

수원지역의 대기 중 Pb의 농도 결정

이태정 · 김성천 · 김동술

경희대학교 환경학과 대기오염연구실
(1995년 7월 5일 접수)

Determination of Atmospheric Lead in Suwon City

Tae-Jung Lee, Seong-Cheon Kim and Dong-Sool Kim

Dept. of Environmental Science, Air Pollution Lab., Kyung Hee University
- Suwon Campus

(Manuscript received 5 July 1995)

Abstract

Monitoring of lead concentration in the ambient air was performed in Kyung Hee University-Suwon Campus over a period of 5 year from November 1989 to September 1994 using a cascade impactor having 9 size stages. Lead level was analyzed by x-ray fluorescence. The lead levels have been extensively examined to identify annual trends, seasonal variations, and size distribution of lead concentration. Even though consumption of leaded gasoline has been decreased, the levels have not significantly changed during the sampling period. Probably other sources like fossil fuel emission and refuse incinerator will be potential contributors. The seasonal variation showed that Pb concentration significantly increased in the winter season and decreased in the summer season. The size distributions of Pb were observed to be unimodal distribution of the 1.1~2.1 μm size ranges in the winter and 0.65~1.1 μm in the summer.

Key Words : Lead, Cascade impactor, X-ray fluorescence, Size distribution.

1. 서론

대기 중 입자상 오염물질 및 금속원소에 대한 연구는 환경과 인체에 미치는 영향으로 더욱 증대되고 있다(Infante and Acosta, 1991). 입자상 오염물질에 대한 가장 관심 있는 연구분야는 미량원소의 입경별 분포이다. 특히, 미세입자의 경우 인위적 오염원에서 배출된 미량원소와 결합하여 호흡기내의 높은 침투도, 대기 중 긴 체류 시간, 오염원 확인이 가능한 원소흡착으로 오염원의 고유한 추적자로서의 역할등에 의해 더욱 관심이 집중되

고 있다(Li and Winchester, 1990; Ondov *et al.*, 1990; Lyons *et al.*, 1993).

미량원소 중 Pb는 가공이 용이하고 내식성이 강한 특성으로 수 천년 동안 인간 생활에 사용된 주요 금속원소중의 하나이다. 그러나 납화합물질은 저농도에서 장기간 노출되었을 때 골격, 치아 등에 축적되거나 고농도에서 단기간 노출되었을 때 간, 폐, 중추신경, 혈액중에 축적되어 지능저하, 행동장애, 심장질환, 사망 등을 유발하는 독성물질로서 알려져 있다(El-Shoboshy, 1984; Driscoll *et al.*, 1992). Pb에 의한 대기오염 문제는 1940년에 4-에칠납을 휘발유에 녹킹방지제로 사용한 이후에

Table 1. Meteorological information at Suwon during the study period(1990~1994).

Month	1990			1991			1992			1993			1994		
	Temp. (°C)	R.H. (%)	Rainfall (mm)	Temp. (°C)	R.H. (%)	Rainfall (mm)	Temp. (°C)	R.H. (%)	Rainfall (mm)	Temp. (°C)	R.H. (%)	Rainfall (mm)	Temp. (°C)	R.H. (%)	Rainfall (mm)
Jan.	-3	67	64.0	-3	68	17.2	-1	72	14.2	-3	66	2.2	-1	64	4.4
Feb.	2	77	69.3	-1	63	42.1	0	65	25.5	0	67	56.0	0	62	10.8
Mar.	7	73	82.7	4	66	51.7	7	64	11.6	5	68	27.1	4	62	50.9
Apr.	11	72	81.4	12	62	52.6	11	60	76.0	10	69	63.5	14	57	25.3
May.	16	79	113.8	17	63	123.0	16	68	67.0	17	68	84.0	18	67	141.4
Jun.	21	84	404.7	22	75	89.8	20	74	51.3	21	80	15.2	22	69	94.0
Jul.	25	88	268.4	24	86	567.6	25	85	169.2	23	78	458.1	29	71	81.3
Aug.	26	83	290.4	25	76	82.4	25	83	334.4	23	80	132.9	28	72	158.0
Sep.	21	79	582.7	20	79	185.2	21	80	168.6	21	74	84.0	21	68	68.1
Oct.	14	72	0.0	13	69	30.8	13	79	37.7	13	70	21.8	15	70	191.0
Nov.	9	77	59.4	5	67	25.2	6	70	62.8	9	71	62.3	14	64	31.2
Dec.	5	73	26.8	2	73	52.8	1	68	53.5	0	66	19.1	1	62	20.0

급증하였다. 유연휘발유의 사용으로 자동차 통행량의 증가는 대기 중 납의 농도를 증가시키는 가장 큰 요인으로 작용하였으며(Tripathi, 1993), 자동차의 통행량과 대기 중 납 농도간에 높은 상관관계가 조사되었다. 또한, 산업지역 내의 거주인의 혈중 납농도는 다른 지역 보다 상대적으로 높게 측정되었다(Brown, 1986, Walter and Raveendran, 1990). 이미 미국, 일본, 유럽의 여러 나라들은 납 오염문제를 해결하기 위해 70년대 이후 무연휘발유를 공급하여 현재는 거의 대체하였으며, 우리나라도 납 농도의 저감 방안으로 1987년 7월부터 무연휘발유를 공급하기 시작하여 1993년부터 무연화하도록 규제기준(0.0013 g/l 이하)을 설정하였다.

본 연구에서는 미세분진 및 그 화학적 성분에 의한 피해 및 영향이 커짐에 따라 대기 중 주요 오염물질(criteria pollutant)중의 하나인 납의 연도별, 계절별 오염도 조사 및 납의 입경별 농도분포를 조사를 실시하였다. 또한, 대기 중 납 농도의 저감 방안으로 1993년 유연휘발유의 완전 공급 중단 이후 납오염도 변화 특성을 분석·고찰하므로써 유연휘발유가 대기 중 납농도에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 본 연구에서는 경희대학교 수원캠퍼스에서 1989년 이후 1994년까지 5년동안 대기 중 입자상오염물질을 cascade impactor를 이용하

여 입경별로 포집한 후 x-선 형광분광기(x-ray fluorescence; XRF)로 분석한 자료를 사용하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료포집 위치

본 연구를 위한 시료 포집은 1989년 11월부터 1994년 9월까지 5년간 경기도 용인군에 위치한 경희대학교 수원캠퍼스에서 실시되었다. 경희대학교는 경부고속도로 신갈지점에서 서측으로 2 km, 수원시에서 동측으로 10 km에 위치해 있다. 주변현황은 면적 231 ha의 신갈호수가 있으며, 크고 작은 공장들이 신갈호 및 지천유역에 위치해 있다. 연구 대상 지역의 대기 오염배출 업소는 1종 5개, 2종 6개, 3종 10개, 4종 10개, 5종 5개가 위치하고 있다. 1994년부터 농경지였던 학교 주변에 대단위 주택단지 개발이 진행되고 있으며, 교통량이 급증하고 있는 실정이다. 본 연구지역은 거대도시인 서울시의 주변 도시로써 현재 개발이 진행되고 있는 여러 위성도시의 대기질을 대표할 수 있다.

이 지역의 월별풍향, 풍속, 상대습도, 기온, 강수량 등의 기상자료는 한국기상청(Korea Meteoro-

logical Administration)의 자료를 사용하였다. 연구대상 지역의 시료포집 기간인 1990년부터 1994년까지 5년 동안의 월별 기상 자료는 표 1과 같다. 연구기간 동안 평균 기온은 여름철인 6, 7, 8월에 20 °C 이상의 높은 기온을 유지하였으며, 1994년 7월에 29 °C로 최고 기온을 기록하였다. 평균 상대습도 역시 여름철 기간 동안 75 % 이상의 높은 값을 보였다. 이 지역의 강수량은 1990년에 다른 기간에 비해 많았으며, 특히 9월은 582.7 mm의 최고 강수량을 보였다. 월별 강수량이 높은 기간은 7, 8, 9월로 이 기간을 전후로 점차적으로 감소하였다.

2.2 시료포집 방법

분진의 입경별 포집은 9단의 low pressure impactor(LPI)를 사용하여 실시하였다. 입경별 포집기인 cascade impactor는 일본 Dylec사(Model KA-200) 제품으로 공기역학적 직경(aerodynamic diameter)에 따라 분진을 일정한 크기로 손쉽게 포집할 수 있다. LPI는 1~9 단에 대해 공기역학적 직경으로 유효절단 직경(efficiency cutoff diameter) D_p 가 11, 7.0, 4.7, 3.3, 2.1, 1.1, 0.65, 0.43, 0.08 μm 이다. 또한 입자의 bouncing을 최소화하기 위해 충돌판(impaction surfaces)은 직경 80 mm, pore size 0.43 μm 의 membrane filter(미국 Gelman Science사: Model GN-6)를 사용하였다. LPI의 유속은 28.3 ℓ/min 였으며, 통과된 공기량은 매일 유속 변화를 측정하여 경희대학교 대기오염연구실에서 개발된 프로그램을 이용하여 산출하였다. 여지의 교체는 충분한 중량을 얻기 위하여 7일에서 30일 간격으로 대기 분진의 부하량에 의해 25 ℓ/min 이하로 유속이 급격히 떨어질 때 교체하였다. 여지는 시료 포집 전 후 3일간 항온, 항습상태의 데시케이터내에 보관하여 항량이 되게 한 후 감도(sensitivity) 0.1 mg의 전자저울(A&D Co. Ltd. : Model ER-180A)로 칭량하였다. 대기중 분진의 평균 농도는 칭량 전후의 중량차와 총포집 유량을 측정하여 산출하였다. 대기중 시료포집은 1989년 11월부터 1994년 9월까지 5년 동안을 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울

(12~2월) 사계절별로 구분하여 실시하였다. 각 계절별 시료 갯수는 겨울철이 19개, 봄철이 23개, 여름철이 19개, 가을철이 17개였다.

2.3 분석 방법

시료 중 Pb의 분석을 위해 일본 Rigaku 사의 XRF(Model 3063)를 사용하였다. XRF 분석절차는 다음과 같다. 시료가 포집된 membrane filter는 직경 30 mm의 펀치를 이용하여 일정한 크기로 절취한 후 시료 holder에 넣고 포집된 분진의 비산을 막기 위해 투명한 mylar막으로 덮어 표 2와 같은 작동조건으로 측정하였다. 표준시료는 미국의 NIST사의 표준시료물질 SRM 1833(일련번호 1207)을 사용하였다. Pb의 농도는 시료의 x-선 강도에서 바탕시료의 x-선 강도를 빼준 값을 이용하여 산출하였다.

Table 2. XRF analysis conditions for lead.

Primary X-ray:		
X-ray tube target	:	Rh
voltage	:	50 kV
current	:	50 mA
power	:	2.5 kW
beam path	:	vacuum
Fluorescent X-rays:		
analytical crystal	:	LiF(200)
Detection:		
detector	:	scintillation
analysis line	:	$L\alpha$
angle 2θ	:	33.94

3. 결과 및 고찰

3.1 연도별 농도 변화

환경중의 Pb 오염농도는 다양한 오염원에 의해 영향을 받는다. 특히, 대기 중 Pb 오염도는 납을 사용하는 유연휘발유에 의한 것으로, 우리나라의 경우도 유연휘발유의 사용증가에 의한 것으로 보고되고 있다. 현재 대부분의 국가에서 유연휘발유의 사용량이 점차적으로 감소 추세에 있으며, 우

리나라도 유연휘발유 사용량은 1988년을 기점으로 점차적으로 감소하기 시작하여 1993년부터 유연휘발유 공급을 전면 금지시켰다.

표 3은 본 연구지역인 수원지역에서의 5년간 연도별 Pb의 최대, 최소 농도, 산술평균, 표준편차와 기하평균, 표준편차 값을 제시하였다. 연구 기간 동안 가장 낮은 농도는 1990년으로 기하평균 108 ng/m³이었으며, 가장 높은 농도는 기하평균 275 ng/m³인 1993년이었다. 1990년도의 대기 중 납의 낮은 농도는 이 기간 동안 기록된 높은 강수량의 영향으로 사료된다(표 1). 그러나 연구기간 동안 대기 중 납의 환경 기준치인 3개월 평균 1500 ng/m³ 보다 모두 낮은 농도를 보였다.

Table 3. Arithmetic and geometric mean concentration of Pb in Suwon area for the sampling period (1989 ~ 1994).

Years	No. of sample	Pb in air(ng m ⁻³)					
		A. mean	A. SD	G. mean	G. SD	Min.	Max.
1989	58	240	170	228	1.7	151	365
1990	256	134	79	108	2.0	34	281
1991	330	297	163	268	1.6	78	543
1992	300	228	144	211	1.9	22	451
1993	254	304	248	275	1.8	98	514
1994	132	224	73	208	1.4	142	459

서울시의 납 오염도는 1975년 1,210 ng/m³에서 점차적으로 증가하여 1980년도에는 2,510 ng/m³으로 대기 환경기준치인 1,500 ng/m³ 이상의 높은 오염도를 보였다. 그러나 1990년 이후 대기 중 납 오염도는 점차적으로 감소하여 1993년에는 280 ng/m³으로 매우 낮은 농도를 보였다(한국환경연감, 1994). 우리나라뿐만 아니라 대부분의 지역에서 유연 휘발유 사용 감소 이후 대기중의 납오염도가 감소하는 추세이다(Simpson and Xu, 1994; Wixson and Davies, 1994). 그러나 본 연구 지역의 경우 1989년부터 1994년까지 대기중의 납농도의 추세는 그림 1과 같이 뚜렷한 양상을 보이지 않았다.

납의 주요한 발생원인 유연휘발유의 사용량은

급격히 감소하였으나 대기 중 납 농도의 변화 양상이 뚜렷하지 않은 이유는 공급되는 무연휘발유의 납 허용기준치가 l당 0.0013 g 이하로서 소량의 납이 포함되어 있으나 경부고속도로를 포함한 연구 주변 지역의 교통량 역시 크게 증가하여 대기중 납의 총 배출량에는 큰 변화가 없었던 것으로 사료된다. 또한, 본 연구지역의 경우 납 오염도에 기여한 오염원은 유연휘발유를 사용한 자동차 이외에도 다른 Pb 발생원이 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다. 일반적으로 납의 주요 발생원으로는 화석연료인 석탄이나 황산납을 사용하는 자동차 배터리, 그리고 페인트나 안료 등이 포함된다. 우리나라 전국 석탄 사용량은 1984년 36,897 천톤에서 1994년 43,546 천톤으로 점차적으로 증가하였다(국립환경연구원, 1995). 일반적으로 우리나라에서 사용되는 석탄중의 납 농도는 우리나라에서 생산되는 무연탄과 수입되는 유연탄 모두 200~300 ppm으로 보고되고 있다(대한석탄기술연구소, 1988). 경기지역의 94년 석탄 소비량은 약 60 만톤으로 석탄 중 납의 함유량인 톤당 200~300 g을 적용하면 석탄에 의한 납의 연 배출량은 120~180 톤에 이른다.

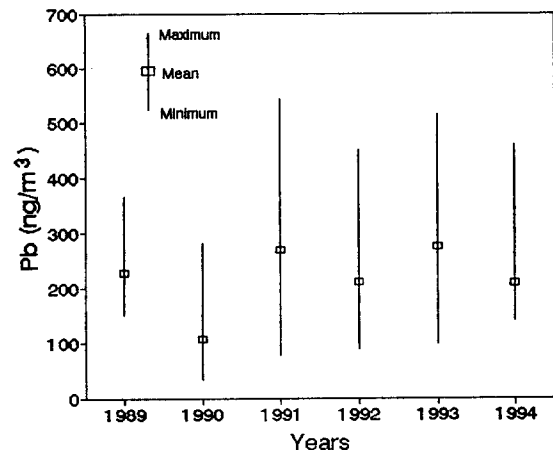


Fig. 1. Annual distribution of Pb concentration in Suwon atmosphere.

또한, 대기중의 납 농도는 토양중의 납화합물에

의해 크게 영향을 받는다. 납은 토양중에서 높은 농도로 측정되는데, 이는 이미 배출된 납 화합물이 대기중에 부유하다 주변 지역의 토양이나 지표면에 침강하여 토양중에 높은 농도의 Pb이 존재한다. 토양이나 지표면에 침착된 납은 자동차 통행이나 바람에 의해 재비산된다고 보고된 바 있다 (Wixson and Davies, 1994; Bobby and Brianet, 1994). 특히, 1993년 높은 Pb 농도는 수원시 지역의 평균 강우량이 다른 년도보다 매우 낮은 기상학적 영향뿐만아니라 연구지역 주변의 대단위 주택단지 건설등이 활발히 진행되면서 토양중에 침착된 Pb이 대기중으로 재비산되어 높은 농도를 보인 것으로 사료된다.

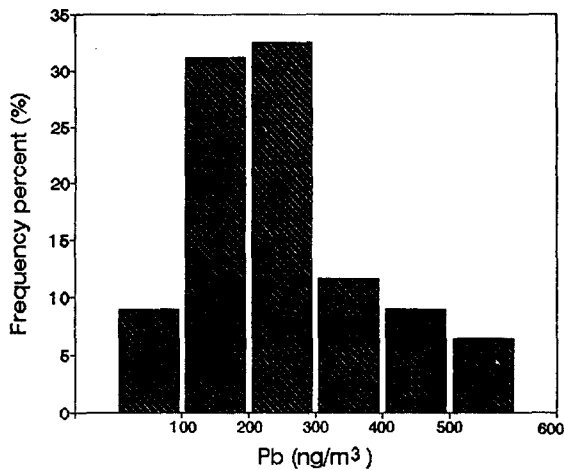


Fig. 2. Frequency distribution of concentration of Pb in Suwon atmosphere during 1989~1994 (n=79).

그림 2에 Pb 농도를 100 ng/m³의 간격으로 빈도 분포를 나타내었다. Pb 농도분포의 가장 높은 빈도는 200~300 ng/m³ 범위였으며, Pb 농도의 약 65%(n = 79)는 100~200 ng/m³ 범위에서 조사되었다. 수원시 대기중의 납 농도는 아시아의 다른 지역의 도심 대기보다는 낮았으며, 교통량이 적은 지방과 유사한 농도를 보였다(Tripathi, 1993; Simpson and Xu, 1994).

3.2 대기 중 Pb 농도에 대한 계절별 변화

수원지역 대기 중 납 농도는 계절에 따라서 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 그림 3은 수원지역에서 연도별 봄(3, 4, 5월), 여름(6, 7, 8월), 가을(9, 10, 11월), 겨울(12, 1, 2월) 사계절로 나누어 측정된 납의 계절별 농도분포이다. 납의 계절별 평균농도는 겨울철에 증가하여 여름철에 감소한다. 계절별 변화는 풍향, 풍속의 변화, 대기 안정도, 역전층의 발생빈도 및 높이와 강수량과 같은 기상 요인에 의한 것으로 알려져 있다(Witz and Moore, 1981; Pattenden and Branson, 1987). 수원시의 납의 최고 농도는 1993년을 제외하고 겨울철에 관찰되었다. 겨울철 대기 중 납의 높은 농도는 우리나라의 기상학적 특성으로 대기의 강한 안정상태로 인한 지표역전과 건조한 대기 상태에 의해 제거속도가 늦어지며, 낮은 확산속도로 대기 중 납농도가 높아진다. 반면에 여름철의 기상 상태는 매우 불안정하여 납을 포함한 미세한 입자는 상층대기중으로 유입되어 빗방울을 형성하여 제거되며, 상층대기에 도달할 수 없는 거대한 입자는 강수에 의해 제거된다(Galloway *et al.*, 1982). 이러한 기상학적 특성에 의해 납의 최저 농도는 여름철에 측정되었다.

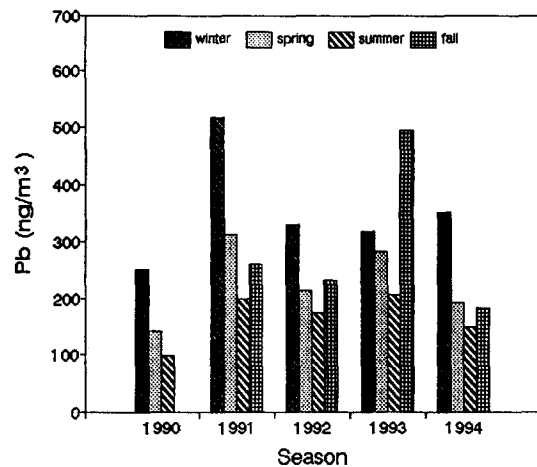


Fig. 3. Seasonal variations of Pb concentration in Suwon area during 1990~1994.

또한, 배출량의 변화 역시 대기 중 Pb 농도 변화의 주요 요인이다. 자동차 이외의 배출원으로는 겨울철 사용량이 증가되는 화석연료인 석탄의 연소에 의한 것이다. 납의 배출원으로 석탄은 비교적 높은 농도의 납이 함유되어 있으며, 휘발성이 높아 석탄 연소시 배출되는 납의 배출량은 유연회발유 사용 이전에 가장 주요한 배출원으로써 알려져 있다. Boyd와 Casey(1992)는 미국의 석탄 중 납 함유량은 35 mg/kg에서 45 mg/kg으로 추정하였으며, 이러한 납은 연소산물인 재(ash)에 포함되어 있다.

석탄을 사용하는 발전소에서 배출되는 비산재 중의 납의 농도는 1~100 mg/kg에 도달하는 것으로 보고하였다. 일반적으로 우리나라는 석탄 중 유연탄은 산업용으로 사용되며, 무연탄은 일반 가정 난방용으로 사용된다. 산업용 석탄인 유연탄의 경우 계절별 변화가 없으나, 가정용인 무연탄은 겨울철이 다른 계절과 비교하여 뚜렷하게 증가하게 된다. 특히 가정용 난방시설의 낮은 연소효율은 석탄 연소시 대기중으로 다량의 Pb를 방출하게 된다. 이와 같이 석탄 사용량의 증가는 대기 중 납 농도를 증가시키며 기상학적 요인과 함께 계절별 농도변화 요인으로 작용한다.

3.3 대기 중 Pb 농도의 입경별 분포

납의 유해성과 자동차 배출가스의 추적자(tracer)로써의 유용성은 Pb의 입경분포 연구에 대한 관심을 증가시켰다. 현재까지 납의 입경별 분포에 관한 많은 연구가 진행되었으며, Lundgren 등(1971)은 미국 Los Angeles 지역의 1970년대 대기 중 납의 입경별 분포는 직경 1 μm 이하에 편중되는 것으로 보고하였으며, Main과 Friedlander(1990)와 Lyons 등(1993)은 동일 지역에서 1980년 이후 납의 입경분포가 3극 분포임을 보여주었다.

본 연구지역의 납의 입경분포는 1990년 이후 8단의 cascade impactor로 얻은 자료 79 set를 사용하였다. Pb의 입경별 농도분포는 계절별로 차이가 없이 미세입경에 편중되어 있다. 그림 4는 겨울철과 여름철의 입경별 농도 분포를 비교하였다. 겨울철은 공기역학적 직경이 1.1~2.1 μm 인 범위에

서 가장 높은 농도를 보이는 단극분포(mono modal distribution)를 보였으며, 여름철은 0.65~1.1 μm 인 범위에서 높은 농도를 보이는 단극 분포였다. 두 계절의 비교시 모든 입경 범위에서 겨울철이 여름철에 비해 두배 이상의 높은 농도를 보였으나, 두 계절 모두 미세입경에 높게 편중되는 분포특성을 보였다. 이는 납오염원은 자동차에 사용되는 유연회발유 및 화석연료 연소 등의 인위적 오염원에 의해 발생되므로서 미세입자군에 높은 농도로 편중되는 것으로 사료된다.

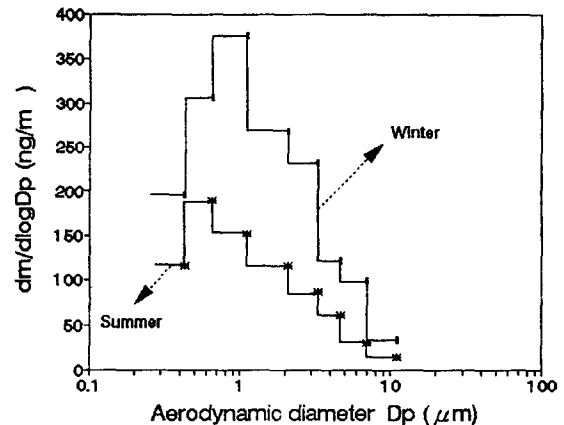


Fig. 4. Size distribution of Pb concentration in Suwon atmosphere.

4. 결론

1989년 11월부터 1994년 9월까지 약 5년 간 경기도 용인군에 위치한 경희대학교 수원캠퍼스에서 포집한 입경별 분진시료중의 납 농도를 연도별, 계절별 농도변화 및 입경별 농도분포에 대해 연구 조사하였다. 연구결론은 다음과 같다.

1) 납의 주요한 발생원인 유연회발유의 사용량은 점차적으로 감소하였으나 대기 중 납 농도의 변화 양상이 뚜렷하지 않았다. 이에 대한 원인 규명을 위해서는 연구 대상 주변의 Pb 발생원에 대한 조사 연구가 요구되며, 주변 지역의 토양중의 납 농도 분석을 통해 지역 대기중의 납 농도에 영향을 미치는 인자의 조사가 필요하다.

2) 연구 지역의 연도별 농도는 300 ng/m^3 이하의 농도를 보였으며, 5년간 Pb 농도의 약 65% ($n = 79$)는 $100 \sim 200 \text{ ng/m}^3$ 범위에서 조사되었다. 연구 기간 동안 대기 중 납의 환경 기준치인 3개월 평균 $1,500 \text{ ng/m}^3$ 보다 모두 낮은 농도를 보였다.

3) 수원시 대기 중 납 농도는 계절에 따라서 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 여름철의 농도가 겨울철보다 약 2배 정도 낮게 나타났다. 이는 계절별 변동요인으로 대기중으로 배출되는 배출량의 변화와 제거속도 및 확산능력 차이 등에 의한 것으로 사료된다.

4) Pb 입경별 농도분포는 겨울철은 공기역학적 직경 $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 범위에서, 여름철은 $0.65 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 범위에서 가장 높은 농도를 보이는 단극분포였다.

참고문헌

- 환경부, 한국환경연감, 1994, 제 7호, p35.
- 대한 석탄기술연구소, 석탄 및 석탄회의 특성 규명과 활용방안 연구, 1988.
- Bobby, G.W. and E.d. Brian, 1994, Guidenlines for lead in soil, *Enriron. Sci. & Technol.* 28, p26-31.
- Boyd, C.A. and T.G. Casey, 1992, Pollution prevention for lead, *Air & Waste Management Association, For Preventionat the 85th Annual Meeting & Exhibition.*
- Brown, D.R., 1986, Lead analysis in urban dust on St. Thomas, Virgin Islands, *Atmospheric Environment*, 20, p1303-1308.
- Driscoll, W., P. Mushak, J. Garfias and S.J. Rothenberg, 1992, Reducing lead in gasoline Mexico's experience, *Environ. Sci. & Technol.*, 26, 9, p1702-1705.
- El-Shobokshy, M.S., S.A. Al-Tamrab and F.M. Hussein, 1990, Inhalable particulate and meteorological characteristics of the city of Riyadh, Saudi Arabia, *Atmospheric Environment*, 24B, p261-265.
- Galloway, J.N., J.D. Thorton, S.A. Norton, H.L. Volchok and R.A.N. McLean, 1982, Trace metals in atmospheric deposition: A review and assessment, *Atmospheric Environment*, 16, p1627-1700.
- Infante, R. and I.L. Acosta, 1991, Size distribution of trace metals in Ponce, Puerto Rico air particulate matter, *Atmospheric Environment*, 25, p121-131.
- Li, S.M. and J.W. Winchester, 1987, Particle size distribution and chemistry of late winter arctic aerosols, *J. Geograph. Reser.*, 95, p897-908.
- Lundgren, D.A., 1971, Determination of particulate composition, concentration and size distribution changes with time, *Atmospheric Environment*, 5, p645-651.
- Lyons, J. M., C. Venkataraman, H.H. Main and S.K. Friedlander, 1993, Size distribution of trace metals in the Los Angeles atmosphere, *Atmospheric Environment*, 27B, p237-249.
- Main, H.H. and S.K. Friedlander, 1990, Dry deposition of atmospheric aerosols by dual tracer method, *Atmospheric Environment*, 24A, p103-108.
- Ondov, J.M., J.A. Dodd and G. Tuncel, 1990, Nuclear analysis of trace elements in size-classified submicronmeter aerosol particles from a rural airshed, *Aerosol Sci. & Tech.*, 13, p249-263.
- Pattenden, N.J. and J.R. Branson, 1987, Relation between lead in air and in petrol in two urban areas of Britain, *Atmospheric Environment*, 21, p2481-2487.
- Simpson, R.W. and H. Xu. 1994, Atmospheric lead pollution in an urban area-brisbane, Australia, *Atmospheric Environment*, 28,

- p3073-3082.
- Tripathi, A., 1993, Airborne lead pollution in the city of Varanasi, India, Atmospheric Environment, 28, p2317-2323.
- Walter, V.J. and E. Raveendran, 1990, Lead in air and blood in the state of Bahrain, Envir. Technol., 11, p491-498.
- Witz, S. and Jr A.B. Moore, 1981, Effect of meteorology on the atmospheric concentrations of traffic-related pollutants at a Los Angeles site, JAPCA, 31, p1089.
- Wixson, G.B. and B.E. Davies, 1994, Guidelines for lead in soil, Environ. Sci. & Technol., 28, p26-31.