

서울 성북지역 미세먼지 및 미세먼지결합 수은의 모니터링

박은정, 이종화¹, 김대선¹, 박광식*

동덕여자대학교 약학대학, ¹국립환경과학원 환경건강연구부

Monitoring of Fine Particles and Particles-bound Mercury in Seongbuk-gu Area of Seoul Metropolitan City

Eun-Jung Park, Jongwha Lee¹, Dae-Seon Kim¹ and Kwangsik Park*

College of Pharmacy, Dongduk Women's University, #23-1, Wolgok-dong,
Sungbuk-gu, Seoul 136-714, Korea

¹National Institute of Environmental Research, Environmental Health Department,
Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-170, Korea

ABSTRACT

PM10 and PM2.5 in ambient air were collected in Seongbuk-gu area of Seoul for one year, from April 2005 to February 2006, and the concentration of PM-bound mercury was monitored. The annual concentrations of particles were $66.4 \pm 43.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($47.6 \pm 19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 106.1 \pm 78.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in PM10 and $37.2 \pm 20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($28.0 \pm 23.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 42.7 \pm 21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in PM2.5, which is about 56% of PM10 concentration. The annual average concentrations of mercury were $0.125 \pm 0.078 \text{ ng}/\text{m}^3$ in PM10 and $0.141 \pm 0.080 \text{ ng}/\text{m}^3$ in PM2.5, respectively. In April of Asian dust season in Korea, mercury showed the highest concentration in both PM10 and PM2.5.

Key words : PM10, PM2.5, mercury, monitoring, Seoul

서 론

현대화, 산업화와 더불어 환경오염과 관련된 사회적 문제가 관심사로 부각되고 있다. 이 가운데 대기오염은 호흡을 통해 사람의 건강을 위협하는, 국가적 차원에서의 관리가 필요한 유해물질 노출 경로이다. 대기오염의 가장 중요한 원인물질 중 하나인 먼지는 발생원에 따라 카드뮴, 비소, 망간, 아

연, 니켈, 크롬 등의 중금속 및 벤조파이렌, 벤조크리센, 니트로파이렌 등 다환족 방향성 탄화수소를 함유하고 있으며 이들이 먼지를 통해 인체에 유입될 경우 여러 가지 기전을 통해 호흡기계 및 순환기계 뿐만 아니라 암을 유발시키거나 생식독성 등을 발현할 수 있게 된다(Donaldson and MacNee, 2001; Kumar and Jugdutt, 2003).

한편 수은은 환경오염물질로서 대기뿐만 아니라 수질, 저질, 생체 중에서 검출되는 광범위한 오염물질이다. 주로 석탄연료의 연소, 도시고형폐기물의 소각, 그리고 다양한 산업 활동결과로 환경중으로

*To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-940-4522, E-mail: kspark@dongduk.ac.kr

배출되는 데 대기중에 배출되는 수은의 형태는 대략 세 가지 형태로 존재한다. 즉, 가스상태의 수은 원소(Hg^0), 반응성 높은 수은 2가 이온(Hg^{2+}) 및 먼지수은(particulate mercury, Hg_p)이다. 대기중 수은의 대부분은 가스상의 수은원소(Hg^0)로 존재하며 먼지상의 수은은 총수은의 2% 정도라고 알려져 있다. 비록 대기중 대부분의 수은이 수은원소로 존재하지만 최근 먼지와 결합한 수은도 건강영향평가의 중요한 부분으로 연구의 필요성이 높아가고 있다(Galbreath and Zygarlicke, 2000; Landis *et al.*, 2002; Park and Park, 2007).

본 연구에서는 2005년 4월부터 2006년 2월까지 1년 동안 격월로 월간 8~15일씩 PM10과 PM2.5를 포집하고 포집된 먼지에 결합한 수은농도를 분석하였다. 이를 통해 총 대기수은 가운데 미세먼지에 결합한 수은의 분율을 산정하고 도시 주거지역에서 주민에게 미칠 수 있는 수은의 영향을 판단하기 위한 기초자료를 생산하고자 시도되었다.

재료 및 방법

1. PM10 및 PM2.5포집

PM10과 PM2.5는 성북구 하월곡동에 위치한 동덕여자대학교 약학대학 옥상에서 포집하였다. 샘플러가 위치한 건물옥상은 서울시 내부순환 고가도로 및 6차선 도로변으로부터 약 300 m 떨어진 곳에 위치하고 있으며 인근 지역은 아파트에 둘러싸여 있어 전형적인 도심 주거지역을 대표한다고 볼 수 있다. PM10과 PM2.5 Filter (PALL Life Sciences, Zefluor™ 2.0 μm)는 테시케이터에서 이틀간

건조 시킨 후 무게를 측정하고, Thermo electron corporation사의 FH95 particulate sampler에 고정시킨 후, 분당 16.7 liter로 24시간동안 포집하였다. PM2.5는 직경 2.5 μm 이상의 먼지를 제외시키는 분립장치가 장착된 동일회사의 샘플러를 사용하였다. 포집이 끝난 필터를 다시 테시케이터 안에서 이틀간 건조시킨 후 무게를 측정하여 먼지농도를 계산하였다(Hsu *et al.*, 2002; Kyotani and Iwatsuki, 2002).

2. 중금속 추출 및 수은 분석

PM2.5와 PM10이 포집된 각각의 필터를 세절하여, 마개가 있는 유리병에 넣고 2.6 M HNO_3 와 0.9 M HCl 의 혼합액 15 mL을 넣은 후 60분 동안 실온에서 Sonication시킨 후 hot plate 위에서 2시간 동안 끓인 후, 뚜껑을 열어 혼합액을 완전히 증발시켰다. 5 mL의 탈이온수를 넣어 추출된 수용성 중금속 성분을 용해시킨 후 수은분석기 (SP-3DS, Japan)로 측정하였다(Fang *et al.*, 1999; Voutsas and Samara, 2002; Samara and Voutsas, 2005).

결과 및 고찰

본 연구에서는 2005년 4월부터 2006년 2월까지 매월 약 8~15일씩 격월간으로 PM10 및 PM2.5를 포집하고 이들 먼지를 산분해하여 중금속을 추출한 후 수은농도를 분석하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 연중 PM10농도는 $66.4 \pm 43.2 \mu g/m^3$ ($47.6 \pm 19.1 \mu g/m^3 \sim 106.1 \pm 78.0 \mu g/m^3$)이었으며 4월중 먼지농도는 $106.1 \pm 78.0 \mu g/m^3$ 로 가장 높게 나타났

Table 1. Ambient concentrations of PM10, PM2.5 and PM-bound Mercury in Seongbuk-gu area of Seoul Metropolitan city.

Date	PM 10			Total sampling days	PM2.5			Total sampling days
	PM10 ($\mu g/m^3$)	Hg Conc. (ng/m ³)			PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Hg Conc. (ng/m ³)		
		AV	SD			AV	SD	
Apr. 2005	106.1 ± 78.0	0.343	0.230	15	37.0 ± 24.8	0.306	0.169	15
Jun. 2005	58.3 ± 23.5	0.124	0.220	15	40.7 ± 18.0	0.074	0.083	15
Aug. 2005	39.9 ± 30.7	0.068	0.058	11	28.0 ± 23.4	0.143	0.208	11
Oct. 2005	47.6 ± 19.1	0.066	0.080	8	31.1 ± 31.0	0.084	0.158	8
Dec. 2005	73.8 ± 34.7	0.069	0.065	11	42.7 ± 21.4	0.127	0.115	11
Feb. 2006	74.5 ± 30.5	0.084	0.132	10	40.4 ± 18.8	0.110	0.310	10
Annual Conc.	66.4 ± 43.2	0.125	0.078		37.2 ± 20.4	0.141	0.080	

다. 2005년 4월 20일 11시30분부터 4월 21일 오전 2시30분까지 황사주의보가 1회 발령된 바 있으며 4월 21~22일, 4월 28~29일 사이에는 미약한 황사가 발생하였으므로 PM10의 4월중 최고농도를 보인 것은 4월중의 황사발생과 관련이 있는 것으로 보인다(박은정 등, 2005). PM2.5의 경우 연평균 농도는 $37.2 \pm 20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($28.0 \pm 23.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 42.7 \pm 21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 나타났으며 PM10 농도의 약 56%에 해당하였다. 특기할 만한 사항은 PM10이 최고농도를 보인 4월중 PM2.5는 거의 평균농도수준으로서 황사의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 우리나라에 낙하하는 황사의 입경은 PM2.5 이상에 해당함을 의미한다. 수은의 농도는 PM10에서는 $0.125 \pm 0.078 \text{ ng}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며 PM2.5에서는 $0.141 \pm 0.080 \text{ ng}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 특기할 만한 사항으로는 PM2.5의 경우 PM10에 비해 연평균 농도가 56% 정도이지만 수은의 농도는 큰 차이가 없었다는 점이다. 오히려 연중 평균값은 PM2.5에서 더 높은 값이 나타났는데 (Student's t-test에 의한 통계적 차이는 없음) 이는 먼지중량당으로 환산할 경우에는 수은은 PM10보다는 PM2.5에 더 많이 분포할 수 있다는 것을 의미한다. 특히, PM10과 PM2.5의 4월중 농도차이는 매우 큰데, 그럼에도 불구하고 수은의 경우 큰 차이를 보이지 않고 있어 흥미롭다 (PM10: $0.343 \pm 0.230 \text{ ng}/\text{m}^3$, PM2.5: $0.306 \pm 0.169 \text{ ng}/\text{m}^3$).

대기중 수은은 여러 형태로 존재할 수 있는데 총 수은중 먼지에 결합한 수은은 약 2%정도에 해당한다고 알려져 있다. 우리나라 대기중 총수은농도를 측정된 자료를 보면 1997년부터 2002까지 서울 양재동 관측소의 경우 최저 $4.61 \pm 3.13 \text{ ng}/\text{m}^3$ (2001년)에서 최고 $6.87 \pm 5.10 \text{ ng}/\text{m}^3$ (2002년)으로 나타났다(김대선 등, 2005). 이를 우리나라 대기중에서 일반적으로 검출되는 총 수은 농도로 설정할 경우 이들 농도의 2%는 약 $0.09 \sim 0.14 \text{ ng}/\text{m}^3$ 에 해당하는데 본 연구에서 측정된 미세먼지결합 수은의 농도측정 결과와 매우 유사한 값을 보이고 있다.

향 후, 대기중 먼지에 결합한 수은의 연중분포, 먼지에 결합한 수은의 형태, PM10과 PM2.5에 결합한 수은의 특성, 호흡기를 통한 인체부하량에 미치는 분포 등이 보다 상세하게 연구된다면 수은에 의한 도시지역 주민의 인체위해성을 보다 정밀하게 평가할 수 있을 것으로 본다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업으로 지원받은 과제입니다.

참고 문헌

- 김대선, 김근배, 강택신, 이종화, 유승도, 박중희, 안승철, 남상훈, 황동진, 박광식, 수은의 인체노출 및 건강영향에 관한연구 (I), 2005; 국립환경과학원 NIER No 2005-10-755, pp. 103-118.
- 박은정, 강미선, 유대은, 김대선, 유승도, 정규혁, 박광식, 서울북부지역 미세먼지에 함유된 유해중금속의 분석 및 건강위해성평가, 한국환경독성학회지 2005; 20(2): 179-186.
- Donaldson K and MacNee W. Potential mechanisms of adverse pulmonary and cardiovascular effects of particulate air pollution (PM₁₀). *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2001; 203: 411-415.
- Fang GC, Chang CN, Wu YS, Fu PPC, Yang DG and Chium CC. Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in suburban and rural sites of central Taiwan. *The Science of The Total Environment* 1999; 234: 203-212.
- Galbreath KC and Zygarlicke CJ. Mercury transformations in coal combustion flue gas. *Fuel Process Tech* 2000; 65-66: 289-310.
- Hsu SC, Liu SC, Jeng WL, Lin FJ Lin, Huang YT, Lung SCC, Liu TH and Tu JY. Variations of Cd/Pb and Zn/Pb ratios in Taipei aerosols reflecting long-range transport or local pollution emissions, *Science of The Total Environment* 2004; 347: 111-121.
- Kumar D and Jugdutt BI. Apoptosis and oxidants in the heart, *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 2003; 142: 288-297.
- Kyotani T and Iwatsuki M. Characterization of soluble and insoluble components in PM_{2.5} and PM₁₀ fractions of airborne particulate matter in Kofu city, Japan, *Atmospheric Environment* 2002; 36: 639-649.
- Landis MS, Stevens RK, Schaedlich F and Prestbo EM. Development and characterization of an annular denuder methodology for the measurement of divalent inorganic reactive gaseous mercury in ambient air. *Environ. Sci. Technol.* 2002; 36: 3000-3009.
- Park EJ and Park K. Induction of reactive oxygen species and apoptosis in BEAS-2B cells by mercuric chloride,

Toxicol. In Vitro, 2007; 21: 789-794.

Samara C and Voutsas D. Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment, Chemosphere, 2005; 59: 1197-1206.

Voutsas D and Samara C. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas, Atmospheric Environment 2002; 36: 3583-3590.