

대기 부유 분진 중 미량유해물질들의 통계적 오염 해석

Statistical Analysis on Pollutants of Total Suspended Particulates in the Ambient Air

허문영 · 유기선 · 김경호 · 손동헌¹⁾

강원대학교 약학대학

¹⁾중앙대학교 약학대학

(원고접수 : 1990. 8. 27)

Moon-young Heo, Ki-seon Yu, Kyeong-ho Kim, Dong-hun Sohn¹⁾

College of Pharmacy, Kangweon National University

¹⁾College of Pharmacy, Chungang University

(Received 27 August 1990)

Abstract

During the period from Mar. 1985 to Feb. 1988, airborne particulate matters were collected and size fractionated by the Andersen high volume air sampler in Seoul. The concentrations of several heavy metals (Pb, Cu, Zn, Fe, Mn) and benzo(a)pyrene were determined to investigate the size distributions and seasonal variations. And with respect to seven components in the total suspended particulate (TSP), the factor analysis was performed for three groups such as the coarse particles ($>2 \mu m$), fine particles ($<2 \mu m$) and TSP.

As a result of factor analysis by using the varimax method, the chemical components in the TSP were able to characterize with two principal factors. The first factor, F1 was considered to be a factor indicating the contribution of natural sources and the second factor, F2 was a factor indicating the degree of artificial sources. Each components in the TSP was divided into two main groups of components originated from soil and/or road dust and pollutants originated from automobiles and/or human work.

1. 서 론

최근 여러가지 대기오염물질 중에서 부유분진이 특히 문제되고 있다(손동헌과 허문영, 1987; 이민희 등, 1988; 임영욱과 정용, 1989). 각종 유해 중금속 및 발암성 다환방향족 탄화수소들이 대기부유분진 중에 함유되어 있기 때문이다. 이러한

유해 발암성 물질들은 대도시의 고정 및 이동 배출원에서 주로 발생되며 대기중에서 입자상 물질에 흡착 또는 혼재되어 존재한다(Mizohata et al., 1986). 따라서 대기부유분진의 화학적 조성과 농도는 발생원과 계절변동 요인에 크게 영향을 받게 된다(허문영 등, 1990).

또한 대기부유분진의 생체 영향을 고려할때 그 입자 크기가 매우 중요한 인자가 된다. 이는 부유

입자의 크기와 호흡기내 침착에는 밀접한 관련이 있기 때문이다(National Academy of Sciences, 1979). 따라서 대기부유분진 중에 함유되어 있는 각종 유해성분의 입경분포를 밝혀내고, 조대, 미세입자 중 유해 성분의 화학조성과 농도를 조사하여 오염현황을 정확히 파악할 필요가 있다.

한편 대기부유분진 중 미량 유해물질들의 분포 특성을 찾아내기 위하여 여러가지 통계학적 방법이 사용되고 있는데, 일반적으로 많은 양의 데이터 중에 존재하는 특성을 객관적으로 나타내기 위한 통계적 방법으로는 다변량 해석법(Multivariate analysis)이 있으며, 이중에서 인자분석(Factor analysis)과 중회귀분석(Multiple regression analysis) 등이 사용되고 있다. 특히 대기오염 연구분야에 있어서 대기부유분진의 발생원 동정(source apportionment)을 위하여 factor analysis(Gaarenstroom et al., 1977; Gatz, 1978), principle component analysis(Daisey and Kneip, 1981), target transformation factor analysis(Hopke, 1981) 등을 사용한 보고가 있다.

이에 본 연구에서는 1985년 3월부터 1989년 2월까지 4년간 서울시 동작구 흑석동에서 대기부유분진을 포집하여 대기부유분진의 미세, 조대입자농도, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn 및 benzo(a)pyrene을 분석하여 이들을 변량으로 하여 인자분석을 실시하였다. 이같은 통계적 방법을 이용하여 대기부유분진의 발생원을 동정하는 한편 factor score를 이용하여 계절별, 연도별 오염도의 추이를 평가하였다.

2. 실 험

2.1 대기부유분진의 포집

대기부유분진(Total suspended particulate : 이하 TSP로 약함)을 Andersen high volume air sampler(Sibata Dylec, Model HVC-1000)를 사용하여 서울특별시 동작구 흑석동 중앙대학교 약학대학 4층 옥상에서 1985년 3월부터 1989년 2월까지 총 85회 포집하였다. 포집방법은 5단 분별포집(>7.0 μm :S-1, 7.0~3.3 μm :S-2, 3.3~2.0 μm :S-3, 2.0~1.1 μm :S-4, <1.1 μm :B-U) 또

는 입경 2 μm 이상(S-1+S-2)과 2.0 μm 이하(S-3+S-4+B-U)로 나누어 2단 분별 포집하였다. 포집량의 산출은 석영섬유여지를 포집전에 $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 포화수용액의 항온항습 데시케이터(25°C, 50%) 내에 보관하여 항량이 되게 한 뒤에 칭량하였으며, 전후의 칭량차에 의하여 분진량을 산출하였다.

2.2 중금속의 분석

원형 filter는 1/8을 취하고 back-up filter는 둘로 접어서 직경 40 mm belt punch로 절취하여 세정한 후, 고주파출력 200 W의 조건으로 plasma chamber(Model PC-103, Yamato Co.)에서 약 80분간 완전 회화시키고 10% HNO_3 (For harmful metals analysis, Hayashi pure chemical industries Ltd.) 100 ml를 가하여 시계접시를 덮고 hot plate상에서 약 2시간 용출시킨 후 온시여과(동양여지 No. 5C)하였다. 여액을 hot plate에서 증발건조시키고 0.5 N- HNO_3 용액을 가하여 10.0 ml로 한 후 이를 검액으로 하여 atomic absorption spectrophotometer(Perkin Elmer, Model 2308)로 분석하였다.

2.3 Benzo(a)pyrene의 분석

대기부유분진이 포집된 여지를 일정량 절취하여 유기용매로 추출하고 clean up한 후 형광분광광도계가 장착된 고속액체크로마토그래프로 Ex. wavelength 370 nm, Em. wavelength 406 nm에서 분리 정량하였다. 상세한 분석방법은 전보에 나타내었다(허문영 등, 1990).

2.4 인자분석

대기부유분진 중 미량유해성분의 통계처리를 위해서 강원대학교 전자계산소의 Cyber 170-720 computer system을 사용하여 SPSS version 8.0으로 인자분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대기부유분진, 중금속 및 Benzo(a)pyrene의 농도(85. 3~89. 2)

Table 1. The concentrations of TSP, heavy metals and benzo(a)pyrene in the sampling area.

sampling period	No. of samples	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	heavy metals (ng/m^3)					B(a)P (ng/m^3)
			Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	
85. 3. ~86. 2.	32	115.50	560.30	125.27	1267.39	2421.47	66.60	1.44
86. 3. ~86. 9.	17	147.10	402.64	243.00	374.62	1695.04	99.45	1.91
87. 3. ~88. 2.	26	214.35	668.73	173.23	707.68	2784.19	122.29	3.29
88. 3. ~89. 2.	10	211.71	635.93	170.78	592.96	2688.18	115.59	2.03

표 1에 85년 3월부터 89년 2월까지 부유분진을 비롯한 중금속, benzo(a)pyrene의 년평균 농도를 나타내었다. 대기부유분진의 경우 85년, 86년보다 87년, 88년에 걸쳐 매우 높아졌으며 환경기준을 초과하였다. 이는 측정점 인근에 차량통행의 증가와 특히 올림픽대로의 개통 및 대형아파트 단지 신축 등에 의해 각종 화석연료의 소비량이 급격히 증대되었기 때문으로 판단되며 87년보다 88년에 감소한 이유는 올림픽준비의 일환으로 특별 대기오염 방지대책을 수립했던 때문으로 보인다. 대기부유분진의 증가경향과 비슷하게 Pb의 대기 농도도 87년, 88년에 걸쳐서 높아졌다. 또한 benzo(a)pyrene의 농도도 유사한 경향을 나타내는 것으로 보아 이 지역 대기오염이 이동배출원인 각종 차량의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단된다.

3.2 인자분석에 의한 미량유해물질들의 분포 특성

표 2에 대기부유분진을 $2\mu\text{m}$ 이상의 조대입자(coarse particle), $2\mu\text{m}$ 이하의 미세입자(fine particle)와 총입자(TSP)로 구분한 후 Varimax 법에 의한 인자 부하량을 나타내었다. $2\mu\text{m}$ 이상의 조대입자에 있어서 각 인자의 고유치는 제 1인자 2.87, 제 2인자 1.14, 제 3인자 0.59로서 F1이 전체 분산의 62.5%, F2가 24.8%의 기여율을 나타내어 F2까지의 누적기여율이 87.3%였다. 그러므로 상기 7개의 변량에 있어서 2개의 주인자로 지표화될 수 있다고 판단되었다. F1의 인자부하량의 부호는 모두 +로서 조대입자 농도, Fe 및 Mn

이 각각 0.87, 0.93, 0.88로서 강한 상관을 보여 주는 반면에 Pb, Cu, Zn 및 benzo(a)pyrene같은 변량들은 인자부하량이 모두 낮았다. 따라서 F1은 비산분진(resuspended soil) 같은 토양성분(soil components) 등의 자연발생원 인자로 판단된다. 한편 F2는 Pb와 benzo(a)pyrene의 인자부하량이 각각 0.63과 0.89로서 다른 것들보다 비교적 큰치를 나타내는 것으로 보아 automobile exhaust 등 기타 인위발생원 인자로 보인다(Lioy and Daisey, 1987; Matsushita et al., 1989).

또한 $2\mu\text{m}$ 이하의 미세입자에 있어서 F1의 인자부하량은 부호가 모두 +로서 미세입자 농도, Pb 및 benzo(a)pyrene같은 변수들이 각각 0.71, 0.71 및 0.94로서 높았으며 다른 변수들은 낮은 편이었다. Pb의 경우 antiknocking agent가 첨가되는 유연휘발유의 사용때문에 자동차 등에서 많이 배출되며 benzo(a)pyrene 또한 불완전 연소생성물로써 자동차로부터 다량 배출된다(Sawicki et al., 1962; 이용근 등, 1986). F2는 Fe와 Mn이 각각 0.75 및 0.83으로서 높게 나타났다. 이같은 경향은 $2\mu\text{m}$ 이상의 조대입자의 인자부하량과 정반대의 결과를 보여주는 것으로서 F1 인자는 인위발생원 인자이고, F2 인자는 자연발생원 인자로 나타났다. 대부분의 대도시 aerosol의 입경분포는 $1\sim 2\mu\text{m}$ 를 중심으로 하여 이산형분포(bimodal distribution)을 나타내고 $2\mu\text{m}$ 보다 큰 쪽의 입자는 주로 토양, 토사 및 해염 등의 자연발생원에서 유래된다고 알려진 것처럼 본 인자분석에서도 조대입자와 미세입자의 특징이 정반대로서 그 발생원이 확연하게 나뉘어졌다.

Table 2. Varimax rotated factor loadings for the coarse, fine, total suspended particulates. (85. 3.~89. 2. n=85)

	Coarse		Fine		TSP	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
Mass	0.817	0.234	0.710	0.421	0.648	0.610
Pb	0.179	0.629	0.716	0.147	0.358	0.704
Cu	0.258	0.429	0.167	0.209	0.219	0.196
Zn	0.055	-0.004	0.020	0.055	0.037	0.041
Fe	0.928	0.031	0.093	0.750	0.843	0.144
Mn	0.878	0.168	0.358	0.833	0.828	0.190
B(a)P	0.041	0.687	0.938	0.134	0.091	0.893
Eigen value	2.874	1.138	3.067	0.826	3.376	0.837
PCT of var.	62.50	24.80	72.00	19.40	68.90	17.10

한편 $2\ \mu\text{m}$ 이상의 조대입자와 $2\ \mu\text{m}$ 이하의 미세입자를 합한 TSP를 대상으로 인자분석을 실시해 본 결과, 각 주인자의 고유치는 제 1 인자 3.38, 제 2 인자 0.84, 제 3 인자 0.42로서 F1이 전체분산의 68.9%, F2가 17.1% 및 F3이 8.75%로서 F3까지 94.7%의 누적기여율이 나타났다. 이때 F1의 인자부하량 중 비교적 큰치를 나타내는 것은 TSP 농도 0.65, Fe 0.84 및 Mn 0.83이었다. 한편 Pb, Cu, Zn 및 benzo(a)pyrene 등은 매우 낮은 편이었다. 따라서 TSP의 F1 인자는 토양성분 등의 자연발생원의 부하를 나타내는 인자로 판단되며, F2 인자는 TSP 농도 0.61, Pb 0.70, benzo(a)pyrene 0.89로서 비교적 높은 편이었으며 Fe, Mn 등의 부하량은 매우 낮았다. 이로써 F2 인자는 automobile exhaust 등의 인위발생원의 부하를 나타내는 인자로 판단되었다. 즉 TSP의 경우에 있어서 F1 인자는 기여율이 68.9%이었으며, F2 인자는 17.1%로써 F2까지의 누적기여율은 86.0%로 나타났다.

한편 TSP에 있어서의 7개 변량들이 F1, F2에 대하여 어느 정도 기여하고 있는가를 알기 위하여 각 변량의 인자부하량을 F1, F2 좌표계에 plot한 것을 그림 1에 나타내었다. 각 변량들은 조대입자, Fe 및 Mn과 미세입자, Pb 및 benzo(a)pyrene 2군으로 나뉘어졌으며 Zn과 Cu 등은 특징적으로 분류되지 않았다. 또한 TSP에서 입자농도가 F1, F2 어디에도 치우치지 않은 것은 TSP가

미세입자 및 조대입자의 영향을 대등하게 받고 있기 때문으로 보인다. 이로써 미세입자, Pb 및 benzo(a)pyrene 등은 각종 화석연료 연소 등에 의한 인위발생원 인자이고, 조대입자, Fe 및 Mn은 비산분진 및 토양기원의 자연발생원 인자로서 환경중 함께 거동하는 화학종으로 판단되었다.

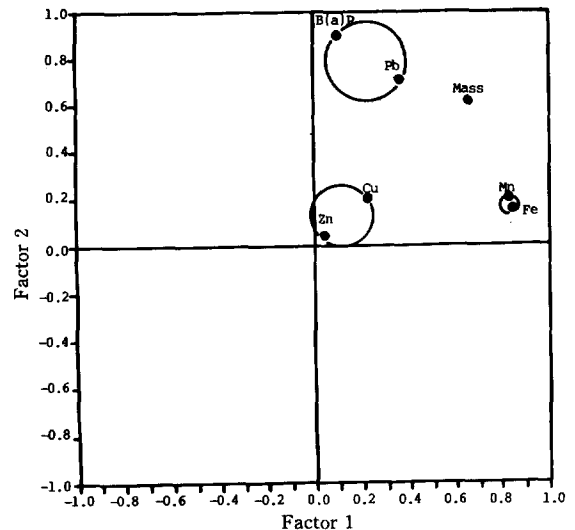


Fig. 1. Factor loading of each component for the total suspended particulates.

3.3 Factor score 분석에 의한 오염도 추이

다음 TSP의 오염도를 비교하기 위하여 F1, F2

의 각 factor score를 구하여 계절별 평균 score를 그림 2에 나타내었다. 이 결과 본 측정점에 있어서 4년간 자연발생원의 오염도가 큰 계절은 봄, 가을, 겨울, 여름 순이었으며, 인위발생원의 오염도가 큰 계절은 겨울, 가을, 봄, 여름 순이었다. 자연발생원의 오염도가 봄철에 가장 큰 이유는 이때 중국대륙으로부터 불어오는 황사현상 등의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 보이며, 인위 발생원의

오염도가 겨울철에 가장 큰 이유는 각종 화석연료의 소비증가로 인하여 미세입자의 방출량이 늘어나며, 겨울철 기온 역전층 발생빈도의 증가현상으로 대기오염물질의 확산이 억제되기 때문으로 보인다. 또한 그림 3에서 연도별로 평균 factor score를 비교해 보면 85, 86년보다 87, 88년이 훨씬 인위발생원 인자의 오염을 크게 받고 있었으며, 이는 본 측정지점 주변의 도로확장 및 올림픽대로의 개통에 따른 교통량의 급격한 증대에 의하여 야기된 결과로 판단된다. 88년도에는 87년도보다 다소 인위발생원 오염도가 감소되는 경향으로 나타났는데 이는 88년도에 개최된 서울올림픽 준비를 위한 각종 대기오염방지 대책의 결과로 판단된다.

4. 결 론

1985년 3월부터 1989년 2월까지 4년간 총 85회에 걸쳐 서울시 동작구 흑석동에서 대기부유분진을 포집한 후 미세, 조대입자 농도를 측정하였고, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn 및 benzo(a)pyrene을 분석하였다. 또한 각 미량 유해성분에 대하여 인자분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 본 측정점에서 포집된 대기부유분진은 2개의 주인자로 지표화될 수 있었으며, 제 1 인자는 토양 및 재비산 먼지 등에 의한 자연발생원 기여도를 나타내는 인자로서 입경 $2\mu\text{m}$ 이상인 조대입자, Fe 및 Mn 등의 인자부하량이 컸다. 한편 제 2 인자는 자동차 배기가스 및 각종 화석연료 연소 등에 의한 인위발생원 오염도를 나타내는 인자로서 입경 $2\mu\text{m}$ 이하인 미세입자, Pb 및 benzo(a)pyrene 등이 높은 인자부하량을 나타내었다.

2. factor score 분석을 실시한 결과, 자연발생원 기여는 봄, 가을, 여름, 겨울 순으로, 인위발생원 기여는 겨울, 가을, 봄, 여름 순으로 나타났다.

(본 연구는 아산사회복지사업재단의 1989년 연구비지원에 의하여 이루어졌음.)

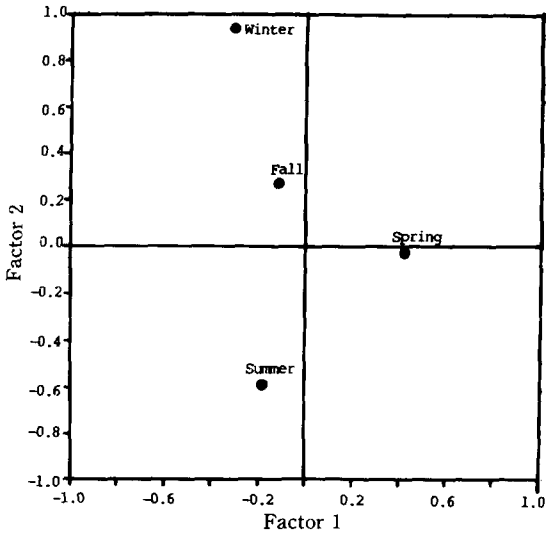


Fig. 2. Distribution map of average score for the total suspended particulates.

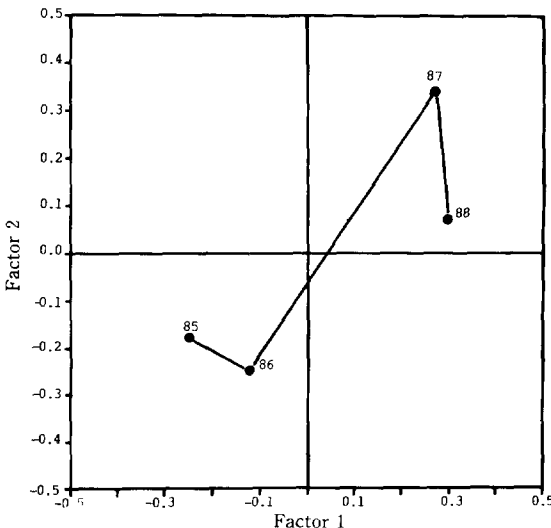


Fig. 3. Distribution map of average score.

참 고 문 헌

- 손동현, 허문영(1987) 도시대기중 부유분진과 미량 유해물질에 대한 연구, 문교부 보고서.
- 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석(1988) 황사현상시 분진의 입도분포와 화학조성에 관한 연구, 대기보전학회지, 4(2), 20 - 27.
- 이용근, 원정호, 김경섭, 황규자(1986) 대기부유분진 중의 고무성분 및 납과 아연의 입도별 거동, 대기보전학회지, 2(2), 60 - 65.
- 임영욱, 정용(1989) 호흡성 분진중의 중금속 오염도에 관한 조사 연구, 대기보전학회지, 5(1), 68 - 79.
- 허문영, 권창호, 유기선, 최성규, 김경호, 손동현(1990) 대기중 Benzo(a)pyrene 및 중금속의 농도와 입경 분포, 약학회지, 34(1), 1 - 10.
- Daisey, J.M. and T.J. Kneip (1981) Atmospheric particulate organic matter: Multivariate models for identifying sources and estimating their contributions of the ambient aerosol, in Atmospheric Aerosol: Source: Air Quality Relationships, 197 - 221.
- Gaarenstroom, P.D., S.P. Perone and J.L. Moyers (1977) Application of pattern recognition and factor analysis for characterization of particulate composition in Southwest Desert atmosphere, Environ. Sci. Tech., 11, 795 - 800.
- Gatz, D.F. (1978) Identification of aerosol sources in the St. Louis area using factor analysis, J. Appl. Met., 17, 600 - 608.
- Hopke, P.K. (1981) The application of factor analysis to urban aerosol source resolution, *ibid.*, 21 - 49.
- Liou, P.J. and J.M. Daisey (1987) Toxic air pollution: Inhalable particulate matter and extractable organic receptor source apportionment models for the ATEOS urban sites, Lewis publishers, Inc, 197 - 249.
- Matsushita, H., C.T. Kuo, S. Imamiya, M.S. Tabucanon and S. Koottatep (1989) Comparative study of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particulates in Bangkok, Chiang Mai and Tokyo, J. Japan Soc. Air pollut., 24(3), 234 - 243.
- Mizohata, A., Y. Matsuda, K. Sakamoto and S. Kadowaki (1986) Chemical composition of particulate air pollutants, J. Japan Soc. Air Pollut., 21(2), 83 - 103.
- National Academy of Sciences (1979) Airborne particles, University Park Press, Baltimore, MD.
- Sawicki, E., T.R. Hanser, W.C. Elbert, F.T. Fox and J.E. Meeker (1962) Polynuclear aromatic hydrocarbon composition of the atmosphere in some large American cities, Ind. Hyg. J., 137 - 144.