

## 분진오염원 할당을 위한 CMB모형의 적용

정 장 표 · 정 창 용

경성대학교 환경공학과  
(1994년 9월 9일 접수)

### The Application of CMB Model for Particulate Source Apportionment

Jang-Pyo Cheong and Chang-Yeong Cheong

*Dept. of Environmental engineering, Kyung Sung University, Pusan, 608-736, Korea*  
(Manuscript received 9 September 1994)

#### Abstract

It is necessary to examine the source contributions and the relationship between a receptor and sources for the resonable controlling of air pollution level of suspended particulate matters.

Therefore, in this study, profiles of sources contributing to the concentration of suspended particulate matters, were developed and CMB model was applied to obtain information of source contributions and feasibility of CMB model application.

According to the propose of this study, twenty-seven chemical species such as the elements, anions, and total carbon of thirty-six  $PM_{10}$  and TSP data sets sampled at the Pömch'ön receptor site in Pusan for a 24-hr period from May to Aug. 1992, were analyzed and three (transportation, soil, marine) different source profiles were developed through the field measurement.

Applying CMB model to transportation, soil, marine, the results of source contribution by CMB model showed that the case with TSP was more suitable for CMB model than that with  $PM_{10}$ .

And the average contribution of transportation source to TSP and  $PM_{10}$  concentration at Pömch'ön receptor was calculated as  $90.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (64%) and  $23.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (39%), respectively, which showed that the contribution by transportation was dominant.

The validation of CMB model was performed by means of the results of contributions from marine source for the wind direction sectors.

Key Words : CMB, Source profile,  $PM_{10}$ , TSP

#### 1. 서 론

대기오염현상에 대하여 적절한 통제 및 효율적인 관리방안을 도출하기 위해서는, 오염물질의 제반특성의 파악과 더불어 오염원과 착지점(receptor)

사이의 관계규명이 필수적이다.

이러한 오염원과 착지점사이의 관계규명을 위한 오염원 할당방법론은 크게 오염원 중심모형과 착지점중심모형으로 구분되며, 그 중 착지점모형은 오염원 중심모형에 비해 그 이론적 원리 및 개념

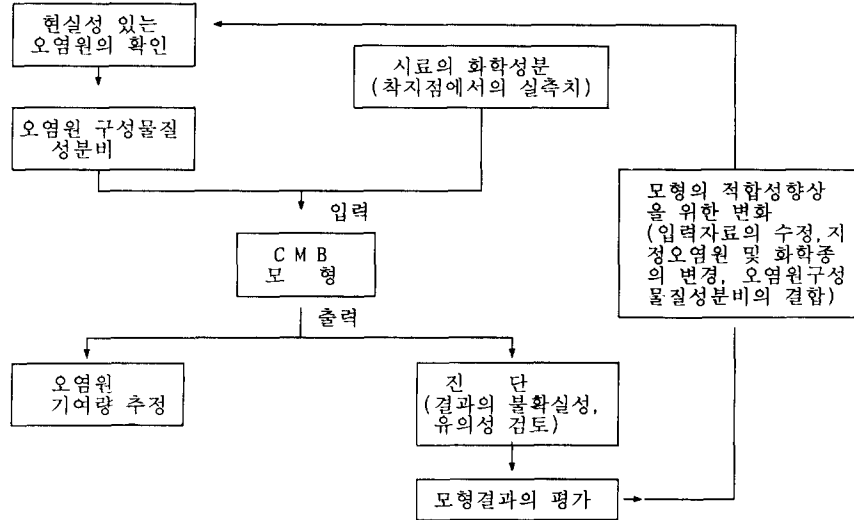


Fig. 1. Inputs and outputs of CMB model.

이 간단할 뿐만 아니라 기상 및 오염원 자료에 대한 정확성이 상대적으로 덜 필요하며, 특히 목록화 되어 있지 않은 비점오염원에 대한 양적 정보를 알아낼 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있어서, 특히 미국을 비롯한 외국각지에서 분진오염도에 대한 기여도 산정 등에 목적에 많이 활용되어 오고 있다.

따라서 본 연구에서는 부산시 부유분진오염도에 대한 적절한 관리를 위해 착지점중심모형 중 활용도가 높은 CMB모형(chemical mass balance model version 7.0)의 적용 및 검증에 위한 오염원 구성물질성분비(source profile)자료의 정리 및 개발과 아울러 착지점에서 채취된 분진의 입자크기 범위에 따라 PM<sub>10</sub>과 TSP로 분류시켜 그 화학적 성분을 분석하여 이들 자료를 CMB모형에 적용시켜 나온 결과를 비교 고찰함으로써 부산시 부유분진농도에 대한 주요분진오염원의 기여도 산정과 아울러 CMB모형의 향후 적용가능성을 알아보았다.

## 2. CMB모형

CMB모형은 착지점에서 측정된 대기분진시료의 화학적 구성성분과 오염원군의 오염원 구성물질성

분비를 이용하여 각 오염원에서의 기여도를 산정하는 모형으로서 개략적인 흐름도는 Fig. 1과 같다.

이러한 CMB모형은 초창기에 Winchester, Nifong(1971), Miller(1972) 등에 의해 개발되었으며, 그 후 CMB모형의 수학적 해법의 개량, 적용화학종 범위의 확대 등 모형발전의 큰 진전을 통하여 현재는 Version 7까지 개발되어져 사용되고 있다(U.S. Environmental Protection Agency, 1989).

본 연구에서 사용된 CMB모형은 Version 7로서 이론적 원리는 질량수지식과 질량보전의 법칙이 적용되며, 수학적 해석방법은 EVWLS(effective variance weighted least squares solution)해법으로서, 식(1)을 최소화시키는 제약조건을 이용하여 이 해를 구하는데 이는 착지점의 측정오차와 오염원 구성물질성분비의 측정오차를 동시에 고려하여 가중치를 부여함으로써 그 해의 정확도를 제고하였다(Henry, 1982).

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\left(C_i - \sum_{j=1}^p a_{ij}S_j\right)^2}{\sigma_{c_i}^2 + \sum_{j=1}^p \sigma_{a_{ij}}^2 S_j^2} \quad (1)$$

여기서,

- $\chi^2$  : 카이 자승값
- $C_i$  : 착지점에서의 i화학종의 농도
- $n$  : 화학종의 수
- $p$  : 기여오염원의 수
- $a_{ij}$  : j오염원의 i화학종의 구성물질 성분비
- $S_j$  : j오염원의 기여도
- $\sigma^2_{C_i}$  : 착지점의 i 화학종의 농도에 대한  $C_i$ 의 분산
- $\sigma^2_{a_{ij}}$  : j오염원의 i 화학종의 구성물질성분비에 대한  $a_{ij}$ 의 분산

### 3. 시료채취 및 분석

#### 3.1 시료채취

본 연구의 시료채취 위치는 주거 및 인구가 밀집되어 있는 부산시 부산진구 범천1동 사무소이고 시료는 지상 약 8m의 옥상에서 채취했다. 이 위치는 미국 CFR(code of federal register) 및 대기 공정공해시험법 등에 기술되어 있는 내용과 같이 주위의 공기흐름의 방해를 주지 않으며 국소적으로 존재하고 있는 오염원의 영향을 극소화시키는 조건을 만족하는 지역으로서 그 지리·지형적 특성은 그 주변이 황련산 백양산 등에 의해 둘러 쌓여 있으며, 특히 교통의 요충지로서 1일 통행인구가 180만 명에 이르고, 1일 교통량이 21만대에 달하며, 차량정체 현상이 두드러진 지역적 특성을 가지고 있다(부산진구, 1992).

시료채취 기간은 92년 5월 16일 부터 92년 9월 1일 까지이며, 이 기간동안 36회에 걸쳐 PM<sub>10</sub>과 TSP를 24시간 연속 포집하였다. PM<sub>10</sub>입자의 포집을 위해 사이클론(D<sub>50</sub> = 10 $\mu$ m)을 부착한 고용량 분진 채취기(Kimoto Model-121FT)를 사용하였으며, TSP 입자의 포집의 경우 같은 회사의 고용량 분진채취기(Kimoto Model-120F)를 사용하였다.

필터 재질은 중금속의 함량이 적고 탄소의 정량 분석에 유리한 Whatman사의 8"×10"의 크기를 갖고 공극의 크기가 0.6  $\mu$ m인 고순도 미세석영여지(Whatman QM-A)를 사용하였다.

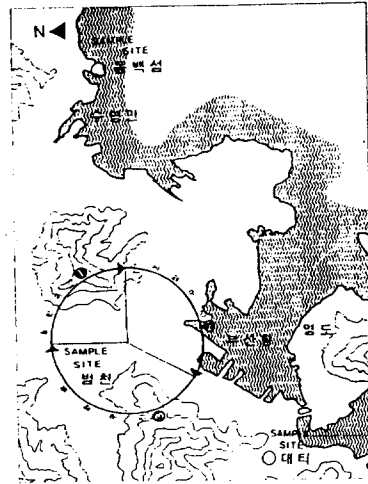


Fig. 2. Map of sample site and wind direction sectors.

#### 3.2 시료의 분석

##### 3.2.1 분진농도 산정

시료채취전에 여지를 20°C에서 실리카겔을 제습제로 한 desiccator속에 넣어 항량이 될 때까지 약 48시간 이상을 방치한 후 사용하였으며, 시료채취 후 동일한 방법으로 처리하여 시료채취 전후의 무게를 KERN사의 analytical balance (S2000 /20)를 사용해서 측정하였다. 또한 흡인유량은 유량계에 의한 보정과 온도 및 압력보정을 거쳐 표준상태의 총유량으로 환산한 후 각각 PM<sub>10</sub> 및 TSP의 농도를 산정했다.

##### 3.2.2 중금속분석

칭량이 끝난 시료여지를 정확히 반으로 잘라내어, 코니칼 비이커(300 ml)에 시료에 손상이 가지 않도록 잘게 찢어 넣고 여기에 고순도의 유해금속 측정용 질산(61%)과 염산(35%)을 3:1(V/V) 혼합 비율로 약 100ml 가한 후 시계접시로 뚜껑을 봉한 후 가열온도를 약 160~180°C로 유지하여 약 2시간 동안 추출한 후, 이를 대기온도까지 방냉하였다. 이를 다시 여지(Whatman filter paper-42)에 통과시킨후 전처리한 시료의 양이 정확히 200ml가

되도록 증류수를 가하여 이를 ICP/AES (plasmalab-844; LABTAM LTD)로써 Al, Co, Cr, Cu 등 21개 항목을 분석하였다.

### 3.2.3 음이온 분석

시료여지의 1/4을 정확히 취하여, 이를 초순수 증류수( $\rho=18M\Omega\cdot cm$ )에 담근후 초음파 추출을 약 30분간 거친 후 0.45 $\mu m$ 의 Millipore필터로 여과한 후 최종 시료의 부피를 100ml로 정량한 다음 이를 Water사의 이온 크로마토그래프(model 600E system)를 이용하여  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 에 대해 분석하였다.

이 때 용리액으로서 Borate/Gluconate용액을 분리 Column으로서 IC-PAK<sup>TM</sup>을 사용하였으며 용리액 유량은 1.0 ml/min으로 설정하여 분석하였다.

### 3.2.4 탄소와 황의 분석

시료의 탄소와 황의 정량을 위해, 시료여지의 1/8을 정확히 취하여, Leco사의 Carbon & Sulfur System(model CS-244-784-000)로 정량하였다.

먼저 시료의 손실이 없도록 칭량된 시료는 C-S 분석기의 시료용기(boat)에 잘게 찢어 넣어서 노(furnace)의 온도를 높임에 따라 C의 성분은  $CO_2$ 로 S의 성분은  $SO_2$ 로 산화가 되어 이를 적외선흡수 검지방법으로 미리 표준물질로 분정된 검량선에 의해 C, S의 중량 % 농도를 얻었다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 오염원 구성물질 성분비

본 연구에서는 부산의 지리적 특성과 분진기여량이 상대적으로 많다고 생각되는 교통, 토양, 해양의 오염원 구성물질성분비를 실측자료를 통해 얻었다.

교통오염원의 구성성분비 조사를 위해서 대티터널안에서 분진시료를 채취했는데, TSP의 경우 총 5회  $PM_{10}$ 의 경우 총 4회를 실측하여 그들의 평균

값을 택하여 모형의 입력자료로 사용하였다.

터널내의 분진시료를 채취한 이유는, 브레이크 라이닝, 타이어, 연료 첨가제 등 자동차에 의한 기여원이 복잡다양하기 때문에, 각종 차량에 대한 기여도를 산정하기 위해, 도시교통의 조건하에서 통합된 기여도를 측정하는 것이 효과적이기 때문이다(Ondov, 1982).

토양의 경우, 대상지역내의 시료채취위치, 시료채취방법에 따라서 많은 차이를 나타내기 때문에 부산시에서 매년 측정하고 있는 각 위치에서 토양 성분농도의 3년치 자료와 외국에서 개발된 여러 종류의 토양에 관한 오염원 구성물질성분비 자료를 통합하여 이들 값의 평균치를 택하여 모형의 입력자료로 사용하였다.

해양오염원의 구성성분비 조사를 위해 육지의 영향을 거의 받지 않는다고 판단되는 부산시 해운대구 소재 동백섬을 채취위치로 삼아 오염원 구성물질성분비로 산정하였다.

그리고 본 연구에 의해 교통, 해양, 토양오염원을 대상으로 CMB모형의 적용에 의한 기여도 결과와 비교하기 위해서 채택된, 중유(heavy oil) 및 금속관련(metal)오염원 구성물질성분비 자료는 미국 EPA의 VOC/PM speciation data system 에서 인용했다(U.S.EPA, 1988).

교통, 토양, 해양오염원 구성물질성분비의 실측자료를 Table 1에 정리하였다.

Table 1에서 보면 교통오염원에 대한 구성성분비를 외국의 자료(Ondov, 1974; Watson, 1979; U.S. Environmental Protection Agency, 1988)와 비교해 볼때 각 화학종에 대한 구성물질 성분비의 경향은 대체적으로 일치하고 있으나, 그 특징적인 사항은 Mo, P, Na,  $Cl^-$  등의 구성분율이 높은 편이며, Pb의 구성분율은 낮게 산정되었다.

실측자료를 살펴보면 Mo, P 등은 실측치의 변동이 상당히 높게 분석되었는데, 이러한 이유는 국지적인 영향이나 실측오차가 많기 때문으로 생각되며, Na,  $Cl^-$  등은 해염(sea salt)의 영향을 받은데다가, 특히  $Cl^-$ 은 디젤 기관에서 많이 배출되는 물질로 대티터널의 경우 대형 트럭 및 트레일러가 상대적으로 많이 운행되기 때문으로 판단된다.

Table 1. Source profiles for Transportation, Marine, and Soil in Pusan( $\mu\text{g/g}$ )

Element	Source profile					
	Transportation		Marine		Soil and Crust	
	PM <sub>10</sub>	TSP	PM <sub>10</sub>	TSP	PM <sub>10</sub>	TSP
Al	1491	6468	11,970	5,040	85890	77290
Co	154	50	25	35	30	21
Cr	N.D.	107	N.D.	N.D.	172	148
Cu	N.D.	N.D.	70	570	86	42
Fe	8019	7462	9,375	10,770	55282	43357
Mg	3264	4197	5,100	6,010	16300	12200
Mn	194	201	250	230	319	540
Mo	1237	303	245	215	N.D.	N.D.
Ni	N.D.	297	480	560	83	71
P	N.D.	4607	N.D.	N.D.	1420	1420
Pb	3931	2455	695	870	1428	861
Sb	1172	336	240	190	80	80
Si	N.D.	171	N.D.	N.D.	267132	244265
Sn	359	401	N.D.	190	N.D.	N.D.
Zn	3138	2385	3,190	3,140	773	583
K	3063	1339	5,108	4,290	17057	18832
Ca	6505	2779	10,990	9,000	23390	30565
Na	11873	5457	84,580	69,400	13800	19400
Cd	22	93	36	300	0.15	0.25
C	347674	318155	61,410	58,405	4286	4186
S	18016	42926	31,090	29,750	195	146
V	N.D.	104	165	120	6785	5920
Ti	190	311	380	175	862	1625
Cl <sup>-</sup>	25262	26776	27,650	22,200	3120	3120
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1159	6745	2,280	8,980	N.E.	N.E.
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	42990	23188	57,170	61,910	N.E.	N.E.

\* N.D. : Non Detection \* N.E. : Non Estimation

Pb의 분율이 낮게 나온 이유는 87년 후반기부터 삼원촉매장치를 부착한 차량의 생산으로 유연휘발유에서 무연휘발유로 대체된 사실과 앞서 Na, Cl<sup>-</sup> 등의 분율이 높게 산정되었기 때문에 상대적으로 Pb의 분율이 낮게 산정된 것으로 생각된다.

그리고 C의 구성비는 35%(PM<sub>10</sub>)와 32%(TSP)로 산정 되었는데, 미국의 각 도시에서 교통오염원 구성물질성분비 조사에서 산정된 56%(St. Louis), 54% (Portland) 등에 의하면 다소 낮은 비율을 나타내었다(Dzubay, 1980; Cooper *et al.*, 1979).

한편 해양오염원의 구성분율을 살펴 볼 때 특징적인 것은 Na, Cl<sup>-</sup>의 분율이 낮게 분석되었으며, S, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>의 분율이 높게 측정되었음을 알 수 있다.

이러한 사실은 해양오염원의 채취장소인 동백섬

이 순수하게 해양의 영향만을 받지 않고 대기 오염 영향권내의 오염도를 일부 반영하는 것이라 판단할 수 있다. 그러나 Na, Al, Mg, Cl<sup>-</sup>의 분율이 외국의 해양구성물질성분비의 경우와 같이 높으며, V, Ti, Cr, P 등은 낮게 분석된 사실에서 그 대체적인 경향은 어느 정도 일치되고 있음을 알 수 있다.

토양오염원 구성물질성분비의 경우, 앞에서 언급된 바와 같이 부산자료와 외국자료를 통합시킨 자료이므로, 그 특성을 구체적으로 파악하기는 어렵다.

#### 4.2 CMB모형의 적용

착지점의 실측자료와 교통, 해양 및 토양오염원

Table 2. The outputs of CMB7 model for chemical components of TSP and PM<sub>10</sub>

Date	TSP							PM <sub>10</sub>						
	Tran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soil ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Marin ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	R Square	% Mass	Chi Square	Meas Conc.	Tran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soil ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Marin ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	R Square	% Mass	Chi Square	Meas Conc.
5.28	82.777	33.442	0.701	0.610	81.900	5.870	142.812	42.354	12.381	0.060	0.550	86.300	9.470	63.532
5.29	47.540	17.050	4.840	0.420	55.300	9.970	126.508	33.019	26.293	0.739	0.520	143.700	13.380	41.898
5.30	125.485	53.201	2.975	0.450	105.600	9.840	172.023	43.721	9.750	0.501	0.600	91.500	10.700	59.095
6. 2	117.671	124.032	1.629	0.790	143.400	4.110	169.704	12.746	4.880	0.541	0.340	22.300	27.020	81.572
6. 3	131.850	68.074	11.324	0.750	84.100	4.340	251.457	57.789	8.855	4.912	0.520	94.900	13.540	75.431
6.17	88.910	44.020	4.300	0.740	110.200	3.690	124.546	20.840	0.480	0.640	0.520	61.600	16.080	35.797
6.19	61.031	44.143	2.266	0.690	93.000	3.640	115.471	31.150	3.728	0.234	0.640	86.900	10.370	40.493
6.21	128.980	63.210	5.430	0.500	118.500	7.810	166.732	16.646	0.963	1.235	0.430	99.700	23.040	18.937
6.24	15.379	28.935	3.347	0.560	150.300	9.450	31.703	17.872	1.909	1.557	0.460	58.600	17.770	36.361
6.25	97.121	48.042	6.561	0.710	113.900	4.700	133.188	20.726	5.822	1.300	0.560	76.700	19.320	36.361
6.28	121.733	27.200	26.190	0.370	94.200	13.820	185.844	50.965	28.304	9.899	0.720	105.830	8.550	84.341
6.29	132.946	32.202	26.886	0.410	85.100	10.880	225.631	37.316	21.702	8.270	0.710	48.800	9.730	138.093
6.30	45.626	22.675	19.948	0.710	73.300	2.980	120.440	23.972	1.861	4.578	0.430	67.000	16.720	45.460
7. 4	103.663	31.899	21.195	0.740	95.700	2.760	163.789	39.069	1.940	1.328	0.490	53.500	15.260	79.150
7. 5	89.950	32.080	30.020	0.680	73.500	3.650	206.802	24.225	2.058	1.878	0.400	59.800	24.200	47.119
7. 6	138.268	8.683	5.519	0.430	65.000	9.620	234.602	16.468	2.255	5.510	0.490	23.300	21.470	104.298
7. 7	204.910	10.898	3.718	0.600	85.300	4.390	257.492	19.286	2.267	5.373	0.460	26.700	24.750	101.093
7. 8	155.041	1.209	4.893	0.580	61.900	6.720	260.425	18.033	2.250	5.980	0.480	25.300	23.610	104.059
7. 9	110.594	7.013	3.933	0.590	85.400	5.090	142.399	17.383	3.865	5.345	0.580	49.400	16.310	53.839
7.15	73.390	2.875	3.440	0.460	90.900	9.920	87.697	18.011	2.901	5.403	0.530	56.800	22.040	46.318
7.18	87.396	4.026	2.685	0.670	56.300	2.290	167.139	19.804	3.335	5.780	0.440	35.400	30.500	81.663
7.20	91.679	0.715	3.179	0.400	113.800	9.830	83.953	9.767	1.715	3.007	0.440	68.700	30.740	21.183
7.21	86.030	1.890	6.140	0.440	107.400	10.720	87.758	8.510	1.860	2.964	0.450	65.100	33.200	20.504
7.22	89.984	1.721	4.341	0.410	94.000	11.780	102.201	7.279	2.292	2.715	0.530	48.400	23.280	25.471
7.23	102.632	6.974	2.691	0.600	63.200	4.940	177.786	41.635	11.010	2.201	0.830	95.700	3.160	57.396
7.25	58.215	7.250	4.982	0.750	98.600	2.500	71.471	16.866	1.551	4.603	0.640	83.400	13.850	27.691
7.26	119.102	5.393	3.812	0.410	91.600	9.970	140.011	19.051	2.191	3.593	0.590	46.800	18.320	53.189
7.29	41.331	5.163	0.961	0.630	44.300	5.380	107.235	14.621	2.592	0.695	0.690	49.900	12.040	35.919
7.30	50.192	19.914	0.424	0.470	49.400	3.720	142.847	16.648	2.229	0.372	0.610	39.000	10.770	49.397
7.31	57.554	4.083	1.920	0.420	64.000	10.590	99.355	13.429	2.879	0.027	0.680	45.800	9.340	35.778
8.1	35.910	4.088	3.299	0.510	55.800	8.850	77.539	8.477	3.904	0.818	0.570	62.000	16.190	21.342
8.24	53.564	7.865	2.696	0.600	68.700	6.010	93.371	23.306	4.963	6.598	0.480	42.000	27.710	83.119
8.27	92.341	5.542	4.298	0.680	50.000	3.870	204.459	22.266	4.088	6.453	0.670	17.000	15.840	193.230
8.28	71.253	2.822	3.179	0.740	109.200	2.400	70.732	16.833	1.687	3.046	0.380	21.300	44.130	65.712
8.29	83.534	2.642	2.869	0.660	114.500	3.740	77.795	14.508	2.205	3.885	0.690	63.000	14.540	32.710
8.30	70.279	2.074	2.190	0.300	114.400	12.030	65.159	25.377	3.409	2.995	0.850	55.900	3.930	56.852
Avg.	90.663	21.751	6.633	0.569	87.825	6.719	141.453	23.274	5.513	3.201	0.546	60.632	18.484	60.861

의 구성물질성분비 자료를 CMB 모형에 입력하여 최적의 해를 구하기 위해, 1) 시간변화와 대기중 회석작용에 대해 안정되게 고농도를 가지는 화학종과 2) 그 화학종이 다른 오염원에서 낮은 농도를 나타내거나 혹은 자연 배경농도가 낮은 조건을 만족하는 화학종과 3) 그 화학종의 분석시 높은 분석 민감도를 가지는 조건을 만족하는 입력 화학종 C, Na, Mg, Al 등 19개 항목을 입력자료로 선택하였다.

Table 2에 기여오염원의 각 시료에 대한 절대 기여량( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 CMB모형의 적용결과의 평가를

통계학적으로 판단할 수 있는 결정계수( $r^2$ ), 질량 백분율(% mass), 카이 자승값( $\chi^2$ )을 나타 내었다.

Table 2로부터 TSP의 경우, 총 측정기간중의 평균 TSP농도의 약 84%가 3개의 오염원에 의해 기여됨에 비해, PM<sub>10</sub>의 경우 53%가 기여됨을 알 수 있으며, CMB모형의 적합도 평가항목인 질량 백분율,  $r^2$  및  $\chi^2$ 값 등을 평가할 때 PM<sub>10</sub>에 비해 TSP의 경우가 훨씬 모형 적합도가 양호한 것으로 나타났다.

이러한 이유는 토양오염원 구성물질성분비의 구성시 TSP에 비해 PM<sub>10</sub>의 자료가 빈약하며, 부산

Table 3. Average TSP and PM10 source contributions for five fitting sources(N=36)

Size		Trans.	Soil	Narine	Heavy oil	Metal	Assessment
TSP	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	91.164 (90.663)	16.056 (21.751)	5.538 (6.633)	3.220 ( - )	7.130 ( - )	$R^2 = 0.42(0.57)$ $\chi^2 = 17.56(6.12)$
	%	64.40 (64.13)	11.35 (15.42)	3.91 (4.72)	2.28 ( - )	5.05 ( - )	% mass = 89.69 (87.83)
PM <sub>10</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	31.380 (23.274)	2.072 (5.513)	2.932 (3.201)	3.667 ( - )	1.000 ( - )	$R^2 = 0.56(0.55)$ $\chi^2 = 18.30(18.48)$
	%	51.98 (38.64)	3.43 (9.10)	4.86 (5.33)	6.08 ( - )	1.66 ( - )	% mass = 72.44 (60.63)

\* ( ) 안의 수치는 Table 2 의 결과를 정리한 것

시에서 측정된 일부 항목의 분석치의 경우 시료 채취방법의 차이로 인해 상대적으로 작은 입자에 대한 대표성이 큰 입자에 대한 것보다 낮기 때문에 판단된다.

그리고 작은 입자의 경우 큰 입자에 비해 인간 활동에 의한 구성분율이 높는데 반해 입력 오염원으로써 각종 산업체 및 연소에 의한 오염원이 적용되지 않았기 때문에 PM<sub>10</sub>에 대한 모형적용의 결과가 TSP보다 좋지 않게 평가된 것으로 사료된다.

범천 1동에 대한 시료채취기간중의 교통, 토양, 해양오염원의 평균 기여도는 TSP의 경우, 교통오염원이 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (64%), 해양오염원이 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5%), 토양오염원이 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (16%)으로 산정되어 이 기간중 TSP의 평균 농도 141.453 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 84%를 설명하고 있으며, 또한 PM<sub>10</sub>의 경우, 교통오염원이 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (39%), 해양오염원이 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6%), 토양오염원이 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10%) 정도 기여하여 이 기간 중의 PM<sub>10</sub> 평균농도 60.365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 53%를 이들 세가지 오염원에 의해 설명되었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 알아보기 위해, 부산시 대기 배출원 목록을 참고하여 분진 배출량의 기여도가 높은 금속관련 업종(34.1%)과 착지점이 속한 부산진구의 목욕탕, 건물 및 각종 산업체에서 많이 사용되는 중유(heavy oil)를 CMB입력 오염원으로 추가하고, 앞의 조건과 동일하게 5개의 오염원에 의한 착지점의 분진농도 기여량을 산정하기 위해 19개의 화학종을 CMB모형에 적용시켜 그 결과를 Table 3에 요약 정리하였다.

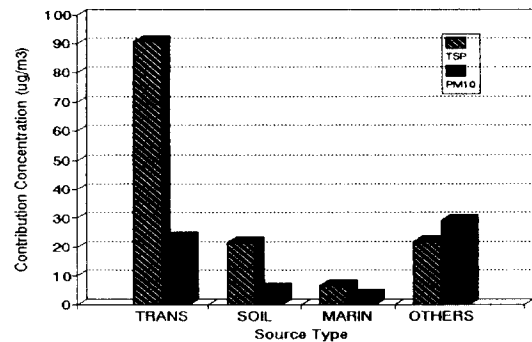


Fig. 3. Average TSP and PM<sub>10</sub> source contribution concentrations.

교통, 토양, 해양오염원을 CMB에 적용한 것과 교통, 토양, 해양, 중유, 금속관련 오염원을 CMB에 적용한 것의 결과를 비교해 볼 때, 1) 모형결과의 평가척도인  $r^2$ ,  $\chi^2$ , 질량백분율의 값을 가지고 판단할 때, 전자의 경우에서 훨씬 나은 모형결과가 산출되었음을 알 수 있으며, 2) 후자의 경우를 적용했을때 교통, 토양 및 해양오염원의 기여량 및 기여율의 변화는 매우 낮게 나타났으며, 특히 교통 오염원의 기여도는 거의 변화가 없었다. 이러한 의미는 교통, 토양, 해양오염원에 의해서, 착지점의 TSP 농도가 대부분 설명되어짐을 뜻한다. PM<sub>10</sub>에 대한 기여도 산정결과를 고찰해 보면, 1) 모형결과 평가 척도인  $r^2$ ,  $\chi^2$ , 질량백분율의 값을 비교해 보면,  $r^2$  값과  $\chi^2$ 의 값은 거의 차이( $r^2 = 0.56, 0.55$ ;  $\chi^2 = 18.30, 18.48$ )를 보이지 않으며, 질량백분율의 경우 2개 오염원의 추가로 인해 약

12%의 차이(60.63% → 72.44%)를 보였으며, 3) 각 오염원별 기여도의 경우 전자에 비해 후자의 경우에서 교통오염원의 기여도가 커진 반면, 토양 및 해양의 기여도는 낮게 산정되었다.

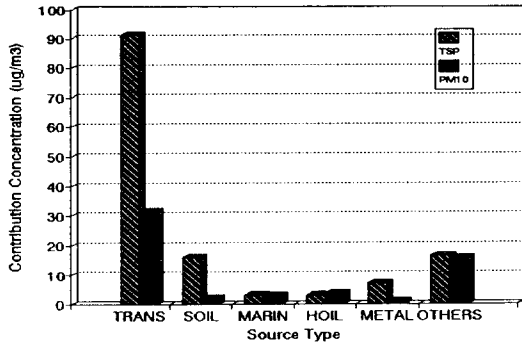


Fig. 4. Average TSP and PM<sub>10</sub> source contribution concentrations.

이러한 의미는 앞서 고찰된 바와 같이, PM<sub>10</sub>의 경우 교통, 토양, 해양오염원에 의한 착지점 PM<sub>10</sub> 농도의 기여도가 낮음(53%)을 나타내는 것이며, 이러한 사실은, 본 연구에서 PM<sub>10</sub> 농도의 기여도를 산정하기 위해, CMB모형의 입력오염원으로 선정된 교통, 해양, 토양오염원 외에, 착지점의 PM<sub>10</sub>에 영향을 미치는 오염원 중 누락된 것이, TSP의 경우보다 상대적으로 많음을 의미한다.

실제 토양에 의한 대기중의 분진기여량은 큰 입자가 대부분을 차지하며, 이 토양은 PM<sub>10</sub>보다는 TSP에 대한 기여도가 높게 산정되는 오염원이다. PM<sub>10</sub> 입자크기의 분진은 각종 연소관련 공정에서 많이 생성되고 있는 것으로 밝혀져 있으며, 따라서 PM<sub>10</sub>의 경우 좀 더 정확한 오염원기여도 산정을 위해 입력 오염원의 추가가 차후 연구에 의

해 필요한 것으로 사료된다.

또한 모형의 검증용 위해 Fig. 2에서 도시된 바와 같이 각 풍향구간별로 산정된 CMB모형의 결과를 구분하여 각 오염원별 평균기여도를 Table 4에 정리하였다.

먼저 해양오염원의 풍향구간별 평균 기여도를 살펴보면 해양오염원의 영향을 가장 많이 받는 풍향구간 2에서 TSP 및 PM<sub>10</sub>의 기여량과 기여율이 가장 높게 나왔으며, 다음이 풍향구간 1, 풍향구간 3의 순으로 나왔으며, 이 사실은 CMB모형의 결과에 대한 적합성의 근거를 제공하는 것이다.

교통오염원의 경우 풍향구간변화에 따른 착지점의 기여도는 별 차이가 나지 않는다. 이 사실은 본 연구의 착지점의 위치를 중심으로 도로망이 어느 한 곳으로 편중되어 있지 않고 넓게 퍼져 있어서 어느 방향으로 바람이 불더라도 거의 차이가 나지 않는 반면 풍속 등 다른 기상요소에 의해 상대적으로 영향을 많이 받고 있음을 시사한다.

### 3. 결 론

1. 본 연구에서 개발정리된 오염원구성물질 성분비와 외국의 오염원 구성물질 성분비를 비교해 볼때 측정지역, 측정대상 등 여러 변수에 의해 오염원 구성물질 성분비의 차이가 남을 확인할 수 있었으나, 각 화학종간의 오염원 구성물질 성분비의 경향은 대체적으로 일치함을 보인다.

특히 특징적인 것은 교통오염원의 오염원 구성물질에 있어서 Na, Cl<sup>-</sup> 등의 구성분율이 높은 편이며 Pb의 구성분율은 낮게 산정되었다.

2. 교통, 토양, 해양오염원에 대하여 CMB모형

Table 4. Average contributions of fitting sources for wind direction sectors

Contribution	Wind direction sector	Class 1 <0~90>			Class 2 <90~220>			Class 3 <220~360>		
	Sources	Trans.	Soil	Marin	Trans.	Soil	Marin	Trans.	Soil	Marin
PM <sub>10</sub>	μg/m <sup>3</sup>	21.31	3.83	3.22	26.93	10.72	5.09	23.56	4.88	2.10
	%	0.42	0.08	0.072	0.43	0.15	0.069	0.49	0.09	0.04
TSP	μg/m <sup>3</sup>	95.52	11.51	4.04	93.31	20.72	11.81	90.53	29.77	5.94
	%	0.68	0.06	0.03	0.64	0.14	0.07	0.70	0.23	0.05



을 적용한 결과, CMB모형에 의한 오염원 기여도 산정결과는 PM10에 비해 TSP의 경우가 더 양호한 적합성을 보였다.

3. 교통, 토양, 해양오염원에 대한 CMB모형의 결과를 살펴볼 때, 착지점에서의 평균 TSP 및 PM10 농도에 대한 교통오염원의 기여량이 각각  $90.66\mu\text{g}/\text{m}^3$  (64%),  $23.27\mu\text{g}/\text{m}^3$  (39%)로 산정되어 교통오염원에 의한 착지점의 부유분진농도의 기여가 지배적임을 알 수 있었다.

4. 교통, 토양, 해양오염원에 추가적으로 중유, 금속오염원을 포함시켜 CMB모형을 적용시켰을 때 TSP의 경우, 모형의 적합도와 각 오염원의 기여도가 거의 차이가 나지 않음으로써 교통, 토양, 해양오염원에 의해 착지점의 TSP 농도의 많은 부분이 설명됨을 알 수 있었으며, PM10의 경우, 착지점의 PM10농도에 영향을 주는 기여오염원의 누락을 확인할 수 있었다.

5. CMB모형의 결과에 대한 검증을 풍향구간에 따른 해양오염원 기여도를 중심으로 살펴본 결과, 해양염이 착지점에 영향을 많이 주는 풍향구간 조건하에서 해양오염원의 기여도가 높게 산정됨으로서 모형결과의 타당성을 입증하였다.

### 참 고 문 헌

부산직할시 부산진구, 1992, 부산진구 통계연보.  
 Cooper, J.A., J.G. Watson, 1980, Receptor-oriented methods of air particulate source apportionment, J. Air Pollu. Control Assoc., 30, 1116.  
 Dzuby, T.G., 1980, Chemical element balance method applied to dichotomous sampler data, In Annals of the New York Academy of Sciences, 338, 126.  
 Gatz, D.F., 1978, Identification of aerosol source in the St. Louis area using factor analysis, J. Applied Meteorology, 17, 600.  
 Gordon, G.E., W.R. Pierson, J.M. Daisey, P.J. Liroy, J.A. Cooper, J.G. Watson and

G.R. Cass, 1984, Considerations for design of source apportionment studies, Atmos. Environ.  
 Henry, R.C., 1982, Stability analysis of receptor models that use least squares fitting, In receptor models applied to contemporary air pollution problems, J. Air Pollu. Control Assoc., 32.  
 Miller, M.S., S.K. Friedlander, and G.M., Hidy, 1972, A chemical element balance for the Pasadena aerosol, J. of Colloid and Interface Science, 39, 165.  
 Ondov, J.M., W.H. Zoller and G.E., Gordon, 1982, Trace element emissions on aerosol from motor vehicles, Environ. Sci. and Technol., 16, 318-328.  
 U.S. Environmental Protection Agency, 1981, Receptor model technical series, Volume I, Overview of receptor model application to particulate source apportionment, EPA-450/4-81-016a.  
 U.S. Environmental Protection Agency, 1989., Receptor models technical series, Volume III, CMB user's manual (Version 7.0), EPA-450/4-90-004.  
 U.S. Environmental Protection Agency, 1984, Receptor model technical series, Volume V, Source apportionment techniques and considerations in combining their use, EPA-450/4-84-020.  
 U.S. Environmental Protection Agency, 1988, Air emissions species manual, Volume II, Particulate matter species profiles, Second Edition, EPA-450/2-90-001b.  
 Watson, J.G., 1979, Chemical element balance receptor model methodology for accessing the source of fine and total suspended particulate matter in Portland, Oregon, Ph. D. dissertation, Oregon Graduate Center.

- Watson, J.G., 1982, Overview of receptor model principles, In transaction, Receptor model applied to contemporary pollution problems, J. Air Pollu. Control Assoc.
- Watson, J.G., 1982, Overview of receptor model principle, In receptor models applied to contemporary air pollution problems, J. Air Pollu. Control Assoc., 32.
- Watson, J.G., J.A. Copper, and J.J. Huntzicker, 1984, The effective variance weighting for least squares calculations applied to the mass balance receptor model, *Atmo. Environ.*, 18.
- Winchester, J.W. and G.D. Nifong, 1971, Water pollution in lake Michigan by trace elements from pollution aerosol fallout, *Water, Air and Soil Pollut.*, 1, 50.