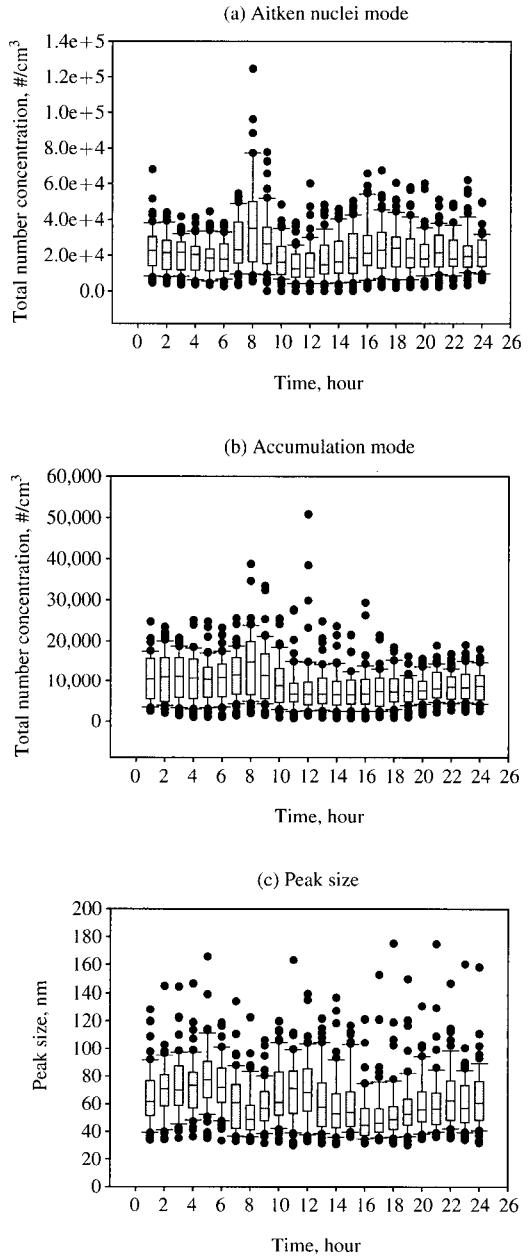


Fig. 5. Tendency of particle distribution according to Aitken nuclei mode, accumulation mode and peak size.

물질의 반응, 연소 등을 들 수 있다. Kittelson (2004)은 도로 주변에서의 차량 수와, 풍향 및 풍속의 변화에 따른 초미세입자의 농도와의 연관성을 연구하였

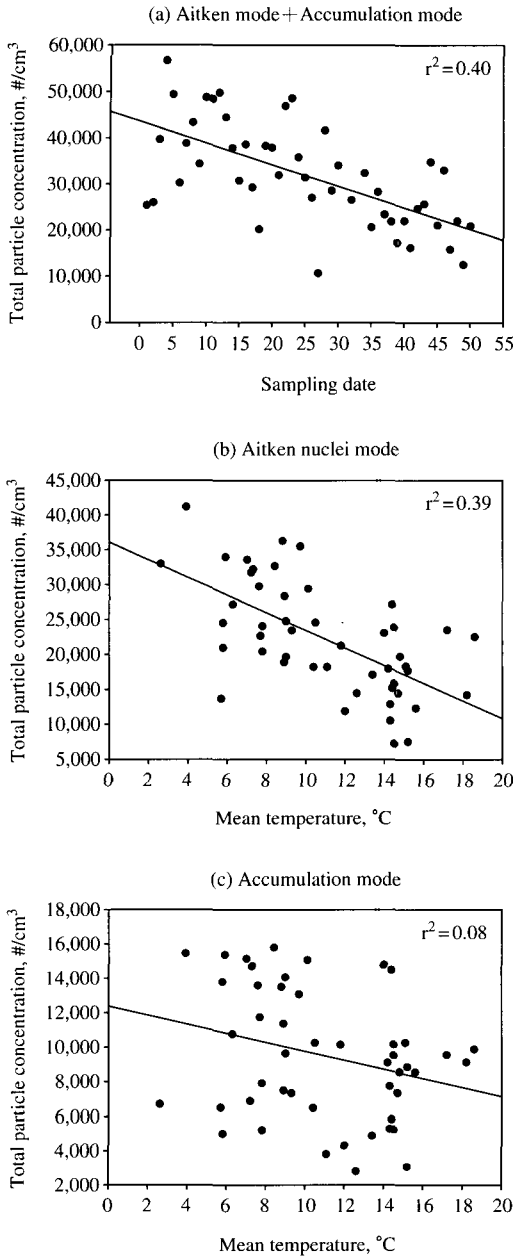


Fig. 6. Relationships (a) between total particle concentration and a day (b) between Aitken nuclei mode and mean temperature, (c) accumulation mode and mean temperature.

다. 즉, 오전 6~9시 사이에 일어나는 초미세입자의 급격한 생성은, 측정위치로부터 북쪽에 위치한 산업

도로에서 반월 공단으로 출근하는 차량의 영향이라고 판단된다. 또한 저녁때 초미세입자의 증가도 산업 도로를 이용하는 퇴근 차량의 영향이 크다고 판단된다.

아침에 입자의 생성이 저녁보다 큰 이유는, 아침에 출근하는 차량의 급격한 증가와 더불어 아침에 내리쬐는 강한 자외선 및 심한 일교차 때문일 것으로 생각된다.

3.3 전반적인 농도 변화

그림 6(a)는 3월에서 5월로 접어들면서 초미세입자의 농도가 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 그림 6(b)를 보면, 평균 온도가 증가함에 따라 Aitken nuclei mode의 농도가 점차 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Accumulation mode의 농도는 평균온도와는 상관관계가 없음을 알 수 있다. 이는 3월, 4월의 아침에 내리쬐는 강한 자외선과 심한 일교차 때문에, 3월에서 5월이 되면서 입자의 총 농도가 감소하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2004년 3월 16일부터 5월 7일까지, 안산지역의 초미세입자 농도 변화를 모니터링하였다.

(1) 전반적으로 30~500 nm 입자의 농도는 $10^4 \sim 10^5$ #/cm³이었다.

(2) 주중에 입자의 농도가 높아졌으며, 주말에 입자의 농도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 아침 8시경에 입자의 농도가 매우 높게 나타나는 경향을 보였으며, 점심 전후로 입자의 농도가 크게 줄은 후, 오후 3시 이후에 다시 증가하는 경향성을 보였다.

(4) Aitken nuclei mode의 입자와 Accumulation mode의 입자의 분포, 그리고 Peak size의 분포의 변화로써, 입자의 생성 및 성장상태를 가늠할 수 있었다.

(5) 아침과 저녁에는 입자의 생성이 활발하였으며, 정오와 밤중에는 입자의 성장이 활발하였다.

(6) 급격하게 많은 입자가 관측된 후 사라지는 현상이 빈번하게 발생하였다.

(7) 봄에서 여름으로 가면서 입자의 농도가 줄어드는 경향성을 보였다.

(8) Aitken nuclei mode의 입자는 평균기온과 연관성을 보였으나, Accumulation mode의 입자는 평균기온과 연관성을 보이지 않았다.

본 연구에서는, 안산지역에서의 초미세입자 농도변화를 관측하여 경향성을 파악하고자 하였다. 차후에 더 많은 데이터를 확보 수집함으로써, 초미세입자의 농도에 변화를 주는 요인에 대하여는 파악할 수 있었으면 한다.

참 고 문 헌

- 박덕신, 김태오, 김동술 (2003) 디젤기관차 엔진에서 배출되는 입자의 특성분석, 한국대기환경학회지, 19(2), 133-143.
- 최형욱, 황인조, 김신도, 김동술 (2004) 분진의 개수농도 및 질량농도에 입각한 서울시 지하철 역사내 오염원의 기여도 결정, 한국대기환경학회지, 20(1), 17-31.
- Chun, Y., K.O. Boo, J. Kim, S.U. Park, and M. Lee (2001a) Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea, Journal of Geophysical Research, 106(D16), 18461-18469.
- Despiau, S., S. Cougnenc, and F. Resch (1996) Concentrations and size distributions of aerosol particles in Coastal zone, J. aerosol Sci., 27(3), 403-415.
- Kaarel Hämeri *et al.* (1996) The investigations of aerosol particle formation in urban background area of Helsinki, Atmospheric Research 41, 281-298.
- Kittelson, D.B. (1998) Engines and nanoparticles, J. Aerosol Sci., 29, 575-585.
- Kittelson, D.B., W.F. Watts, and J.P. Johnson (2004) Nanoparticle emissions on Minnesota highways, Atmospheric Environment 38, 9-19.
- Kulmala, M. *et al.* (2004) Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observation, Aerosol Science 35, 143-176.
- Mönkkönen, P. *et al.* (2004) Death of nucleation and Aitken mode particles: observations at extreme atmospheric conditions and their theoretical explanation, Aerosol Science 35, 781-787.
- Wehner, B., A. Wiedensohler, and J. Heintzenberg (2000) Submicrometer aerosol size distributions and mass concentration of the millennium fireworks 2000 in Leipzig, Germany, J. Aerosol Sci., 31, 1489-1493.
- Wichmann, H-H. and A. Peters (2000). Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, 358, 2751-2769.