

ORIGINAL ARTICLE

## 부산지역 봄철 주중/주말의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 질량농도와 금속이온농도 특성

전병일\*

신라대학교 환경공학과

### Characteristics of the Springtime Weekday/Weekend on Mass and Metallic Elements Concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Busan

Byung-II Jeon \*

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

#### Abstract

This study investigates weekday/weekend characteristics of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration and metallic elements in Busan in the springtime of 2013. PM<sub>10</sub> concentration on weekday/weekend were 77.54 and 67.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. And PM<sub>2.5</sub> concentration on weekday/weekend were 57.81 and 43.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. Also, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> concentration ratio on weekdays/weekend was 0.75 and 0.65, respectively. The contribution rates of Na to total metallic elements in PM<sub>10</sub> on weekday/weekend were 38.3% and 38.9%, respectively. It would be useful in control effectively with management of urban fine particle to understand characteristics of fine particle concentration on weekday/weekend.

**Key words** : Weekday/weekend, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations, Metallic elements

#### 1. 서론

도시 대기질은 산업화와 에너지 소비 증가에 의해 악화되었고, 인위적인 활동은 대기중 미세먼지 증가와 다른 지역으로의 미세먼지 수송에 중요한 역할을 한다 (Mitra와 Sharma, 2002). 에어로졸은 시정악화와 구름 생성을 일으킬 뿐만 아니라 강수의 산화 그리고 기후에 영향을 미치기도 한다(Sloane 등, 1991; Lee와 Sequerira, 2002). 또한 산성 및 독성 물질을 수송하기도 하며, 생태계에 심각한 영향을 미친다(Cheng 등, 1996). 그리고 에어로졸은 크기, 형태, 표면적, 화학적 조성, 용해도, 기원

이 다양하며, 대기 중에 직·간접으로 배출된다(Samura 등, 2003).

대기 중의 에어로졸은 수용성 무기 화합물, 유기탄소, 원소탄소, 금속성분으로 이루어져 있다. 이 성분 중 미량 원소는 도시 대기오염문제에 중요한 것으로 인간의 건강에 심각한 영향을 미치며, 자연적 및 인위적인 오염원으로부터 대기 중으로 유입된다. 따라서 미세먼지 중의 금속 원소 성분의 농도에 대한 연구는 대기오염원, 에어로졸의 수송, 인간의 건강에 매우 중요한 정보를 제공한다 (Qin과 Oduyemi, 2003).

주중과 주말의 미세먼지 농도 특성에 관한 국외의 연

Received 23 February, 2015; Revised 28 April, 2015;

Accepted 6 May, 2015

\*Corresponding author: Byung-II Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea  
Phone: +82-51-999-5056  
E-mail: bijeon@silla.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

구로서, 호주의 브리즈번(Chan 등, 1997), 미국의 남부 캘리포니아(Qin 등, 2004), 영국(Jones 등, 2008), 타이완(Tsai, 2005), 이태리의 밀라노(Lonati 등, 2006), 인도의 캘커타(Karar 등, 2006), 일본의 도쿄(Kanari와 Yamamoto, 1998) 그리고 이집트의 카이로(Hassan 등, 2013) 등에 대한 연구가 있다. 국내에서는 전국 주요 도시에서 측정된  $PM_{10}$  농도를 이용한 연구(Choi 등, 2008), 서울에서  $PM_{10}$ 의 주말효과(Kim 등, 2007), 인천 지역에서 미세먼지( $PM_{2.5}$ ) 중의 OC와 EC를 측정하여 주중과 주말을 비교한 연구(Park 등, 2008)가 있다.

부산지역에서는 2002년 아시안 게임 기간 중 주중과 주말의  $PM_{10}$  농도 특성을 분석한 연구(Lee 등, 2005)와 2006년부터 2008년까지 3년간 부산지역 3개 지점에서 측정된  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 주중 및 주말 특성(Jeon, 2010) 그리고  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도 그리고 기상자료(시정, 일사량)를 이용하여 주중/주말의 미세먼지 농도와 기상요소의 특성을 고찰한 연구(Jeon과 Hwang, 2014) 등이 있다. 그러나 부산지역에서  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  중 금속성분의 주중/주말 특성을 고찰한 연구는 아직 없는 실정이다.

도시 지역에서 주중과 주말의 미세먼지 농도 특성을 고찰하는 것은 도시 미세먼지의 배출 특성과 원인을 알아보는 데 좋은 통찰력을 제공하며 미래의 도시 미세먼지 관리와 대책을 수립하는 데 매우 의미 있는 결과를 제공할 수 있다. 특히 주중과 주말의 교통 통행량 증가에 따른 자동차 오염 배출량과 브레이크 마모, 도로 재비산 먼지 등의 영향을 고찰할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 부산과 같은 대도시지역에서 2013년 봄철 주중(월~목요일)과 주말(일요일)에  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 를 채취하여 질량 농도와 금속 성분의 주중과 주말 특성을 고찰하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석 방법

본 연구를 위한  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 시료채취는 Fig. 1과 같이 신라대학교 공학관 6층 옥상(지상 약 20 m)에서 실

시하였다. 주변지역의 북동쪽과 남동쪽은 백양산 지락으로 둘러싸여 있고 남서쪽의 사상지역은 소규모 공장과 유통 단지 및 주택이 산재해 있어 남풍과 서풍계열이 바람이 불면 인위적인 오염원의 영향을 받을 수 있다(Jeon, 2010).  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 채취는 2013년 봄철(3, 4, 5월)에 실시하였고, 측정일수는 총 38일이며, 주중(월~목)과 주말(일요일)에 강우가 없는 날을 대상으로 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 24시간 채취하였고, 총 채취 일수는 주중이 29일, 주말이 9일이었다.

$PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 채취는 Mini Volume Air Sampler (Air Metrics, Springfield, OR, USA)를 사용하였으며, 흡인유속은 5.0 L/min으로 조정하여 47 mm QMA Filter (Whatman Co.)에 24시간  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  시료를 흡인 채취하였다.  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 질량농도를 측정하기 위하여 여과지를 항온(20°C), 항습(50%) 조건하에서 건조장치(automatic dry/up desiccator, SIBATA DUV-12)에 최소 2일간 건조하고, 감도가 0.01 mg인 전자저울(Sartorius microbalance, Germany)로 먼지시료 채취 전·후의 무게를 칭량한 후의 중량차로서  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 질량농도를 구하였다. 그리고  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  중의 미량 금속 성분을 정량하기 위하여 질산-염산 혼합액에 의한 초음파 추출법으로 전처리한 후, syringe filter (PVDF, Whatman Co. pore size 0.45  $\mu$ m)를 이용하여 시료 용액을 여과하고, ICP/AES(ICP-IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Si을 분석하였으며, ICP/MS를 이용하여 Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, Ba, Co, Sr, Ti, V, Pb를 정량하였다.

Table 1은 시료 채취지점에서 남남동쪽으로 약 10 km 떨어진 부산지방기상청(BRMA : Busan regional meteorological administration)에서 관측한 시료 채취일의 주중/주말 기상요소를 추출하여 나타낸 것이다(Fig. 1 참조). 미세먼지 시료 채취일은 강우가 없는 맑은 날을 선택하였기 때문에 주중(월~목요일)과 주말(일요일)의 기

Table 1. Meteorological elements on weekday/weekend during the period of study

	Air temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Relative humidity (%)	Cloud amount (1/10)	Sunshine duration (hr)
Weekday (n=29)	13.6	3.6	51.9	3.5	9.5
Weekend (n=9)	14.1	3.3	57.1	4.9	8.0

온, 풍속, 상대습도, 운량 그리고 일조시간 사이에 큰 차이는 없었다. 다만, 기온, 상대습도, 운량은 주말이 주중에 비해 높았고, 풍속과 일조시간은 주중이 높은 값을 나타내었다.

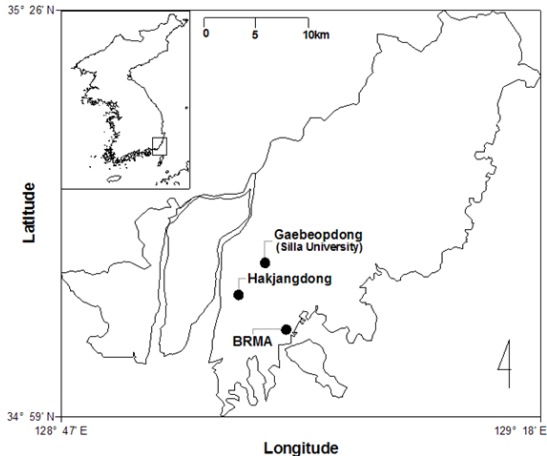


Fig. 1. Location of sampling site (Gwaebeopdong), automatic air quality monitoring station (Hakjangdong), and BRMA (Busan regional meteorological administration) in Busan.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일반적 특성

Fig. 2는 부산지역 괘법동에서 Mini volume air sampler를 이용하여 채취한 38회의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 질량 농도를 나타낸 것이다. 우리나라 24시간 PM<sub>10</sub> 환경기준인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 날은 총 5일로 3월 19일(No. 4)에 180.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 3월 20일(No. 5)에 102.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3월 28일(No. 11)에 116.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5월 6일(No. 28)에 101.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5월 13일(No. 31)에 101.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 또한 2015년 1월 1일부터 적용되는 PM<sub>2.5</sub>의 24시간 기준치인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 경우는 총 38일 중에 22일로 초미세먼지의 농도가 매우 높게 나타났다. 이는 본 연구의 측정일이 강수가 없는 날로 한정하였기 때문으로 보인다. 특히 3월 19일(No. 4)은 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 본 관측 기간 중 가장 높은 농도를 나타내었으며, 인근 부산광역시 대기오염자동측정망인 학장동에서도 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도가 각각 188.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 114.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 매우 높은 농도를 나타내었다. 그리고 2013년도 부산지역의

황사는 1월 2일 하루만 발생하였고, 2012년과 함께 연이어 봄철에 황사가 발생하지 않은 해로 기록되었다.

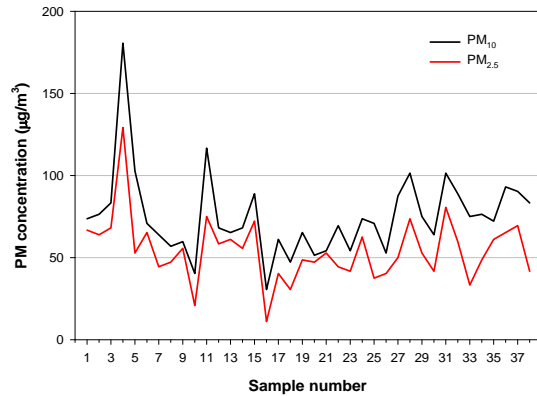


Fig. 2. Variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at Gaebeopdong (sampling site).

본 채취지점에서 Mini volume air sampler를 이용하여 중량분석으로 측정된 미세먼지농도와 부산광역시에 운영되는 대기오염자동측정망에서  $\beta$ -ray 흡수법으로 측정된 미세먼지의 농도를 비교하는 것은 매우 의미가 있다고 본다. 연구지역으로부터 가장 가까운 지역에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>를 동시에 측정하는 곳은 괘법동에서 남서쪽으로 약 5 km 떨어진 학장동 지점이다(Fig. 1 참조). Fig. 3은 본 연구의 채취지점인 괘법동과 대기질 자동측정망인 학장동에서 측정된 미세먼지를 비교한 것이다. PM<sub>10</sub> 경우, 두 지점간의 결정계수( $r^2$ )는 0.613로 비교적 높은 값을 나타내었고, 추세선에서 비교적 멀리 떨어진 값이 많아 산포도가 PM<sub>2.5</sub>에 비해 크게 나타났다. PM<sub>2.5</sub>는 PM<sub>10</sub>과 비교하여 결정계수는 비슷하나( $r^2=0.606$ ) 자료의 산포도가 낮으며 괘법동의 농도가 학장동에 비해 다소 높게 나타났다. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 중량농도로 측정된 농도가  $\beta$ -ray 흡수법으로 측정된 공업지역인 학장동보다 높게 나타났다. 이는  $\beta$ -ray 흡수법으로 미세먼지 농도를 측정하는 경우, 시료 유입구를 가열할 때 반휘발성(semi-volatile) 물질인 질산암모늄, 반 휘발성 유기화합물 등이 손실되기 때문이라는 연구가 있다(Allen 등, 1997).

#### 3.2. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 주중/ 주말 질량농도 특성

Table 2는 본 연구지역인 괘법동에서 Mini volume air sampler를 이용하여 측정된 주중(n=29)과 주말(n=9)

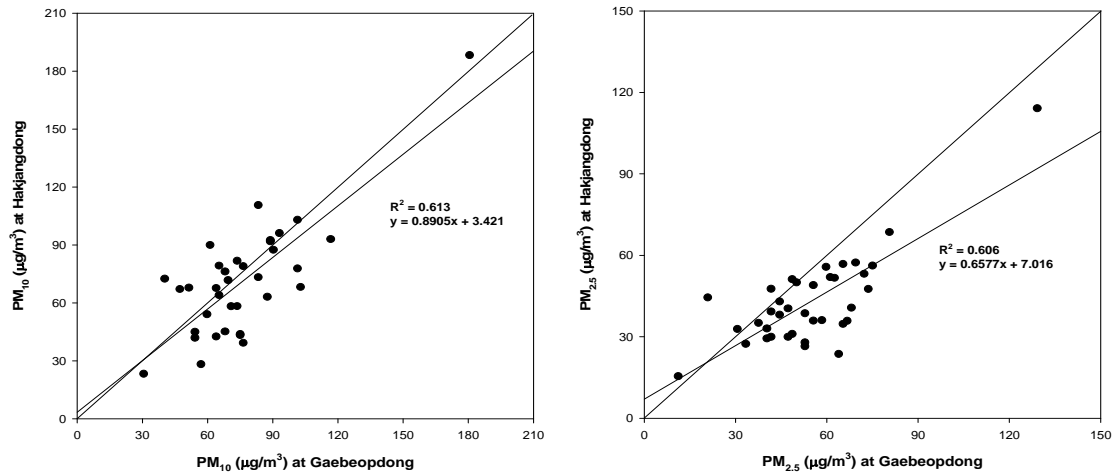


Fig. 3. Scatter plots of Gaebeopdong (this site) versus Hakjangdong (automatic air quality automatic station).

의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도와 동일한 기간의 자동측정망에서 측정된 학장동의 농도를 나타낸 것이다. 괴법동의 경우, 주중과 주말의  $PM_{10}$  농도 각각  $77.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와  $67.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 주중과 주말의  $PM_{2.5}$  농도는 각각  $57.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $43.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 주중의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 주말에 비해 각각 15%와 32% 증가하였고,  $PM_{2.5}$ 가  $PM_{10}$ 보다 약 2배 높았다. 그리고 주중과 주말의  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비는 각각 0.75와 0.65로 주중이 주말보다 높아 초미세먼지의 비중이 주중에 높은 것으로 나타났다. 학장동의 경우, 주중과 주말의  $PM_{10}$  농도는 각각  $76.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와  $51.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 주중과 주말의  $PM_{2.5}$  농도는 각각  $45.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $35.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 주중의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 주말에 비해 각각 49%와 8% 상승하였고, 괴법동과는 반대로  $PM_{10}$ 이  $PM_{2.5}$ 보다 약 6배 높은 상승을 나타내었다. 그리고 주중과 주말의  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비는

각각 0.59와 0.69로 주말이 주중보다 높아 초미세먼지의 비중이 주말에 높은 것으로 나타났다. 따라서 괴법동과 학장동 모두 주중의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도가 주말보다 높았으며, 괴법동은  $PM_{2.5}$  농도에서 학장동은  $PM_{10}$ 에서 높은 증가를 보인 것이 특징이다. 이는 공업지역인 학장동과 비교적 녹지지역인 괴법동인 지역용도의 차이에서 나타나는 결과라고 판단되나, 그 이유에 대해서는 좀 더 깊은 연구가 필요하리라 생각된다.

중국 북부지방과 양쯔강 주변에서  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비가 저농도일 때 0.50이던 것이 고농도일 때 0.64로 상승하는 예가 있었다(Hu 등, 2014). 이런 고농도 미세먼지 발생일 때의  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비의 증가는 2차  $PM_{2.5}$ 의 생성이 기여하기 때문으로 보인다.

영국 런던의 3개 지점(도로변, 도시중심, 교외)의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  주중/주말 농도를 분석한 결과, 도로변과

Table 2. Weekday/weekend concentrations of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , and average ratios of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  at Gaebeopdong (sampling site) and Hakjangdong (automatic air quality monitoring station) during the period of study

	Gaebeopdong			Hakjangdong		
	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2.5}/PM_{10}$	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2.5}/PM_{10}$
Weekday (n=29)	77.54	57.81	0.75	76.87	45.02	0.59
Weekend (n=9)	67.28	43.83	0.65	51.47	35.64	0.69
WD/WE	1.15	1.32		1.49	1.08	

도시중심은 주중이 주말보다 높았으나, 교외지역은 반대로 주말이 주중보다 높게 나타났다(Jones 등, 2008). 미국 남부 캘리포니아의 PM<sub>10</sub> 주중/주말 차이는 아침과 오후의 러시아워가 각각 평균 14%와 17%로 오후가 더 높았으며 지역별 차이가 컸다(Qin 등, 2004). 호주 브리즈번의 미세입자는 주중과 주말에 각각 7.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 6.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 조대입자는 11.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 8.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 22%, 23%가 주말에 감소하였다(Chan 등, 1997). 인도 캘커타의 PM<sub>10</sub>과 TSP 주중/주말 분석결과 각각 7.1%~24.5%와 2.9%~58.4%의 감소가 있었다(Karar 등, 2006). 일본 동경에서 SPM의 주중/휴일 분석에서 휴일 농도는 주중에 비해 17% 감소하였고 도로변 지역은 21%나 감소하였다(Kannari와 Yamamoto, 1998). 일본 나고야에서는 대형차 교통량의 영향으로 평일의 PM<sub>2.5</sub> 농도가 일요일보다 20% 높다고 하였다(Yamagami 등, 2008). Lee 등(2005)은 2002년 9월에 부산에서 열린 아시안 게임 기간 중의 주중과 주중의 PM<sub>10</sub>은 각각 68.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 65.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약간 주중이 높았으나, 아시안 게임 전에는 47.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 33.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 주중이 주말에 비해 매우 높은 농도를 보였다. 이집트 카이로에서 여름철 주중과 주말의 질량농도는 각각 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 212  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 겨울철은 각각 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 275  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 주중이 주말보다 여름철은 18%, 겨울철은 45% 증가하였다(Hassan 등, 2013). 2011년 1월부터 2012년 12월까지 PM<sub>10</sub>과

PM<sub>2.5</sub>를 동시에 측정하는 부산지역 7개 지점의 자료를 사용하여 주중/주말의 미세먼지농도를 고찰한 결과(Jeon과 Hwang, 2014), PM<sub>10</sub>은 주중인 수요일과 목요일에 최고농도를 나타내었고, 학장동에서 목요일이 63.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일요일이 45.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 그 차이가 18.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸다. PM<sub>2.5</sub>는 수요일에 가장 높은 농도를 나타내었고 일요일이 가장 낮은 농도를 나타내었는데, 학장동에서 수요일과 일요일에 각각 37.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 28.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 그 차이가 9.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

이와 같이 미세먼지 농도가 일요일에 가장 낮은 것은 승용차나 트럭 등의 교통 통행량이 작아 그에 따른 미세먼지 배출량과 기인물질이 감소하기 때문이다(Motallebi 등, 2003). 또한 공공기관, 사업장, 각종 학교 등의 휴무로 인한 교통 통행량 감소는 입자상 오염물질의 배출량을 감소시킬 뿐만 아니라 타이어 마모와 도로먼지의 재비산으로 생기는 배출량을 감소시키고, 선오염원으로부터 배출되는 질소산화물의 감소로 이어져 이차오염물질의 감소로 의해 에어로졸 생성에 영향을 미치는 것으로 판단된다(Karar 등, 2006; Lonati 등, 2006; Lough 등, 2006).

### 3.3. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 중의 주중/주말 금속성분 농도 특성

Fig. 4는 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 중에 함유된 전체 금속성분 중 각 성분의 기여율을 주중과 주말로 나누어 나타낸 것

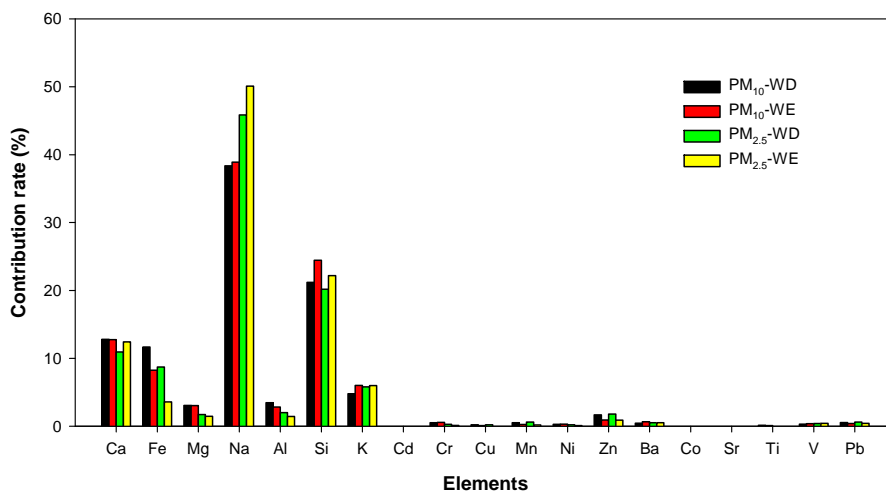


Fig. 4. Weekday/weekend variations of the contribution of each element to total elements mass concentrations of the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>.

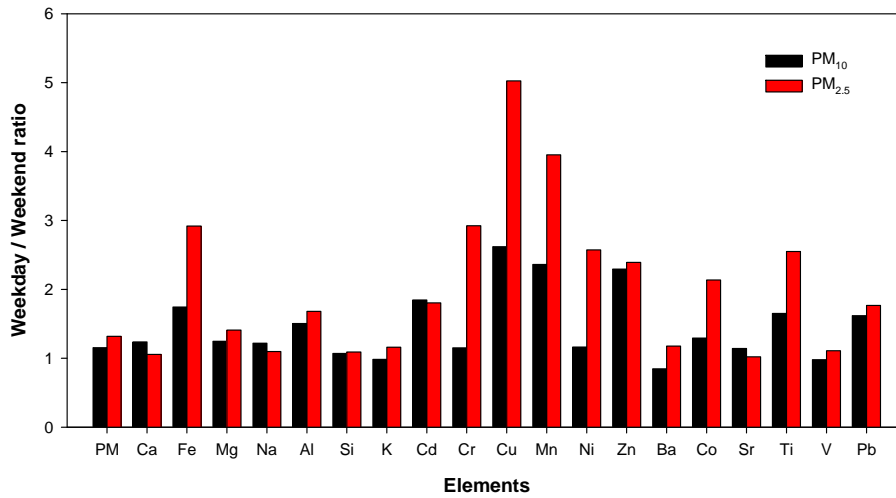


Fig. 5. Weekday/weekend ratio of each element of the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>.

이다. Na의 기여율이 주중과 주말의 PM<sub>10</sub>에서 각각 38.3%와 38.9%, PM<sub>2.5</sub>에서 각각 45.9%와 50.1%로 가장 높았으며, 다음으로 Si가 PM<sub>10</sub>에서 각각 21.2%와 24.5%이었고, PM<sub>2.5</sub>에서 각각 20.2%와 22.2%로 두 번째로 높았다. 세 번째로 높은 원소는 Ca이었고 그 다음으로 Fe, K 순이었다. Ca, Fe, Mg, Na, Al, Si, Ca, K, Zn을 제외한 성분은 5% 미만의 미량으로 큰 기여를 하지 못하였다. 주중과 주말에서 Na를 제외한 Ca, Fe, Mg, Al, Si, Ca, K, Zn은 PM<sub>10</sub>에 대한 기여율이 PM<sub>2.5</sub>에 비해 높은 값을 나타내었다. 이와 같이 대부분 주요 성분 가운데 Na의 PM<sub>2.5</sub> 기여율이 PM<sub>10</sub>보다 월등히 높은 이유는 확실하지 않지만 향후 규명되어야 할 것으로 생각된다.

Fig. 5는 궤법동에서 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 주중/주말 금속성분 농도 비를 나타낸 것이다. 먼저, 각 금속성분의 PM<sub>10</sub> 주중/주말 농도비를 보면, K, Ba, V를 제외한 대부분 항목의 주중 농도가 주말보다 높았다. 특히 Cu의 주중/주말 농도비가 2.62로 가장 높았으며, 다음으로 Mn(2.36), Zn(2.29), Cd(1.85), Fe(1.74), Ti(1.65), Pb(1.62), Al(1.50), Co(1.29), Mg(1.25), Ca(1.24), Na(1.22), Ni(1.16), Cr(1.14), Sr(1.14), Si(1.07) 순이었다. 각 금속성분의 PM<sub>2.5</sub> 주중/주말 농도비를 보면, PM<sub>10</sub>과 같이 Cu가 5.03으로 가장 높았으며, 다음으로 Mn(3.95), Cr(2.92), Fe(2.92), Ni(2.57), Ti(2.55), Zn(2.39), Co(2.13), Cd(1.80), Pb(1.77), Al(1.68), Mg(1.41),

Ba(1.18), K(1.16), V(1.11), Na(1.10), Si(1.05), Sr(1.02) 순이었다. PM<sub>2.5</sub>의 주중/주말 농도비가 PM<sub>10</sub>보다 높게 나타났는데, 특히 Cu는 두 배 정도 차이가 났고, 다음으로 Cr, Mn, Ni, Fe 순이었으며, Cd, Na, Sr, Ca 등은 반대로 PM<sub>2.5</sub>이 PM<sub>10</sub>보다 높게 나타났다.

이와 같이 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 중의 대부분 주중의 금속성분 농도가 주말보다 높은 농도를 나타내었다. 이는 주중의 미세먼지 농도가 금속성분 농도에 기여하기 때문으로 보이며, 또한 주말보다 높은 주중의 지각기원 원소 농도는 먼지의 생성에 작용하는 주변 지역 토양성분의 수송이나 재비산과 같은 국지적 활동과 다른 나라로부터 수송되는 광역적인 수송의 영향으로 판단된다(Almeida 등, 2006). 산업 활동이나 빌딩건축과 같은 활동은 주중에 지각성분의 증가를 일으키는 중요원인이라고 할 수 있다. 또한 인위적으로 배출되는 오염원의 대부분은 교통통행량 증가에 의한 도로먼지의 재비산과 아스팔트로 포장된 도로의 마모에 의한 부산물이 도시의 미세먼지 생성과 증가에 충분한 이유가 될 수 있다(Lindgren, 1996).

자동차 통행량의 증가와 관련된 금속원소 농도에 대한 연구를 보면, 자동차 브레이크나 타이어 마모 등에 의해 Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Cd, Pb, Sr, Ba 등이 배출되며(Adachi와 Tainosho, 2004), 자동차 오일의 연소에 의해 Ca과 Mg이 배출되고, 자동차 브레이크 라이닝 마

모와 자동차 녹에 의해 Fe와 Cr이 배출된다(Hopke 등, 1980). 또한 자동차 오일이나 브레이크 및 타이어의 마모에 의해 Zn의 농도가 증가될 수 있다(Sternbeck 등, 2002). 타이어나 브레이크의 마모에 의한 미세먼지 배출은 타이어 종류, 도로표면, 자동차 종류, 운전형태, 자동차 속도에 의해 좌우될 수 있다. 타이어 바닥이 Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd과 같은 중금속을 포함하고 있으며, 타이어먼지 오염은 공기 중 먼지를 형성하는 중요한 원소로 작용한다(Fukuzaki 등, 1986). 따라서 본 연구에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>에서 인위적인 기원의 주말 금속성분 농도가 주중보다 낮은 것은 본 연구지역 주변의 사상공업지역과 주변지역에서 자동차 통행량의 감소와 산업활동 감소에 의한 것이라고 할 수 있다. 특히 본 측정지역이 해안 지역에 가까이 있으므로 해서 금속성분 중 Na가 가장 높은 비율로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

2013년 봄철 부산지역 과법동에서 Mini-volume air sampler를 이용하여 주중과 주말에 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도와 그 중의 금속성분의 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 주중과 주말의 PM<sub>10</sub>농도 각각 77.54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 67.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 주중과 주말의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 각각 57.81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 43.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 주중의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 주말에 비해 각각 15%와 32% 증가하였고 주중과 주말의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 각각 0.75와 0.65이었다.

나) PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 중에 함유된 전체 금속성분 중 각 성분의 기여율을 고찰한 결과, Na이 주중과 주말의 PM<sub>10</sub>에서 각각 38.3%와 38.9%, PM<sub>2.5</sub>에서 각각 45.9%와 50.1%로 가장 높았으며, 다음으로 Si가 PM<sub>10</sub>에서 각각 21.2%와 24.5%이었고, PM<sub>2.5</sub>에서 각각 20.2%와 22.2%로 두 번째로 높았다.

다) 각 금속성분의 PM<sub>10</sub> 주중/주말 농도비를 보면, Cu의 주중/주말 농도비가 2.62로 가장 컸으며, 다음으로 Mn, Zn, Cd, Fe, Ti, Pb, Al, Co, Mg, Ca, Na, Ni, Cr, Sr, Si 순이었다. 각 금속성분의 PM<sub>2.5</sub> 주중/주말 농도비를 보면, PM<sub>10</sub>과 같이 Cu가 5.03으로 가장 높았으며, 다음으로 Mn, Cr, Fe, Ni, Ti, Zn, Co, Cd, Pb, Al, Mg, Ba, K, V, Na, Si, Ca, Sr 순이었다.

라) 최근 부산지역을 비롯한 대도시에는 미세먼지 농도가 증가하는 추세에 있다. 따라서 본 연구에서 수행된 주중과 주말의 미세먼지 농도 특성을 이해한다면 도시 미세먼지 관리와 대책에 효율적으로 대처하는데 도움이 될 수 있다. 또한 본 연구에서는 부산 지역 외부로부터의 영향을 고려하지 못한 한계가 있다. 따라서 향후 외부로부터의 장거리 수송 등을 고려하여 분석한다면 외부로부터 유래된 발생원의 영향을 파악하는데 도움을 줄 수 있다.

#### REFERENCE

- Adachi, K., Tainosho, Y., 2004, Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust, *Environ. Int.*, 30, 1009-1017.
- Allen, G., Sioutas, C., Koutrakis, P., Reiss, R., Lurmann, F. W., Roberts, P. T., 1997, Evaluation of the TEOM method for measurement of ambient particulate mass in urban areas, *Air & Waste Manage. Assoc.*, 47, 682-689.
- Almeida, S. M., Pio, C. A., Freitas, M. C., Reis, M. A., Trancoso, M. A., 2006, Source apportionment of atmospheric urban aerosol based on weekdays/weekend variability: evaluation of road re-suspended dust contribution, *Atmos. Environ.*, 40, 2058-2067.
- Chan, Y. C., Simpson, R. W., McTainsh, G. H., Wowles, P. D., Cohen, D. D., Bailey, G. M., 1997, Characterizations of chemical species in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosols in Brisbane, Australia, *Atmos. Environ.*, 31, 3773-3785.
- Cheng, M. D., Gao, N., Hopke, P. K., 1996, Source apportionment study of nitrogen species measured in Southern California in 1987, *Environ. Eng.*, 122, 183-190.
- Choi, Y. S., Ho, C. H., Kim, B. G., Hur, S. K., 2008, Long-term variation in midweek/weekend cloudiness difference during summer in Korea, *Atmos. Environ.*, 42, 6726-6732.
- Fukuzaki, N., Yanaka, T., Urushiyama, Y., 1986, Effects of studded tires on road-side airborne dust pollution in Niigata, Japan, *Atmos. Environ.*, 20, 377-386.
- Hassan, S. K., El-Abssawy, A. A., AbdEl-Maksoud, A. S., Abdou, M. H., Khoder, M. I., 2013, Seasonal behaviours and weekdays/weekends differences in elemental

- composition of atmo-spheric aerosols in Cairo, Egypt, *Aerosol & Air Quality Res.*, 13, 1552-1562.
- Hopke, P. K., Lamb, R. E., Natusch, D. F. S., 1980, Multi elemental characterization of urban roadway dust, *Environ. Sci. Tech.*, 14, 164-172.
- Hu, J. L., Wang, Y. G., Ying, Q., Zhang, H. L., 2014, Spatial and temporal variability of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China, *Atmos. Environ.*, 95, 598-609.
- Jeon, B. I., 2010, Characteristics of spacio-temporal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan, *Environ. Sci. Soc.*, 19, 1013-1023.
- Jeon, B. I., Hwang, Y. S., 2014, Characteristics of Weekday/Weekend PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Concentrations at Busan, *Environ. Sci. Inter.*, 23, 1241-1251.
- Jones, A. M., Yin, J., Harrison, R. M., 2008, The weekday-weekend difference and the estimation of the non-vehicle contributions to the urban increment of airborne particulate matter, *Atmos. Environ.*, 42, 4467-4479.
- Kannari, A., Yamamoto, S., 1998, Characteristics of holiday's atmospheric environment in Tokyo, *Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 33, 384-390.
- Karar, K., Gupta, A. K., Kumar, A., Biswas, A. K., Devotta, S., 2006, Statistical interpretation of weekday/weekend differences of ambient particulate matter, vehicular traffic, and meteorological parameters in an urban region of Kolkata, India, *Indoor Built Environ.*, 15, 235-245.
- Kim, B. G., Kim, Y. J., Eun, S. H., Choi, M. H., 2007, A weekend effect in diurnal temperature range and its association with aerosols in Seoul, *Atmosphere*, 17, 147-157.
- Lee, B. K., Jun, N. Y., Lee, H. K., 2005, Analysis of impacts on urban air quality by restricting the operation of passenger vehicles during Asian Game events in Busan, Korea, *Atmos. Environ.*, 39, 2323-2338.
- Lee, Y. L., Sequerira, R., 2002, Water-soluble aerosol and visibility degradation in Hong Kong during autumn and early winter, 1998, *Environ. Pollut.*, 116, 225-233.
- Lindgren, A., 1996, Asphalt wear and pollution transport, *Sci. Total Environ.*, 189/190, 281-286.
- Lonati, G., Giugliano, M., Cernuschi, S., 2006, The role of traffic emissions from weekends and weekdays fine PM data in Milan, *Atmos. Environ.*, 40, 5998-6011.
- Lough, G. C., Schauer, J. J., Park, J. S., Shafer, M. M., Deminter, J. T., Weinstein, J. P., 2005, Emissions of metals associated with motor vehicle roadways, *Environ. Sci. Tech.*, 39, 826-836.
- Mitra, A. P., Sharma, C., 2002, Indian aerosols: Present Status, *Chemosphere*, 49, 1175-1190.
- Motallebi, N., Tran, H., Croes, B. E., Larsen, L. C., 2003, Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California, *Air Waste Manage. Assoc.*, 53, 876-888.
- Park, S. S., Lee, K. H., Kim, Y. J., Kim, T. Y., Cho, S. Y., Kim, S. J., 2008, High time-resolution measurements of carbonaceous species in PM<sub>2.5</sub> at an urban site of Korea, *Atmos. Res.*, 89, 48-61.
- Qin, Y., Oduyemi, K., 2003, Atmospheric aerosol source identification and estimates of source contributions to air pollution in Dundee, UK, *Atmos. Environ.*, 37, 1799-1809.
- Qin, Y., Tonnesen, G. S., Wang, Z., 2004, Weekend/weekday differences of ozone, NOx, CO, VOCs, PM<sub>10</sub> and the light scatter during ozone season in southern California, *Atmos. Environ.*, 38, 3067-3087.
- Samura, A., Al-Agha, O., Tuncel, S. G., 2003, Study of trace and heavy metals in rural and urban aerosols of Uludag and Bursa(Turkey), *Water Air Soil Pollut., Focus*, 3, 109-126.
- Sloane, C. S., Watson, J. G., Chow, J. C., Pritchett, L. C., Richards, L. W., 1991, Size-segregated fine particle measurements by chemical species and their Impact on visibility impairment in Denver, *Atmos. Environ.*, 25, 1013-1024.
- Sternbeck, J., Sjodin, A., Andreasson, K., 2002, Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension-results from two tunnel studies, *Atmos. Environ.*, 36, 4735-4744.
- Tsai, Y. I., 2005, Atmospheric visibility trends in an urban area in Taiwan 1961-2003, *Atmos. Environ.*, 39, 5555-5567.
- Yamagami, M., Suzuki, H., Hasegawa, S., Nakashima, H., Hirao, S., Wakamatsu, S., 2008, Emission factor estimate and ambient concentration of elemental carbon in PM<sub>2.5</sub>, *Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 43, 273-283.