

## 대기 중 TSP와 PM10 농도의 관련성

### Relationships between TSP and PM10 Concentrations in the Ambient Atmosphere

최진수·백성옥  
영남대학교 환경공학과

(1997년 9월 1일 접수, 1998년 2월 19일 채택)

Jin-Soo Choi, Sung-Ok Baek

*Department of Environmental Engineering, Yeungnam University*

(Received 1 September 1997; accepted 19 February 1998)

#### Abstract

Relationships between TSP and PM10 concentrations were evaluated using their respective data sets collected from Taegu and Kyeongsan areas during the period of December 1993 to November 1994. The collection of data was made using the gravimetric and  $\beta$ -ray absorption ( $\beta$ -PM) methods for 7 days of every month from three urban sites in Taegu and one suburban site in Kyeongsan. Correlation coefficients between TSP and PM10 concentrations for these four sampling sites were found in the range of 0.85~0.96. Correlation analysis was also conducted for  $\beta$ -PM concentration data that were measured only from the residential and commercial sites. The correlation coefficients between TSP and  $\beta$ -PM concentrations were 0.9 in the residential site and 0.8 in the commercial site. By contrast, the correlation coefficients between PM10 and  $\beta$ -PM concentrations were almost identical for both the residential and commercial sites with a value of 0.88. The mean ratio for PM10 to TSP concentrations for all sites was appeared to be 0.68. The analysis of seasonal trends in PM10/TSP ratios showed that the contribution of PM10 to TSP concentrations was more significant during winter (0.70~0.75) than during summer (0.61~0.68). The results of this study may provide empirical informations on the compatibility of aerosol data measured by different sampling methods.

**Key words :** TSP, PM10, gravimetric method, beta-ray method, regression analysis

#### 1. 서론

최근의 병리학적 연구들은 대기 중 부유먼지의 농도가 인체에 미치는 영향이나 사망률 등과 높은 관련성이 있음을 보여 주고 있다(Monn *et al.*, 1997). 일반적으로 대기 중의 부유먼지에는 토사의 비산먼

지, 해염입자, 화분 등과 같은 자연적인 발생원이나 산업시설, 가정의 난방과 관련된 인위적인 배출원으로부터 발생한 각종 유기물과 무기물을 함유하고 있다. 따라서 각종 산업시설 및 대형 디젤 자동차 수의 급격한 증가는 대기 중 부유먼지의 농도를 증가시키는 중요한 요인이 되고 있다(Tomatis, 1990). 각종 산업시설에서 화석연료의 연소 또는 자동차

와 같은 인위적인 배출원에 의해 발생하는 먼지는 보통 입경이 10 $\mu$ m 이하인 것으로 보고되고 있다 (Purdue *et al.*, 1986; Tomatis, 1990). 10 $\mu$ m 이하의 먼지(이하 PM10)는 호흡시 체내에 흡인되기 쉬우며, 비표면적이 크고, 각종 유해성분을 함유하고 있어 환경보건학적 중요성이 점차 강조되고 있다. 국내에서는 부유먼지의 항목으로 기존의 환경기준에 설정된 총부유먼지(TSP)와는 별도로 PM10 항목을 부가하여, 환경기준에 설정해 놓고 있으며 현재는 이들 항목을 병행하여 측정해 오고 있다.

본 연구에서는 중량법에 의한 농도자료의 비교분석을 통해 TSP와 PM10 농도자료간의 비교평가 및 호환성을 위한 유용한 정보를 제공하고자 하는 목적에서 대구 및 경산지역의 4개 지점을 선정하여 대기 중 TSP와 PM10 농도간의 연계성 또는 상관성을 비교·분석하고, TSP에 대한 PM10의 농도분율의 변동을 지역과 계절에 따라 구분하여 평가하고자 하였다. 또한 대기오염자동측정소가 위치한 2개 지점에 대해서는 동일한 평균화시간으로 환산하여 배타선 흡수에 의한 광학적 측정법으로 구한 총부유먼지(이하  $\beta$ -PM) 농도자료를 중량법에 의해 측정된 농도자료(TSP 및 PM10)와 비교를 시도하였다.

## 2. 시료포집

중량법에 의한 부유먼지의 포집은 대구시의 주거지역, 상업지역, 공업지역으로 대변될 수 있는 3개 지점과 대구 인근에 위치한 경산시의 1개 지점을 포함하는 총 4개 지점을 선정하여, 1993년 12월부터 1994년 11월까지 각 지점에 대하여 매월 임의의 1주간에 걸쳐 샘플러를 가동하였으며, 각 지점별로 약 80여 개의 부유먼지 시료를 포집하였다. 샘플러는 2~4층 규모의 건물 옥상에 설치하였으며, TSP 및 PM10 샘플러간에는 상호영향을 배제하기 위해 충분히 이격시킨 상태에서 운전되었다. 각 측정지점의 위치는 그림 1과 같으며 측정지점에 대한 상세한 내용은 표 1에 나타내었다. 측정지점의 선정은 과거 측정자료와의 비교, 대기오염자동측정소에서 얻을 수 있는 기타 오염물질에 대한 농도자료와의 연계성 및 지역적인 특성을 고려하여 이루어졌다 (Purdue *et al.*, 1986; U.S. EPA, 1992). 선정된 각 측

정지점은 지역의 특성을 반영하여 교외지역, 주거지역, 상업지역 및 공업지역으로 각각 분류할 수 있을 것으로 보인다.

TSP의 포집은 표준 하이볼륨샘플러 (Sierra-Andersen, Model 305-2000, U.S.A)를 사용하였고, PM10의 측정에는 10 $\mu$ m 이하의 입경을 가진 먼지를 선택적으로 분리포집이 가능한 PM10 inlet (Graseby Andersen/General Metal Works G1200, Impaction type, U.S.A)이 장착된 하이볼륨샘플러를 사용하였다. TSP 포집을 위해서는 유리섬유여지 (Whatman, 8"×10")를 이용하였고, PM10 포집에는 석영섬유여지 (Whatman QM-A, 8"×10")를 사용하였으며  $\beta$ -PM의 측정에는 유리섬유질의 테이프형 여지가 각각 이용되었다. 중량법에 의한 TSP와 PM10 시료의 포집유량은 PM10 샘플러 inlet 부착시 가동하도록 설정되어 있는 40CFM (1.13 m<sup>3</sup>/min)을 모든 샘플러에 동일하게 적용시켰다 (Rodes *et al.*, 1985; Wedding *et al.*, 1985). 각 샘플러간의 유량변동 및 포집된 먼지농도 차이의 여부를 평가하기 위해 상호 교차검정을 실시한 결과, 동일한 샘플러간의 농도변동은  $\pm 5\%$  이내로 거의 일치하는 것으로 확인되었다.

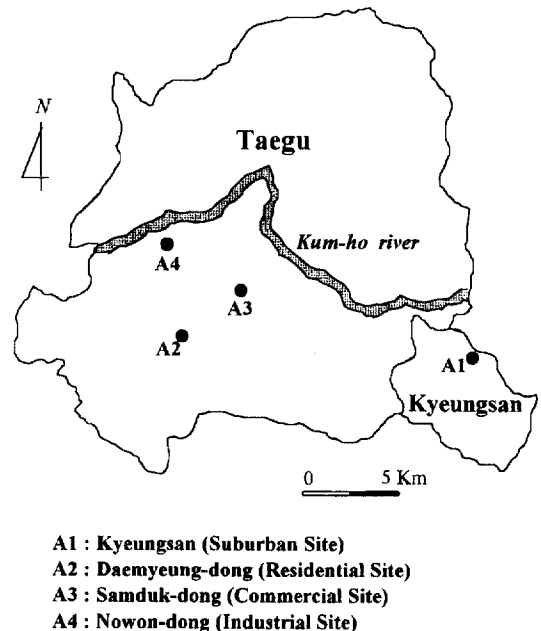


Fig. 1. The location of four sampling sites selected in this study.

**Table 1. Information of each sampling site (Dec. 1993 ~ Nov. 1994).**

Site Name	Site Description	Measured Parameter
Kyeungsan	Suburban Site	TSP, PM10
Daemyeung	Residential Site	TSP, PM10, $\beta$ -PM
Samduk	Commercial Site	TSP, PM10, $\beta$ -PM
Nowon	Industrial Site	TSP, PM10

광학적 측정법에 의한  $\beta$ -PM은 우리 나라 환경 부에서 운영하고 있는 대기오염자동측정소에서 측정되고 있는  $\beta$ 선 흡수에 의한 측정방법으로, 본 연구에서는 TSP용 inlet (Dasibi, P/N Z-0386-A)를 장착하고 있는 TSP beta gauge (Dasibi Environmental Co. Corp., Model 7001, Japan)를 이용하여 총부유먼지 농도로 측정된 자료를 이용하였다. 이 측정기는  $\beta$ 선 방출원으로서  $^{14}\text{C}$  (90  $\mu\text{Ci}$ , Sealed)가 이용되고 있고, 부유먼지의 농도는 실리콘 반도체 검출기에 의해 흡수 감지된  $\beta$ 선의 수에 의해 결정되고 있다 (Chun *et al.*, 1992).

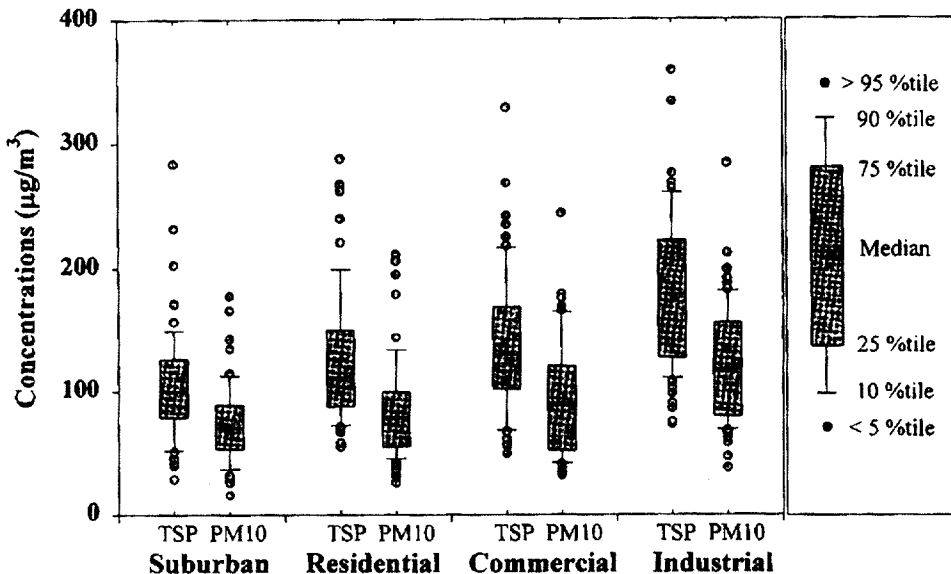
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 지점별 특성

중량법 및 광학적 방법으로 측정된 부유먼지 농

도를 월별로 요약하여 표 2에 나타내었다. 전반적인 농도분포는 교외지역 (경산), 주거지역 (대명동), 상업지역 (삼덕동), 공업지역 (노원동)의 순서로 증가하는 양상을 보여주었다. 각종 산업체가 밀집된 공단지역인 노원동의 경우 측정기간 중 포집된 총 시료 수 79개에 대한 TSP의 평균농도는 177  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, PM10의 평균농도는 119  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 TSP와 PM10 측정치 양자가 장기 대기환경기준 (연간 평균치)과 비교해 볼 때 초과하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 황사현상이 빈번한 4월 중에는 전 지역의 TSP와 PM10의 농도가 뚜렷이 증가하는 것을 알 수 있었다. 표에 나타낸 바와 같이, 본 연구기간 내에 측정된 대구지역의 부유먼지농도 자료들은 매일 측정된 7일간의 평균치이므로 연간 혹은 일간 평균치인 장, 단기 환경기준치와 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러나 대체로 단기환경기준 (TSP 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에는 만족하는 수준이었으나, 장기 환경기준 (TSP 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 비교해 볼 때 이 기준을 초과하는 측정치가 많은 것으로 분류되었다.

4개 지점에서의 1년간의 시료포집기간 (1993년 12월 ~ 1994년 11월)을 난방기간인 동절기 (10월 ~ 3월)와 비난방기간인 하절기 (4월 ~ 9월)로 구분하여



**Fig. 2. Distribution patterns of the TSP and PM10 data.**

Table 2. Monthly mean concentrations (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for PM10 and TSP in Taegu-Kyeungsan area\*.

	Kyeungsan		Daemyeung			Samduk			Nowon	
	PM10	TSP	PM10	TSP	$\beta$ -PM	PM10	TSP	$\beta$ -PM	PM10	TSP
93.12	N.A.	122	146	195	124	150	N.A.	120	158	198
94. 1	89	113	111	156	102	66	100	70	187	260
2	59	85	62	90	61	124	181	161	113	158
3	110	138	79	109	81	90	144	142	87	151
4	124	177	145	228	112	166	231	194	127	203
5	63	105	75	130	63	87	132	107	124	221
6	65	99	78	118	76	118	152	153	125	210
7	63	82	46	77	48	62	115	79	69	109
8	38	58	50	83	54	47	89	68	71	117
9	55	84	59	93	68	68	103	52	98	144
10	74	107	78	99	77	101	138	77	119	169
11	72	96	104	151	122	110	144	71	146	181
Mean	74	106	86	127	82	99	139	108	119	177
S.D.	25	31	34	47	25	36	40	44	35	44

\* Mean values for each (7-day) measurement period; N.A.: Not available.

측정된 PM10과 TSP의 농도를 비교한 결과, 측정지점별 부유먼지의 농도는 동절기가 하절기보다 전반적으로 높게 나타났으며, 동·하절기 모두 교외지역, 주거지역, 상업지역, 공업지역의 순서로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 공업지역에 위치한 노원동 지점과 상업지역에 있는 삼덕동 지점에서의 측정된 부유먼지의 농도는 각각 TSP가 172, 136  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 PM10은 각 지점별로 106, 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 또한 두 지점은 인위적 오염원의 영향을 많이 받는 PM10 농도의 계절적 변동이 하절기에 TSP의 농도변동에 비해 더 큰 것으로 조사되었다.

### 3. 2 먼지농도 자료간의 상관성

TSP와 PM10 농도의 상관성을 파악하기 위하여 회귀분석을 수행한 결과를 그림 3에 나타내었다. 각 지점에 따라 TSP와 PM10 농도간의 상관계수는 0.85~0.96의 높은 값을 보였으며, 각 상관계수는 유의수준 5%에서 유의적 ( $p < 0.001$ )인 것으로 나타났다. 한편, 노원동 자료에서 볼 수 있듯이 고농도가 관측되는 지점에서는 양자간의 상관성이 타 지역에 비해 낮게 나타나는 이유들로서는 입경 10  $\mu\text{m}$ 를 기준으로 입도분리가 이루어지는 inlet 장치의 유무에 따른 TSP와 PM10 샘플러간의 구조적인 형상의 차이(혹은 포집되는 먼지입자의 크기 차이), 부유먼지

발생원 차이 혹은 화학적 조성의 차이 등으로 인하여 부유먼지의 농도가 높아질수록 그 정확성이 상대적으로 떨어지게 되는 것으로 추측되며, 또한 이 지점이 공단지역 내에 위치하고 있는 지역특성을 감안하면 총부유먼지 중 미세먼지가 점유하는 비율이 상대적으로 큰 변동을 보일 수 있다는 점도 함께 고려할 수 있을 것으로 보인다.

대기오염자동측정소가 위치하고 있는 대명동과 삼덕동의 2개 지점에서는 광학적 방법에 의해 매 시간당 측정된  $\beta$ -PM 농도자료를 중량법으로 포집한 시료와 동일한 평균화시간으로 환산하여 각각 농도자료를 상호 비교할 수 있었다. 경산지역은  $\beta$ -PM의 측정이 이루어지지 않았으며, 대구의 공업지역에 위치한 노원동 지점은 측정소의 사정과 결측치 문제로 인하여 이들 시료포집 지점에 대해서는  $\beta$ -PM 농도와 TSP 및 PM10 측정자료간의 상관성은 고찰할 수 없었다. 주거지역에 속하는 대명동 지점의 경우 중량법으로 측정된 지점과 광학적 방법으로 측정된 지점간에는 직선거리 500m 정도의 거리를 두고 다소 떨어져 측정되었지만 각 측정지점 주변에서의 뚜렷한 배출원에 의한 영향이 없다는 점과 교통량에서도 큰 변동이 없는 것으로 보아 농도자료의 상호비교에 있어서 큰 문제점이 없을 것으로 보인다.

TSP, PM10 및  $\beta$ -PM 농도자료간의 직선회귀분석

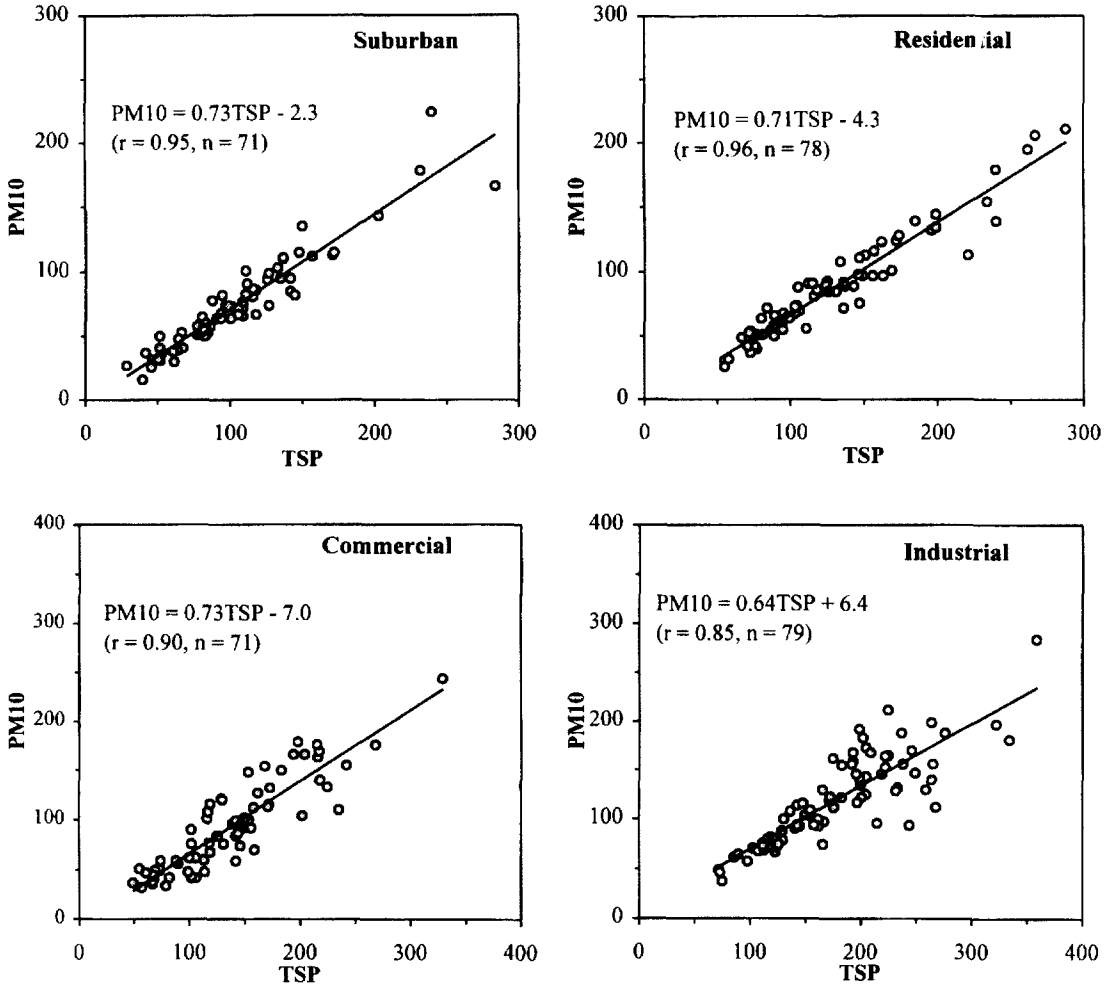


Fig. 3. Results of correlation analysis between TSP and PM10 concentration data.

결과를 지역별로 그림 4에 각각 나타내었으며 이들 직선회귀식의 절편과 기울기에 대한 95% 신뢰구간을 표 3에 나타내었다. TSP inlet을 부착하여 측정된 광학적  $\beta$ -PM 농도자료의 평균은 중량법에 의해 측정된 PM10 농도와 거의 비슷한 수준이었다. 직선회귀식에서 나타난 상관계수를 기준으로 비교해 보면, 대명동 0.88 및 삼덕동 0.75로 각각 나타났다. TSP와  $\beta$ -PM간에는 대명동 0.9와 삼덕동 0.8로 각각 나타나 TSP와  $\beta$ -PM간의 상관성이 약간 더 높은 것으로 보이지만, 실제 이들 자료에서 이상치(outlier)로 볼 수 있는 몇 개의 측정치를 제외할 경

우에는 두 지점에서 측정된 중량법에 의한 부유먼지 농도자료들과 광학적 측정법에 의한 농도자료들간의 상관성은 거의 비슷할 것으로 판단된다.

표 3에서 볼 수 있듯이 측정된 먼지농도 자료에 대한 95% 신뢰구간 추정에서 노원동과 삼덕동 지점에서의 절편범위는 각각  $-10.6 \sim 23.4$ ,  $-19.8 \sim 5.9$ 로 비슷한 수준으로 나타났으며 기울기에 대해서는 각각  $0.6 \sim 0.7$ 과  $0.6 \sim 0.8$  정도로 추정되었다. 대명동과 경산 지점에서 얻어진 TSP와 PM10 농도 자료에 대해서는 절편과 기울기에 대한 95% 신뢰구간은 각각 절편에 대해서는  $-10.3 \sim 1.9$ ,  $-9.2 \sim$

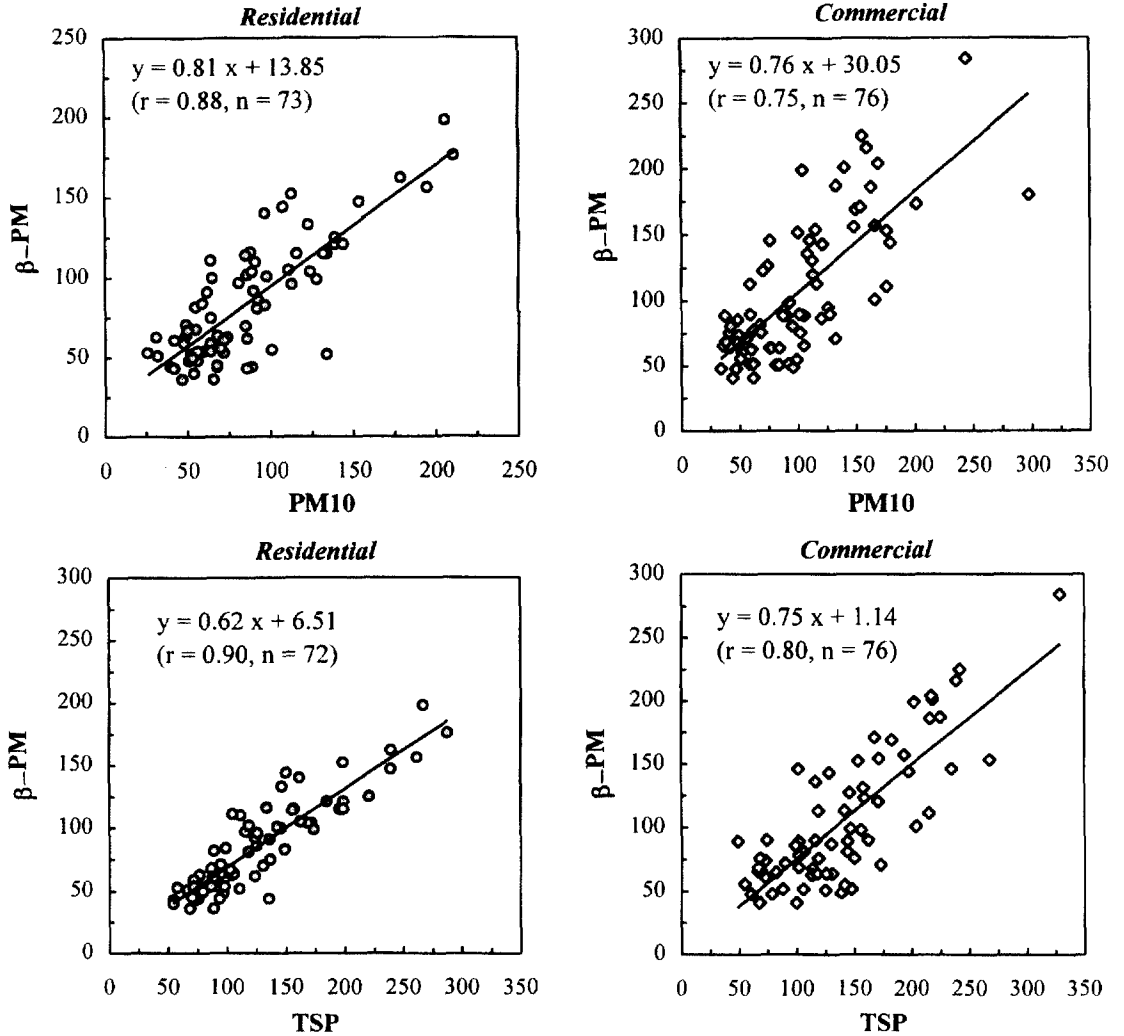


Fig. 4. Results of correlation analysis among TSP, PM10 and  $\beta$ -PM concentration data collected from the residential and commercial sites in Taegu.

4.6 범위로 나타났고, 기울기에 대해서는 0.7~0.8의 범위를 갖고 있었다. 이와 같이 기울기와 절편에 대한 측정자료의 신뢰구간 평가는 각 측정지점에서 얻어진 자료의 신뢰성 재고에 있어서 중요한 척도로 사용될 수 있다. TSP와 PM10의 상관성분석에서 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  전후의 비교적 저농도 수준에서는 회귀직선상에서 기울기선에 거의 일치하는 형태를 보이고 있는 반면, 부유먼지의 농도가 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 고농도로 갈수록 이러한 회귀직선상에서 어느 정도 벗

어나는 경향이 나타났다. 따라서 노원동과 삼덕동 지점에 대한 회귀직선의 신뢰구간이 타 지역에 비해 넓게 나타난 결과는 이 두 지점에서 측정된 부유먼지의 농도가 타 지점에 비해 비교적 높다는 점과 연관지어 설명할 수 있을 것이다.

### 3.3 TSP 중 PM10의 농도분을 평가

대구지역에서 측정된 TSP 중 PM10의 농도분율은 대체로 0.61~0.75 정도로 나타나고 있으나, 이와

**Table 3. The results of a linear regression analysis between TSP and PM10 data\*.**

Sites	a	b	95% Confidence Interval for a	95% Confidence Interval for b
Kyeongsan (n=71)**	-2.31	0.73	-9.21 ~ 4.60	0.67 ~ 0.79
Daemyeong (n=78)	-4.25	0.71	-10.34 ~ 1.85	0.67 ~ 0.76
Samduk (n=71)	-6.97	0.73	-19.83 ~ 5.89	0.64 ~ 0.82
Nowon (n=79)	6.36	0.64	-10.64 ~ 23.36	0.55 ~ 0.73

\* For the slope (b) and intercept (a), 95% confidence intervals were evaluated (PM10 = a + b · TSP).

\*\* Number of data is shown in parentheses.

관련된 국내의 연구자료는 거의 전무한 실정이다. 참고로, 미국 아리조나주의 Joseph시 (Mathai *et al.*, 1988)에서 조사된 바에 의하면 도시대기 중 TSP에 대한 PM10의 농도분율은 약 0.4~0.6 수준이었다. 또한 1993년 스위스에 있는 12개의 도시와 시골 및 알프스산맥 지역에서 1년간 측정된 TSP와 PM10의 농도에서는 지역에 따라 PM10/TSP 비는 0.57에서 0.74 정도로 나타났으며, 부유먼지의 농도가 높은 도심지역에서는 0.75 정도로 높게 나타난 반면 시골 및 도시근교지역에서는 PM10/TSP 비가 0.57에서 0.62 정도로 약간 낮게 나타나는 것으로 보고되고 있다 (Monn *et al.*, 1995). 또한 부유먼지의 농도가 높고 풍속이 클 때는 PM10의 농도분율이 상대적으로 감소한다고 알려져 있다 (Couling, 1993). 따라서 대구지역에서는 연소원이나 이차 생성입자 등과 연계된 인위적 먼지오염원의 기여분이 상대적으로 크다는 사실을 유추할 수 있었으며, 또한 PM10 농도 분율의 변동에는 지역적인 특성이 하나의 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 시사해 주고 있었다.

시료포집 지점별로 전체 측정자료에 대해 TSP의 농도수준별로 TSP에 대한 PM10의 농도비를 그림 5에 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이, 지역에 따라 TSP의 농도구간별 농도비는 최소 및 최대값에서 다소 심한 변동폭을 보여주고 있지만, 그 평균값은 전구간에서 0.65~0.72를 전후로 거의 비슷한 수준을 보이고 있었다. 이러한 현상은 미국의 Wisconsin 시에서 1985년부터 3년간에 걸쳐 측정된 TSP의 농도범위별 PM10/TSP 비에서 TSP가 고농도로 갈수록 PM10의 평균 농도비가 상대적으로 낮아지는 것과는 상이한 결과를 보여주었다 (Mathai *et al.*, 1988).

본 연구에서 나타난 결과 중 TSP 농도의 고저에 따라 PM10 농도비의 변동폭 측면을 보면, 도심에 위치한 삼덕동의 경우는 그 폭이 거의 일정하게 나타나고 있고, 교외의 경산지역과 대구의 주거지역에 위치한 대명동 지점의 경우는 TSP를 기준으로 저농대의 발생빈도가 높으며 PM10/TSP 비의 변동폭 또한 저농도로 갈수록 심하게 나타나고 있는 반면, 공업지역에 위치한 노원동 지점의 경우는 TSP 측정치 대부분이 150 µg/m<sup>3</sup> 이상의 고농도 범주 내에 포함되고 있으며 PM10/TSP 비의 변동폭이 저농도 비해 고농도로 갈수록 훨씬 크게 나타나고 있다. 따라서 전체적으로 나타난 PM10/TSP 평균농도비는 거의 유사하게 나타나지만 지역적 특성에 따라 (혹은 측정된 먼지농도의 수준에 따라) 이들 농도비는 크게 변동하고 있음을 확인할 수 있었다.

TSP에 대한 PM10의 농도분율이 계절요인 변동에 어떻게 영향받는가를 파악하기 위해, 그림 6과 같이 동절기와 하절기로 구분하여 그 변동양상을 비교하여 보았다. 각종 산업체의 열공급시설 가동이나 가정난방 등에 따른 연료류의 연소로 인하여 배출될 수 있는 미세크기의 입경을 가진 먼지의 영향으로 동절기의 PM10/TSP 분율은 0.70~0.75로 높게 나타나 인위적 먼지배출원의 영향이 비교적 작은 하절기의 0.61~0.68에 비하여 약 10%에 가까운 차이를 보이고 있었다. 이러한 결과는 연료의 사용량이 절대적으로 많은 동절기에, 연소와 관련된 미세먼지의 배출량이 증가하는 현상과 연관지을 수 있을 것이다.

공업지역인 노원동 지점과 도심에 위치하고 있는 삼덕동 지점의 경우, TSP 중 PM10의 평균농도 분율은 타 지점과 거의 비슷한 수준을 보이고 있었다. 그러나 부유먼지의 농도는 동·하절기 모두 다른 지점에 비해 높게 나타났으며, 또한 공통적으로 그 상관계수의 비교에 있어서도 낮게 나타나고 있었다. 이러한 사실은 연소과정에 의한 미세먼지의 배출이 두드러지게 나타나는 공업지역이라는 점, 교통량의 계절적인 변동이 비교적 작고 차량 통행량이 많은 도심에 위치하고 있다는 점과 같은 지역적 특성 (혹은 먼지 발생원의 차이)과도 어느 정도 관련이 있음을 시사하는 듯 하다. 특히 공업지역에 위치하고 있는 노원동 지점의 경우 TSP의 농도가 150 µg/m<sup>3</sup>을 초과하는 고농도대의 발생빈도가 높게 나

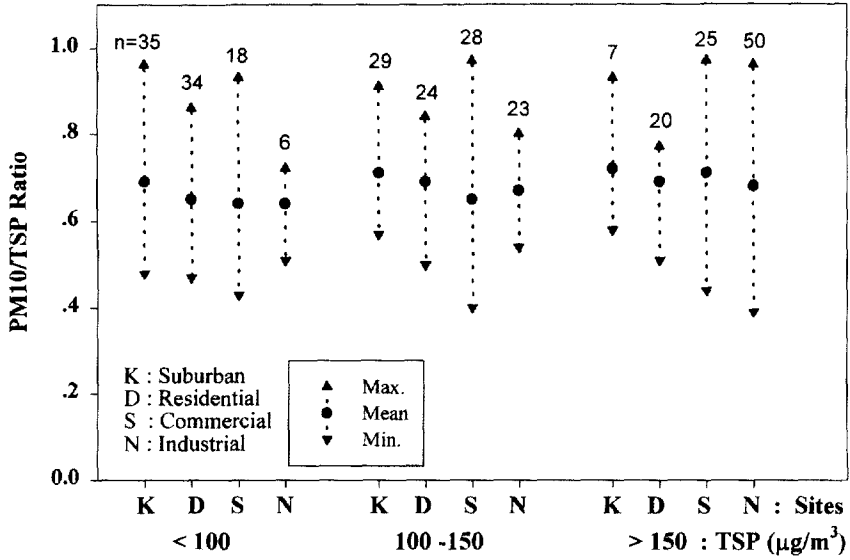


Fig. 5. Plot of PM10/TSP ratios across different TSP concentration ranges.

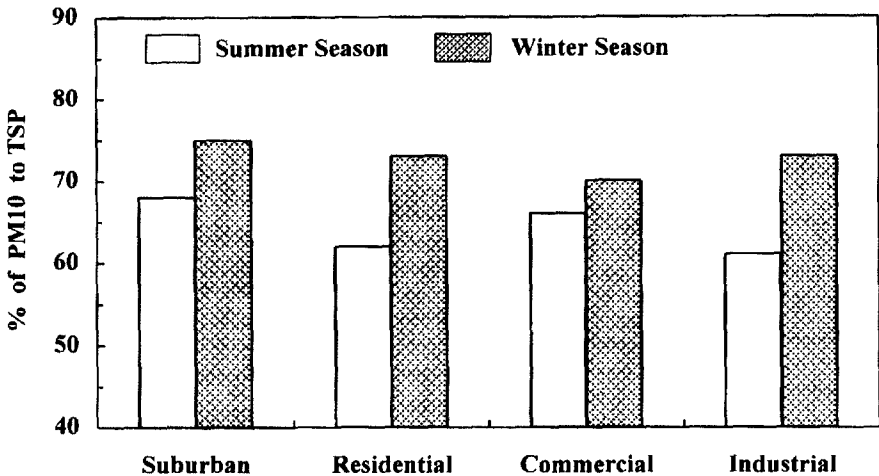


Fig. 6. Spatial and seasonal variations in the extent of contribution for PM10 to TSP concentrations.

타나고 있는데, 이와 같은 경우에 미세먼지 발생원이나 인근의 공사현장 및 운동장과 같은 비산먼지 발생원이 미치는 영향력의 차이, 국지적인 기상조건의 차이 등 외부적인 요인에 의해 PM10과 TSP 측정치의 상대적 관계에 변동이 초래될 수도 있는 것으로 사료된다. 따라서 이러한 요인들이 PM10/TSP의 농도비에서 큰 변동을 일으키는데 일조하고 있는 것으로 보이며, 또한 측정지점의 지역적인 특성

이 TSP에 대한 PM10의 농도분율에 어느 정도 변화를 초래할 수 있다는 점을 시사한다고 볼 수 있다.

### 3.4 자료의 호환성

각 샘플러간의 포집효율 혹은 포집방법의 차이에서 발생하는 농도차는 PM10과 TSP의 상관성 분석에 변동요인으로 작용할 뿐만 아니라, TSP에 대한



PM10의 농도분율에도 영향을 미치는 인자로 볼 수 있다. 측정된 먼지의 농도가  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 고농도 수준으로 갈수록 각 측정자료는 회귀직선에서 벗어나는 경향을 보이고 있다. PM10 샘플러와 TSP 샘플러간의 구조적인 차이와 미세먼지 농도의 변동 등으로 인하여 먼지의 농도가 높아질수록 양자간의 상관성이 상대적으로 떨어지기 때문인 것으로 판단되었다.

TSP에 대한 PM10의 농도분율 및 PM10 농도의 변동에 미치는 여러 가지 요인들에 의해 중량법으로 구한 측정자료 혹은 중량법과 광학적 측정법으로 구한 측정자료들간에 상호 비교하고자 할 때는, 자료해석에 신중을 기할 필요가 있다고 판단된다. 그러나 본 연구에서 얻어진 자료에 의하면, 동일한 지역 또는 유사한 지리적 혹은 지형적 특성을 가지고 있는 지역에서 측정된 중량법과 광학적 측정법에 의한 부유먼지 농도자료간에는 계절적 및 지역적인 특성의 차이가 다소 있음에도 불구하고, 각 측정방법에 따른 먼지농도들간에 높은 상관성이 보였으므로 이들 자료의 호환성은 충분히 있는 것으로 사료된다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 환경대기 중 TSP에 대한 PM10의 농도분율은 결국 PM10 및 TSP의 측정농도에 영향을 미치는 여러 가지 요인에 의해 조절되고 있으며, 특히 이러한 변동요인 중에는 포집 매체의 차이 (Sweitzer, 1985; Scheff, 1984), 측정 샘플러의 형태에 따른 차이 (Mathai *et al.*, 1988; U.S. EPA, 1990), 먼지발생원과 연계된 측정지점의 지역적 특성과 지리적 특수성, 먼지농도 자체의 계절적 변동 등이 중요한 요인으로 간주된다. 그런데 본 연구의 결과에 따르면, 이 중에서도 지역적 및 계절적인 요인들이 이들의 농도변동에 가장 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 보인다. 따라서 임의의 지역에서 TSP 기준으로 과거시점부터 상시 측정되어 온 농도 자료를 PM10 기준으로 측정된 자료와 직접 비교평가하고자 할 경우 혹은 그 반대의 경우에는 그 지역에서 두 측정방법간의 지역 및 계절적 특성에 대한 상관성 및 PM10의 농도분율의 변화 등에 관해 평가된 자료를 활용하거나, 최소한 비슷한 환경조건을 갖는 지역에서 두 측정법 상호간에 정립된 상관성을 이용한다면 양 자료의 호환에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

- 중량법으로 측정된 4개 지점의 부유먼지 농도는 공업지역, 상업지역, 주거지역 및 교외지역의 순서로 증가하는 양상을 보여 주었다. 부유먼지 농도자료들은 매월 7일간 측정된 평균농도이므로 연간 혹은 일간 평균치인 장, 단기 환경기준과 직접적으로 비교하기는 어렵지만, 대체로 단기환경기준을 만족하고 장기환경기준을 초과하는 경우가 많은 것으로 나타났다.

- 시료포집기간을 난방기간과 비난방기간으로 구분한 측정지점별 부유먼지의 농도는 동절기의 농도가 하절기보다 전반적으로 높게 나타났으며, 인위적 오염원의 영향을 많이 받는 PM10이 TSP보다 계절적 변동이 더 심한 것으로 나타났다.

- 중량법으로 측정된 부유먼지 농도에서 TSP와 PM10의 상관관계는 0.85~0.96의 높은 상관계수를 보였으나, 고농도가 유발되는 지점인 노원동 자료에서는 타 지역에 비해 상관성이 다소 낮게 나타났다.  $\beta$ -PM으로 측정이 이루어진 대구의 주거지역과 상업지역에서는,  $\beta$ -PM자료를 이용하여 본 연구의 중량법으로 측정된 의한 TSP 및 PM10자료와 각각 비교한 결과 TSP와  $\beta$ -PM의 상관관계는 상업지역에서 0.80, 주거지역에서는 0.90의 높은 상관계수를 보였으며, PM10과  $\beta$ -PM의 상관관계도 상업지역 0.75, 주거지역 0.88의 높은 상관계수를 보였다.

- TSP 중 PM10의 농도분율은 평균 0.68을 차지하고 있었으며, 동절기에 0.70~0.75로 하절기의 0.61~0.68에 비하여 높게 나타나 동절기에 작용하는 난방 및 연소관련 미세먼지 배출원에 의한 지역적 및 계절적 변동요인의 차이를 반영하는 것으로 보인다.

- 본 연구에서는 동일한 지역 또는 유사한 지리적 특성을 가지고 있는 지역에서 중량법으로 측정된 농도자료들간, 중량법과 광학적 측정방법으로 측정된 부유먼지 농도자료들간에는 측정방법간의 상이성으로 인하여 측정값 자체에서 절대적인 차이가 어느 정도 존재함에도 불구하고 측정된 먼지농도 자료들간의 높은 상관성이 존재함을 확인할 수 있었다. 따라서 각 측정방법들로부터 정립된 경험적 상관관계를 이용한다면 서로 다른 방법에 의해 얻

어진 먼지농도 자료들간의 호환성을 부여하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- Chun, K.J., W.S. Lee, J.S. Roh, J.Y. Lee, and J.B. Park (1992) Reference manual for air pollution monitoring equipments, 2nd Ed., Korea Research Institute of Standard and Science, Korea, 137-187.
- Couling, S. Ed. (1993) *Measurement of airborne pollutants*, Butterworth-Heinemann Ltd., First published, Part 1. Ambient air quality, 301pp.
- Mathai, C.V., D.H. Stonefield, Ed. (1988) *Transactions, PM-10; Implementation of standard*, Air pollution control association, Pittsburgh, PA, 93-99pp, 179-190pp.
- Monn, Ch., O. Braendli, G. Schaeppi, Ch. Schindler, U. Ackermann-Liebrich, Ph. Leuenberger, and S. Team (1995) Particulate matter < 10 μm (PM<sub>10</sub>) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland, *Atmos. Environ.*, 29(19), 2565-2573.
- Monn, Ch., V. Carabias, M. Junker, R. Waeber, M. Karrer, and H.U. Wanner (1997) Small-scale spatial variability of particulate matter < 10 μm (PM<sub>10</sub>) and nitrogen dioxide, *Atmos. Environ.*, 31(15), 2243-2247.
- Purdue, L.J., C.E. Podes, and K.A. Rehme (1986) Intercomparison of High-Volume PM<sub>10</sub> Samplers at a site with high particulate concentrations, *J. Air Pollut. Control Asso.* 36, 917pp.
- Purdue, L.J., C.E. Rodes, K.A. Rehme, D.M. Holland, and A.E. Bond (1986) Intercomparison of high-volume PM-10 samplers at a site with high particulate concentrations, *J. Air Pollut. Control Asso.*, 36(8), 917-920.
- Rodes, C.E., D.M. Holland, L.J. Purdue, and K.A. Rehme (1985) A field comparison of PM<sub>10</sub> inlets at four locations, *J. Air Pollut. Control Asso.*, 35(4), 345-354.
- Scheff, P.A. (1984) Quantitative assessment of chicao air pollution through analysis of covariance, *Atmos. Environ.*, 18(8), 1623-1631.
- Sweitzer, T.A. (1985) A field evaluation of two PM-10 inlets in an industrialized area of Illinois, *J. Air Pollut. Control Asso.*, 35(7), 744-746.
- Tomatis, L. Ed. (1990) *Air pollution and human cancer*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 9-34.
- U.S., EPA 600-4-77-027a (1990) Quality Assurance Handbook for Air pollution measurement system, 2. Ambient air specific methods, 2-7.
- U.S. EPA (1992) Saturation study guidance E.P.A, Region 10, Environmental services division, Environmental characterization programs, Draft, August, 24-37.
- Wedding, J.B., J.P. Lodge Jr, and Y.J. Kim (1985) Comment on A field comparison of PM<sub>10</sub> inlets at four locations, *J. Air Pollut. Control Asso.*, 35(4), 649-653.
- Wedding, J.B., M.A. Wedding, and Y.J. Kim (1985) Evaluation of the Sierra-Andersen 10 micron inlet for the high-volume sampler, *Atmos. Environ.*, 19, 539-545.
- Wedding, J.B. and M.A. Weigand (1985) The Wedding ambient aerosol sampling inlet (D<sub>50</sub>=10 micrometer) for the high volume sampler, *Atmos. Environ.*, 9, 535-542.