

다변량 통계분석법을 이용한 대구지역 부유분진의 오염원 기여도 추정

최성우[†] · 송형도

계명대학교 환경과학대학 환경과학과

Estimation of Source Contribution of Particulate Matter in Taegu Area using Factor Analysis

Sung Woo Choi[†] and Hyung Do Song

Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University

(Received 15 June 2000 ; Accepted 21 October 2000)

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the sources and to estimate the source contributions to the atmospheric TSP(total suspended particulate matter) and PM-10(particulate matter with aerodynamic diameters less than 10 μm) concentration in Taegu area. A total of 84 samples was collected during the January to December 1999. TSP and PM-10 were collected on filters by portable air sampler, and heavy metals in TSP and PM-10 were analyzed by ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometry) after preliminary treatment. The results were follow as: First, annual average of TSP and PM-10 concentration was 123 and 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. The concentration of TSP and PM-10 were highest in winter season compared to other seasons. Second, the concentration of Al, Fe, Mn were higher in TSP than in PM-10, indicating that these heavy metals are generally associate with natural contributions. Third, metal combinations showed that a high correlation among concentrations of heavy metals were follows: As Al, Fe and Mn in TSP ; Ni, Cr, Cd and Pb in PM-10. Finally, Statistical analysis was performed using Principal Components Analysis(PCA) in order to find possible sources of the pollutants. The factor analysis permitted to identify four major sources(soil/road dust resuspension, waste incineration, fuel combustion, vehicular emission) in each fraction. These source accounted for at least 83, 85% of variance of TSP and PM-10 concentration in Taegu area.

Keywords : TSP, PM-10, heavy metal, correlation, factor analysis(PCA: principal component analysis), emission source

I. 서 론

대기 부유분진은 SO_2 와 함께 대기오염의 지표로 사용되어 왔으며, 분진내의 중금속은 다른 유기성 발암물질의 촉진제(promotor) 또는 공동 발암원(carcinogen)으로 작용할 수 있음으로 인체에 매우 유해한 물질로 알려져 있다.¹⁻⁴⁾ 최근의 병리학적 연구에 따르면 대기 부유분진의 농도와 사망률이 높은 관련성⁵⁾을 보여 부유분진의 정책적인 관리가 요구되고 있다. 부유분진의 체계적 관리를 위해서는 부유분진의 합량과 자연적, 인위

적발생원에 따른 기여도(contribution)의 평가가 선행되어야 한다. 부유분진의 발생원별 기여도 평가방법은 화학원소를 이용한 방법, 질량수지법(chemical element or mass balance; CEB or CMB), 다변량 통계분석방법인 다중회귀식을 이용한 방법 및 요인분석법이 있다. 특히 요인분석법은 CEB 또는 CMB모델과는 달리 일반 대기시료의 화학적 정보로 오염원을 파악할 수 있기 때문에 도시분진⁶⁾과 도로 분진⁷⁾의 발생원 추정 연구에 많이 사용되고 있다.

따라서, 본 연구는 대구지역 부유분진의 발생원 관리 및 제어를 위한 기초적 자료를 제공할 목적으로 대구지역을 대상으로 오염원 특성이 각기 다른 4개지역에서 부유분진농도 및 부유분진에 함유된 유해중금속성분의 농도분포를 조사분석하고, 요인분석을 이용하여 분진 발생원의 특성 및 기여도를 평가하였다. 본 연구

[†]Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University

Tel: 053-580-5245, Fax: 053-580-5164

E-mail: swchoi@kmu.ac.kr

의 결과는 추후 지역 대기질 관리를 위한 대책 수립 및 규제를 위한 자료로 이용될 수 있다.

II. 연구자료 및 방법

1. 시료채취

시료채취는 부유분진의 발생원이 다를 것으로 예상되는 4지점을 선택하여 1999년 1월부터 12월까지 24시간 주기로 포집하였으며 포집된 시료의 수는 각 지점별 21개, 총 84개의 시료를 포집하였다. 본 연구에서 선택된 시료채취 장소의 위치는 Fig. 1에 나타내었다.

공업지역으로 노원동을 선정하여 서대구 초등학교의 옥상에서 시료를 채취하였다. 이 지역은 반경 1km 내에 주요공업단지인 제3공단, 비산 염색공단 및 서대구 이현공단이 인접한 대표적인 공업지역으로 열병합 발전소와 하수종말처리장이 위치해 있을 뿐 아니라, 각종 연료의 소비량이 많고 소규모의 비철금속, 금속가공업이 활발하며 섬유산업과 연관된 업종이 밀집되어 있는 전형적인 공업지역으로 대변할 수 있는 지점이다.

교통지역으로는 대신동을 선정하여 계성초등학교의 옥상에서 시료를 채취하였다. 이 지역은 대구에서 가장 큰 간선도로인 달구벌대로와 상습적인 정체가 발생하는 달성로가 교차하는 곳으로 교통량이 가장 많은 곳

이다.

교통·주거복합지역으로 대명동을 선정하여 계명대학교 대명동 캠퍼스 경영대 5층 건물의 옥상에서 시료를 채취하였다. 이 지역은 주변에 상가와 주거지역이 폭 넓게 형성되어 있고 지선도로가 발달되어있어 교통량의 영향을 많이 받는 곳이기도 하다.

마지막으로, 주거지역으로 지산동을 선정하여 한 아파트의 옥상에서 시료를 채취하였다. 이 지역은 아파트 밀집지역으로 난방기에는 중앙집중식 난방이 이루어지고 석유, 경유, B-C유 등을 난방연료로 사용하므로 화석연료의 사용에 따른 영향을 받을 것으로 예상되는 곳이다.

시료의 포집은 PM-10 portable sampler(PM-10 sampler, Co. AIRMETRICS, U.S.A.)와 TSP portable sampler(TSP sampler, GHV-2200 PS handi-vol, Co. GRASEBY, U.S.A.)를 사용하였으며 포집 후 각 여지는 항온·항습상태의 테시케이터에 보관후 감도 0.1mg의 전자저울(YMC Co. Ltd. : Model 307276)로 칭량하였다. 포집된 여지는 알루미늄 호일로 밀봉하여 분석 전까지 -20°C 이하에서 냉동보관 하였다.

2. 시료의 전처리 및 분석방법

대기 부유분진중 중금속을 추출하기 위해 여지를 4회 분할하여 질산-과산화수소법을 이용해 시료를 전처리하였다. 또한 분석의 정확성을 기하기 위해 같은 조

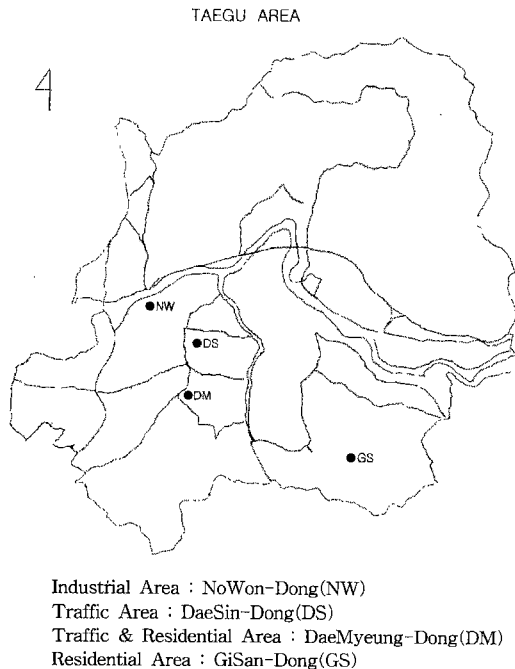


Fig. 1. Location of the sampling sites.

Put Filter in 250ml beaker	← 50% HNO ₃ 30ml ← 30% H ₂ O ₂ 5ml
Cover with watch glass and heat in waterbath during 1 hour	
Cooling to room temperature	
Washing the watch glass with warm water	
Cooling the filtering with filter paper No 5B	← 50% HNO ₃ 20ml
Heating in waterbath for 10 min	
After cooling, washing with warm water and filtering	
Drying	← 10% HCl 10ml
Heating and cooling in waterbath	
ICP analysis	

Fig. 2. The preliminary treatment of chemical analysis by ICP.

작을 하여 비탕시험을 수행하였으며, 전처리과정을 거친 분석검액을 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometry, Co. JOBIN-YVON : Model JY38-S, FRANCE)를 이용하여 정성, 정량분석을 하였으며, 구체적인 절차는 Fig. 2과 같다.

3. 통계학적 고찰

중금속 및 기상요인과의 상관성을 분석하고 부유분진의 농도에 영향을 미치는 오염원을 정성적으로 파악하기 위해 오염원 추정에 많이 사용되는 요인분석을 수행하였다.^{8,9)} 특히 본 연구에서 사용된 요인분석 중 주성분 분석은 여러 가지의 독립변수를 가지고 있는 원자료의 통계적 특성을 잃지 않고 전체농도변동에 대한 설명도가 큰 소수의 독립적인 주성분으로 자료를 축약함으로써 부유분진의 전체변동에 대하여 도출된 각 성분이 가지는 설명력을 정성적으로 추정할 수 있는 통계기법이다.¹⁰⁾

주성분 분석의 과정은 변수의 선정, 표본수의 결정, 변수간의 상관관계 계산, 주성분수의 결정, 주성분적 재량 산출, 주성분의 회전 및 해석의 순으로 이루어진다. 이러한 직각회전 방법에는 varimax, quartimax, equimax rotation 등이 있다. 본 연구에서는 Kaiser¹¹⁾에 의해 제안된 주성분 패턴행렬의 각 열을 중심으로 각 열에서 각 계수제곱의 분산의 합이 최소가 되는 varimax회전을 사용하였다. rotation 후 주성분이 추출되면 어느 특정 주성분에 함께 묶여진 변수들의 공통된 특성을 조사하여 자료를 해석하였다. 요인분석의 기본 모형은 다음과 같다.¹²⁾

$$X_i = a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{ik}f_k + \dots + a_{im}f_m + e_i \quad (1)$$

X_i : 측정된 i 번째 변수

a_{ik} : i 번째 변수와 k 번째 공통인자에 대한 가중치로 인자부하량(factor loading)

f_k : k 번째 공통인자

e_i : m 개의 인자에 의해 설명되지 않는 i 번째 변수의 특수인자 (unique factor)

c_i 가 $a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{ik}f_k + \dots + a_{im}f_m$ 라 하면 식 (2)가 성립된다.

$$\text{Var}(X_i) = \text{Var}(c_i) + \text{Var}(e_i) \quad (2)$$

$\text{Var}(c_i)$: 변수 X_i 의 공통분산(common variance)

$\text{Var}(e_i)$: 특수분산(unique variance)

공통분산은 공통도(communality) = h_i^2 으로 표시

$$h_i = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2 \quad (3)$$

고유치가 1.0이상, 누적기여율이 80%이상 선에서 인자수를 결정하였으며 고유치는 식 (4)에 의해서 얻어질 수 있다.

$$|(R - \lambda I)| = 0 \quad (4)$$

R : 상관계수행렬

I : 단위행렬(unit matrix)

H : m 개 요소를 갖는 $h_i^2(i = 1, 2, 3, \dots, m)$ 의 대각선 행렬(diagonal matrix)

λ : 고유치

각 통계분석은 SPSS PC+ 9.0 (SPSS Inc.)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 부유분진 및 중금속 농도

TSP와 PM-10 portable sampler를 이용하여 1999년 1월부터 12월까지 각 부유분진의 농도를 조사분석하여 계절별 평균농도를 Table 1에 나타내었다. TSP의 년평균 농도는 $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10은 $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 TSP의 농도가 약 1.8배 더 높은 것으로 나타났다. 연구기간동안의 부유분진농도는 서울지역¹³⁾의 PM-10의 평균농도 $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 결과를 보이고 울산지역¹⁴⁾의 $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 높은 결과를 보여주었다. 계절별 평균농도는 겨울(TSP $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10 $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 봄(TSP $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 가을(TSP $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10 $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 여름(TSP $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$)순으로 나타났으며 겨울철이 여름철보다 TSP의 농도는 1.7배, PM-10은 1.6배 가량 높게 나타났다. 예년과는 달리 겨울철의 부유분진의 농도가 높게 나타났는데 이는 중국 화북 이북 지역이 예년에 비해 고온·건조한 기후적 특성이 겨울 내내 지속됨으로 황사 출현이 예년보다 빨라졌기 때문인 것으로 사료된다.¹⁵⁾

대구시 부유분진 중 금속성분의 농도분포를 Fig. 3에 나타내었다. TSP내 중금속의 농도는 $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Pb}$

Table 1. Seasonal Concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of Atmospheric TSP and PM-10 in Taegu area

Season	N	PM-10	TSP
		Mean \pm S.D	Mean \pm S.D
Winter	24	76 \pm 29	143 \pm 55
Spring	20	75 \pm 22	127 \pm 31
Summer	20	49 \pm 18	87 \pm 26
Fall	20	47 \pm 9	94 \pm 2
Total	84	69 \pm 25	123 \pm 42

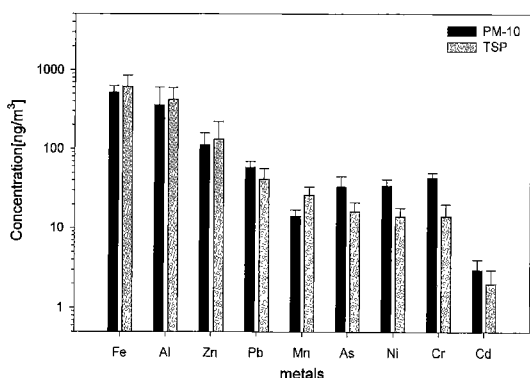


Fig. 3. Mean concentration(ng/m^3) of metals in PM-10 and TSP in Taegu area.

>Mn>As>Cr>Ni>Cd순으로, PM-10내에서는 Fe>Al>Zn>Pb>Cr>Ni>As >Mn>Cd순으로 높게 나타났다. Fe, Al, Zn, Mn의 농도는 TSP에서 높게 나타났고 Pb, As, Ni, Cr, Cd의 농도는 PM-10에서 높게 나타났다.

2. 상관성 분석

대기 부유분진에 함유된 각 중금속농도와 TSP, PM-10, 기상요인(상대습도, 풍속, 일사량)과의 상관성 분석 결과를 Table 2에 나타내었다.

기상요인과 각 부유분진간의 상관성 분석 결과 TSP, PM-10 모두 일사량과 음의 상관성($P<0.05$)을 가지는 반면 다른 기상요인과는 큰 상관성을 보이지 않았다.

기상요인과 각 부유분진내 중금속간의 상관성 분석

Table 2. Correlation between TSP, PM-10 and air-borne metallic elements

a) TSP													
	RH	WS	SR	TSP	Fe	Al	Zn	Pb	Mn	As	Ni	Cr	Cd
^a RH	1.00												
^b WS	-.45	1.00											
^c SR	-.21	.01	1.00										
TSP	-.20	.08	-.56*	1.00									
Fe	-.17	.60	-.54*	.83*	1.00								
Al	-.26	.12	-.51*	.81*	.94*	1.00							
Zn	-.16	-.03	.26	-.17	-.16	.09	1.00						
Pb	.12	-.23	-.35	.17	.48	.34	-.24	1.00					
Mn	-.13	-.17	-.12	.53*	.61*	.49*	-.19	.28	1.00				
As	-.10	-.08	.18	-.11	-.02	-.07	-.17	.21	.61*	1.00			
Ni	-.21	-.01	.13	.18	.32	.22	.19	.31	.30	-.04	1.00		
Cr	-.07	-.04	.15	-.06	-.09	-.08	.29	-.01	-.32	-.58*	.37	1.00	
Cd	.12	-.16	-.15	.07	.32	.28	-.06	.60*	.24	.10	.32	.09	1.00

b) PM-10													
	RH	WS	SR	PM-10	Fe	Al	Zn	Pb	Mn	As	Ni	Cr	Cd
^a RH	1.00												
^b WS	-.45*	1.00											
^c SR	-.21	.01	1.00										
PM-10	-.27	-.01	-.44*	1.00									
Fe	.03	-.35	.15	.27	1.00								
Al	-.23	-.17	-.18	.34	.68*	1.00							
Zn	-.18	.12	.58*	-.30	.48*	.33	1.00						
Pb	-.13	-.03	-.04	.11	-.13	-.29	.01	1.00					
Mn	.02	-.19	-.22	.54*	.19	.12	-.26	-.19	1.00				
As	.05	.16	-.07	-.32	-.46*	-.24	-.34	.14	-.17	1.00			
Ni	-.30	.10	-.69*	.45*	-.37	.15	-.61*	.20	.20	.40*	1.00		
Cr	-.31	.19	-.61*	.53*	-.39*	-.10	-.70*	.20	.21	.19	.85*	1.00	
Cd	-.45*	.05	-.41*	.47*	-.25	.03	-.54*	.24	.21	.27	.78*	.85*	1.00

* : Correlation is significant at the 0.05 level.

^a : RH-Relative Humidity(%).

^b : WS-Wind Speed(m/sec).

^c : SR-Solar Radiation(MJ/m^2).

결과 TSP내에서는 Fe, Al이 일사량과 음의 상관성 ($P<0.05$)을 보였고 PM-10내에서는 Ni, Cr, Cd와 일사량, Cd와 상대습도가 음의 상관성($P<0.05$)을 보였다. 그 외 나머지 중금속은 대체로 낮은 음의 상관성을 보였다.

각 부유분진의 농도와 중금속 농도간의 상관성 분석 결과 TSP농도는 Fe, Al, Mn과 높은 상관성을 보였고 ($P<0.05$), PM-10의 경우 Ni, Cr, Cd, Mn과 비교적 높은 상관성을 나타내었다($P<0.05$). Al, Fe는 토사 및 도로먼지의 재비산과 같은 자연적 발생원에서 유래되고 Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn은 화석연료와 쓰레기소각, 자동차연료의 연소와 같은 인위적인 발생원에서 유래되는 중금속으로 구분 지을 수 있으며¹⁶⁾ 이와 같은 발생원적 특성은 Seinfeld 등,¹⁶⁾ 이태정 등,¹⁷⁾ 이세형¹⁸⁾의 연구와 유사함을 알 수 있었다.

한편 부유분진별 중금속 농도간의 상관성을 분석한 결과 TSP내 각 중금속간 상관성은 Al과 Fe, Fe와 Mn이 0.94, 0.61로 높게 나타났으며($P<0.05$), PM-10내의 중금속은 Ni와 Cr, Cr과 Cd가 0.85, Ni와 Cd도 0.78로 높게 나타났으며($P<0.05$) 나머지 중금속간에는 양의 상관성을 보여 동일발생원에서 배출되는 중금속간의 상관성이 높아짐을 알 수 있었다.

3. 다변량 분석을 이용한 발생원 기여도 평가

부유분진내 함유된 중금속성분에 대한 분석자료를 이용하여 오염원 기여에 대한 정보를 추정하기 위하여 주성분분석 후 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 주성분 분석을 통해 도출된 요인성분에 대한 해석을 용이하게 하기 위해 각 요인성분의 통계적 독립성을 잃지 않고 좌표축 직교변환방법의 하나인 varimax 회전법을 이용

Table 3. Result of VARIMAX rotated Principal Component Analysis for Data from a TSP and PM-10

a) TSP				
Source Class	PC1	PC2	PC3	PC4
Variable	Natural source	Anthropogenic source I	Anthropogenic source II	Anthropogenic source III
Al	<u>.967</u>	1.265E-02	.110	7.893E-02
Fe	<u>.950</u>	6.496E-02	.280	-3.295E-02
As	-.125	<u>.949</u>	.130	-4.508E-0
Mn	.525	<u>.713</u>	.219	.113
Cr	-.108	<u>-.699</u>	.223	.471
Pb	.247	9.330E-02	<u>.833</u>	-.144
Cd	.124	2.433E-02	<u>.827</u>	5.695E-02
Zn	-1.621E-02	-.126	-.286	<u>.804</u>
Ni	.177	7.391E-03	.506	<u>.669</u>
Eigenvalues	3.17	2.03	1.21	1.05
% of Variance	35.16	22.50	13.49	11.71
∑ % Var.	35.16	57.66	71.15	82.86
b) PM-10				
Source Class	PC1	PC2	PC3	PC4
Variable	Natural source	Anthropogenic source I	Anthropogenic source II	Anthropogenic source III
Ni	2.854E-02	-.162	1.387E-02	<u>.945</u>
Cr	-.169	7.259E-02	.111	<u>.922</u>
Cd	1.176E-02	2.780E-03	.169	<u>.904</u>
Zn	.496	-6.542E-02	.229	<u>-.703</u>
Al	.952	1.960E-02	-.209	.102
Fe	.792	.351	1.360E-02	-.293
Mn	1.115E-02	<u>.750</u>	-.306	.321
As	-.275	<u>-.722</u>	-.134	.343
Pb	-.130	-8.641E-02	<u>-.931</u>	.163
Eigenvalues	1.89	1.12	0.91	3.74
% Variance	21.03	12.49	10.13	41.55
∑ % Var.	21.03	33.52	43.65	85.20

Underlined Values are Factor Loadings greater than 0.5.

하여 분석하였다. Varimax rotation을 시킨 후 4개의 주성분과 각 주성분에 높게 적재된 변수를 주성분의 적재치로 나타내었다. Eigenvalue값이 1이상인 것을 요인으로 선택하는 것이 일반적이거나¹¹⁾ 본 연구에서는 PM-10의 요인분석결과, 제 3의 요인이 eigenvalue가 0.91로 1보다는 비록 낮았지만 전체분산에 대한 기여도가 10.13%로 높게 나타났기 때문에 하나의 요인으로 채택하였다.

TSP의 요인분석결과 도출된 4개의 주성분은 총 분산의 82.86%를 설명할 수 있었다. 첫 번째 요인은 Al, Fe로 총 분산의 35.16%를 설명하며 요인부하량은 0.967, 0.950로 매우 높게 적재되었고, 이는 토양 및 비산먼지와 같은 자연적 발생원으로 추정할 수 있었다.¹⁶⁾ 두 번째 요인은 As, Mn, Cr로 총 분산의 22.5%를 설명하고 부하량은 0.699~0.949로 높게 적재되어 있어 화석연료의 연소에 기인하는 인위적 배출원 I 요인으로 추정할 수 있었고,¹⁷⁾ 세 번째 요인인 인위적 배출원II로 Pb, Cd가 총 분산의 13.49%를 설명하고 각각 0.833, 0.827로 높은 부하량을 보였다. 여기서 Pb는 전형적인 자동차 배출원에 기인하는 원소임을 알 수 있지만,¹⁹⁾ Cd는 쓰레기 소각이나 폐기물 소각에 기인하는 원소로 잘 알려져 있다.^{20,21)} 이런 차이에도 불구하고 요인부하량이 높게 적재된 것은 지역적 특성(자연적 오염원, 인위적 오염원)에 따른 발생원의 차이인 것으로 사료되며 보다 정확한 결과를 위해 충분한 시료의 수가 요구된다. 마지막 요인은 Zn, Ni로 11.71%의 총 분산의 설명률을 보이며 0.804, 0.669로 비교적 높은 요인부하량을 보였다. 이는 폐기물 소각에 관련된 인위적 발생원III으로 구분하여 요인을 축약할 수 있었다.²²⁾

PM-10의 요인분석의 결과 4개의 주성분은 총 분산의 85.20%로 TSP의 총분산의 기여율보다 높음을 알 수

있었다. 첫 번째 요인은 Al, Fe로 총 분산의 21.03%를 설명하고 부하량은 0.792, 0.952로 적재되어 있었으며, 토양 및 비산먼지등의 자연적발생원에 기인하는 요인으로 추정하였다.¹⁶⁾ 두 번째 인위적 배출원I의 요인은 Mn, As로 총 분산의 12.49%를 설명하고 부하량은 0.750, 0.722로 적재되어 있었다. Mn은 토양이나 비산먼지에 기인하는 중금속인 반면¹⁶⁾ As는 연료의 연소에서 배출되는 전형적인 중금속으로²³⁾ 다소 요인추측에 문제를 가지고 있음을 알 수 있었다. 세 번째 인위적 배출원II의 요인은 Pb로 eigenvalue가 0.91이지만 상대적으로 10.13%의 높은 총 분산의 기여율을 보였고 요인부하량도 0.931로서 높은 적재치의 값을 보이고 있었다. Pb는 차량의 연료연소에 기인하는 중금속으로¹⁹⁾ Pb 하나의 중금속이 독립적으로 주성분을 이루고 있지만 PM-10의 농도변동에 있어 높은 설명율을 보이고 있었다. 네번째 요인은 Ni, Cr, Cd로 총 분산의 41.55%의 높은 기여율을 보였고 요인부하량은 0.703~0.945로 높게 적재되어 있었다. 이는 쓰레기 소각이나 폐기물 소각에 관련된 전형적인 중금속으로 인위적 배출원III의 주성분으로 추정할 수 있다.²²⁾

결론적으로 TSP, PM-10에의 배출원으로 추정되는 발생원으로 자연적 배출원과 인위적 배출원I, II, III으로 예측 분류되었다. TSP내의 가장 높은 농도변동율을 설명하는 요인은 자연적인 배출원과 연계된 토양 및 비산먼지관련 요인으로 추정할 수 있었지만, PM-10의 경우 쓰레기 소각과 연계한 인위적 배출원III에 의한 요인으로 높은 변동율을 추정할 수 있었다.

요인분석에 의해 추정된 대구지역 총 부유분진의 농도변동율을 TSP와 PM-10으로 구분하여 Fig. 4에 각각 나타내었다. TSP의 농도변동율은 자연적 배출원에 관련된 토양 및 비산먼지발생원이 약 35.2%, 인위적 배출원이 약 47.7%로 나타났으며 그 중 연료 연소관련

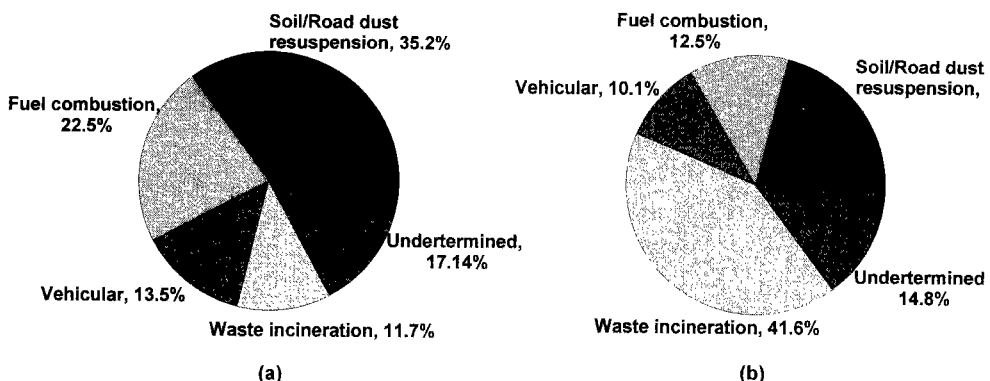


Fig. 4. Relative contributions of each component to the total measured mass for (a) TSP, and (b) PM-10.

발생원 22.5%, 가솔린과 디젤의 차량관련 발생원 13.5%, 쓰레기 소각관련 11.7%, 기타 17.1%로 나타나 TSP의 농도변동에 총 82.8%를 도출된 주성분에 의해 설명할 수 있었다. 이와 구분하여 PM-10의 농도변동율은 폐기물소각관련한 인위적 발생원Ⅲ에서 약 41.6%의 높은 변동율을 보이고 있었고 총 인위적 발생원의 농도변동율은 64.2%로 아주 높음을 알 수 있었다. TSP의 농도변동에 큰 기여를 한 자연적 배출원이 21.0%로 다소 낮게 나타났다. 이는 발생원별 오염원의 입경에 따른 차이에 의한 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 부유분진의 지역대기질 관리를 위한 기초적 자료를 수집할 목적으로 대구시 부유분진 중 중금속의 농도특성 및 오염원의 특성을 파악하고 그에 따른 부유분진의 기여도를 예측 평가하였다. 부유분진의 기여도를 추정하기 위해 요인분석을 이용하였으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 조사기간 중 대구시 총부유분진(TSP)의 평균농도는 $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 미세먼진(PM-10)의 농도는 $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 TSP의 농도가 약 1.8배 더 높은 것으로 나타났다. 각 부유분진의 계절별 평균농도는 겨울>봄>가을>여름 순으로 높게 나타났다. 중금속 중 Fe, Al, Zn, Mn의 농도는 TSP에서 높게 나타났고 Pb, As, Ni, Cr, Cd의 농도는 PM-10에서 높게 나타났다.

둘째, 각 부유분진과 중금속, 기상요소와의 상관분석 결과 TSP, PM-10 모두 일사량과 음의 상관성을 보였고, TSP내 중금속의 경우 Fe, Al, Mn간의 상관성이 매우 높았고, PM-10내에서는 Ni, Cr, Cd사이에 높은 상관성을 보였다. 이는 중금속의 발생원이 유사할수록 상관성이 높음을 알 수 있었다.

셋째, 요인분석 중 주성분 분석을 이용하여 부유분진의 발생원을 예측 평가한 결과 4가지 주성분들을 축약하여 도출할 수 있었다. 4가지 주성분은 토양 및 비산먼지 관련된 자연적 발생원, 화석연료의 연소관련 인위적 배출원Ⅰ, 자동차 배출원관련 인위적 배출원Ⅱ, 폐기물의 소각관련 인위적 배출원Ⅲ으로 설명할 수 있었다. 또한 도출된 주성분 중에 TSP의 농도변동에 가장 영향을 주는 것은 토양 및 비산먼지와 관련한 자연적 발생원으로 나타났고, PM-10의 농도변동에 가장 영향을 주는 것은 폐기물 소각관련 인위적 발생원Ⅲ으로 나타났다. 이러한 주성분들은 TSP, PM-10 각각 부유분진 농도변동의 약 80%이상을 설명할 수 있었다.

특히 대구와 같은 대도시 지역 분진의 발생 기여도는

자동차 운행의 증가로 인해 점차 증가할 것으로 예상된다. 따라서 합리적이고 종합적인 대기질 보전대책이 지역별로 수행되어야 하며 유해성 대기오염물질의 체계적인 관리와 대책 마련을 위해 측정자료의 data base와 발생원 추정연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) W. H. Schroeder, M. Dobson, D. M. Kane and N. D. Johnson: Toxic trace element associated with airborne particulate matter, A Review, *JAPCA*, **37**(11), 1267-1285, 1987.
- 2) Saltzman, B. E., Choiak, J., Schafer, L. J., Yeager, D. W., Meiners, B. G. and Jozef Svetlik: Concentrations of six metals in the air of eight cites. *Environ. Sci. Technol.*, **19**, 328-333, 1985.
- 3) 정 용, 장재연, 주의조 : 도시 대기중 중금속에 관한 연구-서울 신촌지역을 중심으로. *한국대기보전학회지*, **3**(2), 18-26, 1987.
- 4) D. J. Alpert, P. K. Hoke: A Determination of the Sources of Airborne Particles collected during the Regional Air Pollution Study, *Atmospheric Environment*, **15**(5), 1981.
- 5) Schwartz, J., Dockery, D. W. and Neas, L. M.: Is daily mortality associated specifically with Fine particles?, *Air & Waste Manage. Assoc.*, **46**, 927-939, 1996.
- 6) Alpert, D. J and P. K. Hoke: A quantitative determination of source in Bostonurban aerosol, *Atmospheric Environment*, **14A**, 137-1146, 1980.
- 7) Hopke, P.: The application of factor analysis to quantitative source apportionment in atmospheric aerosol; source/air quality relationships, American Chemical Society Symposium Series No. 167, 1980.
- 8) 강병서, 김계수 : 통계분석을 위한 SPSSWIN Easy, 법문사, 238-251, 1997.
- 9) 양병화 : 다변량 자료분석의 이해와 활용, 학지사, 269-331, 1998.
- 10) 정충영, 최이규 : SPSSWIN을 이용한 통계분석 3판, 무역경영사, 390-426, 1998.
- 11) Kaiser, H. F.: The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, *Psychometrics*, **23**(3), 187-200, 1958.
- 12) William, R. D., Matthew, G.: Multivariate analysis, Wiley & sons, 587, 1984.
- 13) 유정석, 김동술, 김윤신 : 서울시 PM-10 오염원의 정량적 기여도 추정, *한국대기보전학회지*, **11**(3), 279-289, 1995.
- 14) 나덕재, 이병규 : 산업도시 대기 중 PM-10의 농도 및 금속원소 성분의 특성 연구, *한국대기환경학회지*, **16**(1), 23-35, 1999.
- 15) 기상청 보도자료 1999년 1월 25일.
- 16) Seinfeld, J. H., Pandis, S. N.: Atmospheric Chemistry and Physics ; From Air Pollution to Climate Change; John Wiley and Sons, New York, 1998.

- 17) 이태정, 김동술 : X선 형광분광법을 이용한 대기부유 분진 중 중금속의 농도분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, **8**(1), 20-28, 1992.
- 18) 이세형 : 공사장 및 교통 혼잡지역의 PM-10과 먼지입경별 중금속 농도분포에 관한 연구, 조선대학교 환경공학과 석사학위논문, 1997.
- 19) 최금찬, 임경택, 조정구, 김태형: PIXE 분석법에 의한 도로변 분진의 원소분석, 한국대기보전학회지, **12**(5), 523-528, 1996.
- 20) Hopke, P. K.: Receptor Modeling in Environmental Chemistry, John Wiley & Sons Inc., New York, 1985.
- 21) American chemical society. ES&T Outlook, Inhaled particulates, *Environ. Sci. Technol.*, **12**(13), 1353-1360, 1978.
- 22) Rabano, E. S., Castillo, N. T., Torre, K. J. and Solmon, P. A.: Speciation of arsenic in ambient aerosols collected in Los Angeles, *JAPCA*, **39**, 76-80, 1989.
- 23) Merian, E.: Introduction on environmental chemistry and global cycle of chromium, nickel, cobalt, beryllium, arsenic, cadmium and selenium and their derivatives, *Toxicological and environmental chemistry*, **8**, 9-38, 1984.