

ORIGINAL ARTICLE

## 부산지역 도로변과 주거지역의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도 특성

전병일\*

신라대학교 에너지화학공학과

### Characteristics of Fine Particles at Roadside and Urban Residential Locations in Busan

Byung-II Jeon \*

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

#### Abstract

This research investigated the characteristics of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at roadside (Choryangdong) and residential (Sujeongdong) locations in Busan. The PM<sub>10</sub> concentration at roadside and residential locations were 50.5 and 42.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, and PM<sub>2.5</sub> at roadside and residential were 28.1 and 23.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The roadside/residential ratio of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration were 1.18, and the PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio at roadside and residential were 0.55 and 0.56, respectively. The PM<sub>10</sub> concentration in spring at roadside were 64.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , and were the highest, followed by 48.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 45.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in winter and summer. Number of exceedances per year of the daily limit value for PM<sub>10</sub> at roadside and residential were 66 and 39 days, respectively. The PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration, and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio at roadside were 53.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 29.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 0.55 for day, and 45.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 26.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 0.59 for night, respectively. These results indicate that understanding the relationship between roadside and residential could provide insight into establishing a strategy to control urban air quality.

**Key words** : Roadside, Residential, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration

#### 1. 서론

도시 지역의 미세먼지 배출은 도로 교통 통행, 주거 활동, 에너지 생산, 건축 활동, 소규모 산업에 의해서 발생한다. 도시에서 차도, 인도, 지하도 등을 이용하여 이동하는 많은 시민들은 자동차 배출가스에 의해 직접적으로 노출되어 생활하고 있다. 자동차 배출물질은 일차 미세먼지와 이차먼지를 모두 포함하고 있다. 특히 일차 미세먼지는 자동차 배기가스로부터 원소탄

소와 유기탄소, 브레이크나 타이어 미모에 의한 중금속, 그리고 도로먼지 재비산에 의해서 발생한다. 자동차로부터 NO<sub>x</sub> 배출은 반휘발성 화합물의 응축에 의해 이차 무기 및 유기 에어로졸 생성에 기여한다 (Kumar et al., 2008).

부산광역시에 등록되어 있는 차종과 용도별 자동차 현황을 보면, 자동차 등록대수는 1985년에 약 10만 대이던 것이 1994년에 약 54만대, 1997년에 IMF로 잠시 주춤하다가 이후 계속 증가하여 2007년 말에

Received 1 May, 2018; Revised 4 June, 2018;  
Accepted 18 June, 2018

\*Corresponding author: Byung-II Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea  
Phone : +82-51-999-5056  
E-mail : [bjjeon@silla.ac.kr](mailto:bjjeon@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.

101만대로 증가하였으며, 2015년 12월말 기준으로 125만 5천 7백대가 등록되어 인구 약 3.0인당 1대의 자동차를 보유하고 있다. 또한 승용차의 점유 비율은 79.9%로 갈수록 증가하고 있으며, 이러한 추세는 계속될 것으로 전망된다(BIHE, 2016). 부산시의 분야별 대기오염물질 배출량을 보면, 2013년 기준으로 선박과 같은 비도로 이동오염원이 37.0%로 가장 높았고, 다음으로 자동차 등의 도로 오염원이 26.4%로 두 번째였으며, 이동오염원이 전체 오염원의 63.4%를 차지하였다(BIHE, 2016).

도로변과 주변 지역의 미세먼지를 비교한 국내의 선행연구로서, Cho et al.(2010)이 서울시에서 2002년부터 2010년까지 9년간의 도로변 대기와 일반 대기 PM<sub>10</sub>농도를 비교한 결과, 도로변 대기의 PM<sub>10</sub>농도는 일반 대기 PM<sub>10</sub>보다 평균 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 높은 것으로 나타났다. Jung et al.(2009)은 서울시의 대기오염측정망 중 도로변 대기측정소(신촌 측정소)와 도시대기측정소(대흥동 측정소)가 인접하게 위치한 지역에서 미세먼지 농도를 비교한 결과, 도로변과 도시대기에서 PM<sub>10</sub> 농도는 각각 72.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 65.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>농도는 각각 31.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 25.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도로변 대기의 미세먼지가 높게 나타났다. Jo and Choi(2006)는 대구지역에서 1998년부터 2000년까지 3년간의 도로변 지역인 남산동과 주거지역인 만촌동의 연평균 PM<sub>10</sub>농도를 비교한 결과, 각각 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도로변 지역이 주거지역보다 55% 높은 농도를 보였다. Lee et al.(2014)은 경기도와 서울시의 버스중앙

차선의 4개 지점과 인근 도시대기측정소의 PM<sub>10</sub>농도를 비교한 결과, 연구대상 4개 지역의 미세먼지 평균 농도는 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대조군을 선정한 도시대기측정소 평균 농도 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 27% 높은 농도를 나타내었으며, 이러한 중앙차선에서 미세먼지가 높아지는 이유는 자동차 배출가스의 영향과 차량이 이동할 때 발생하는 비산먼지의 영향이 크기 때문이라고 하였다. 그러나 아직 부산지역에서는 도로변 지역과 주변 지역과의 미세먼지를 체계적으로 비교하고 고찰한 연구는 아직 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 부산 지역의 도로변 측정 지점과 인근의 주거지역의 측정 지점을 선정하여 미세먼지 농도의 특성을 체계적으로 분석하였고, 도로변 미세먼지농도에 대한 정량적인 평가는 향후 부산지역 미세먼지의 효율적 관리와 개선방안 제시에 통찰력을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 재료 및 방법

부산광역시에는 2016년 말 현재, 도시지역의 평균 대기질 농도를 파악하는 것을 주목적으로 도시대기 측정망 19개 지점, 대기 중금속 측정망 5개 지점, 대기유해화학물질 측정망 4개 지점, 도로변 대기질 측정망 2개 지점을 운영하고 있다. 도로변 측정소는 동래구 지하철 맞은편의 온천동과 동구 율흥신 장군 동상에 있는 초량동의 두 군데에서 운영되고 있다. 온천동의 경우, 왕복 8차선의 도로변에 위치하고 장기간의 관측자료가 있는 장점이 있는 반면, 대조지역으로

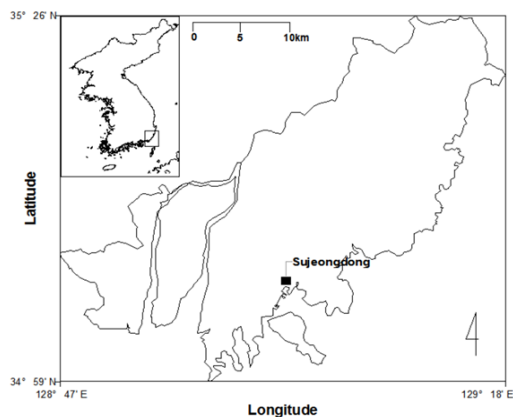


Fig. 1. Automatic air quality monitoring sites at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) in Busan.

**Table 1.** PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) locations for 2012~2016

		2012	2013	2014	2015	2016	Mean
Choryangdong (roadside)	PM <sub>10</sub>	42.8±19.0	51.3±20.5	57.6±26.2	52.2±24.3	48.6±24.2	50.5±23.5
	PM <sub>2.5</sub>				28.1±13.2	28.1±13.9	28.1±13.5
Sujeongdong (residential)	PM <sub>10</sub>	36.5±17.7	46.4±20.7	48.2±27.3	42.9±22.0	40.7±21.0	42.9±22.4
	PM <sub>2.5</sub>				21.8±11.3	25.9±12.0	23.9±11.8

비교가능한 주거지역인 명장동과 부곡동 지점이 온천동과 비교적 멀리 떨어져 있어 본 연구 대상에서 제외되었다. 또 하나의 도로변 측정소인 초량동은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 부산시 중앙대로 왕복 8차선(폭 30 m)으로부터 3 m 떨어진 지상에 설치되어 있으며, 주변 도로의 차량 통행에 의한 영향을 대변할 수 있는 최적의 지점이라 할 수 있다. 대조지점인 수정동은 초량동에서 북북서 방향으로 약 300 m 떨어져 있는 곳으로 주변에 단층건물과 2~3층 내의 건물이 혼재하며, 교통 통행량의 직접적 영향을 덜 받는 토지용도상으로 주거지역이다. 따라서 본 연구에서는 부산시 도로변 미세먼지의 특성을 고찰한다는 본 연구의 취지에 적당한 도로변 지역인 초량동과 주거 지역인 수정동을 연구 대상 지점으로 선정하였다. 본 연구에 사용한 대기오염 농도 자료는 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 측정자료이다. PM<sub>10</sub> 농도는 2012년부터 2016년까지 6년간의 자료이며, PM<sub>2.5</sub> 농도는 2015년과 2016년의 2년간의 자료이다. 따라서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 자료를 동시에 사용한 경우는 2015년과 2016년의 2년간의 자료이다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1은 2012년부터 2016년까지 5년간(PM<sub>2.5</sub>는 2년간) 부산 지역 도로변 지역인 초량동과 인근의 주거지역인 수정동에서 측정한 연평균 미세먼지 농도를 나타낸 것이다. 먼저, PM<sub>10</sub> 농도를 보면, 도로변의 초량동과 주거지역의 수정동과의 농도차는 2014년에 9.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸으며, 2013년에 4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 작았고, 평균 7.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도차를 나타내었다. PM<sub>2.5</sub> 농도를 보면, 2015년과 2016년에 두 지점 사이의 농도차는 각각 6.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 2.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 평균 4.2

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도차를 나타내었다. 따라서 자동차 통행량이 많은 도로변 지역이 주거지역보다 높은 미세먼지 농도를 나타내었으며, PM<sub>10</sub>이 PM<sub>2.5</sub>보다 그 영향이 큰 것으로 나타났다.

도시 도로변 미세먼지는 1차 및 2차 오염물질 모두를 포함한다. 즉 도로변의 미세먼지는 한 배출원이 아닌 다양한 배출원의 영향을 받으며, 다시 말해 도로변 측정망의 미세먼지는 국가배경(national background) 농도, 도로상의 차량 기원의 오염농도, 도시배경(urban background) 농도, 기타 크고 작은 다양한 기원의 농도가 모두 복합적으로 반영된 농도라고 할 수 있다(Lenschow et al., 2001; Kim et al., 2011).

Table 2는 부산 지역과 국내·외 연구지역에서 도로변과 주거지역의 농도비와 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비를 나타낸 것이다. 본 연구지역인 도로변 측정소인 초량동은 주거지역인 수정동에 비해 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 18% 높은 농도를 보였다. 서울의 도로변 측정소인 신촌동과 도시 대기 측정소인 대흥동의 경우, PM<sub>10</sub>은 12%, PM<sub>2.5</sub>은 24% 높은 농도를 보였고(Jung et al., 2009), 영국의 런던과 버밍햄의 도로변과 도심에서 측정한 결과 도로변이 도심보다 PM<sub>10</sub>은 49%, PM<sub>2.5</sub>은 56% 높은 농도를 보였다(Harrison et al., 2004). 또한 네덜란드의 도로변과 도시 배경지역에서 연구한 결과 PM<sub>10</sub>은 22%, PM<sub>2.5</sub>은 9% 높은 보였었다(Janssen et al., 1997).

도로변 지역과 주변 지역(도시배경지역)에서의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>농도 비를 보면, 본 연구지역의 도로변 지역인 초량동이 0.55, 수정동이 0.56으로 거의 차이가 없었다. 서울의 경우는 도로변 측정소인 신촌동이 0.43, 주거지역인 대흥동이 0.39로 비교적 낮은 값을 나타내었으며, 영국과 네덜란드 등에서도 도로변지역과

**Table 2.** Roadside/residential ratio of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) station at this study and other locations

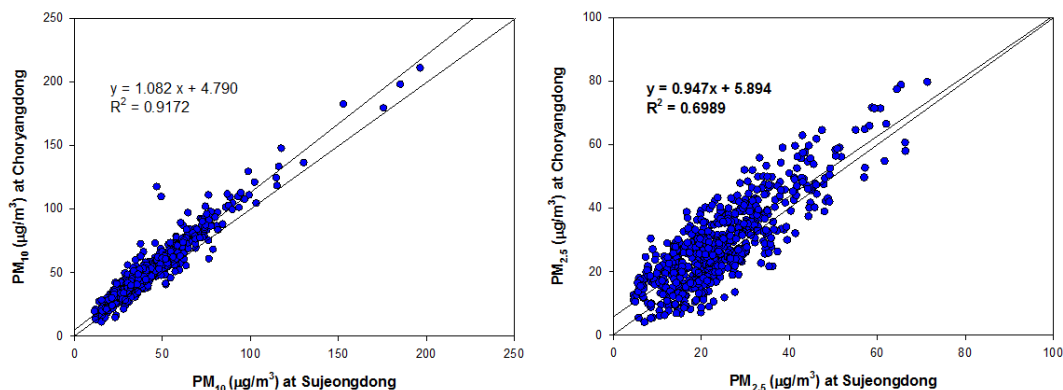
	Roadside/residential ratio		PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio at roadside	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio at residential
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>		
This study	1.18	1.18	0.55	0.56
Cho et al.(2010)			0.55	
Jung et al.(2009)	1.12	1.24	0.43	0.39
Harrison et al.(2004)	1.49	1.56	0.64	0.62
Yin and Harrison(2008)	1.11	1.01	0.60	0.66
Engler et al.(2012)	1.48		0.56	
So et al.(2007)		1.52		
Janssen et al.(1997)	1.22	1.09	0.58	0.57

도심지역의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>농도 비는 거의 비슷한 값을 보여 주었다(Janssen et al., 1997; Harrison et al., 2004). 따라서 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>농도 비는 미세먼지 중에 초미세먼지의 비중이 얼마나 분포하는지를 보여주는 지표인데, 도로변과 인근의 주거지역인 도심지역에서의 유의미한 차이는 보여 주지 못하였다.

Fig. 2는 2015년과 2016년의 본 연구지역 도로변 지역인 초량동과 주거지역인 수정동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도를 비교하여 산포도를 나타낸 것이다. 먼저 PM<sub>10</sub>의 경우, 기울기가 1.17로 도로변 지역이 높은 농도를 보였으며, PM<sub>2.5</sub>의 경우는 기울기가 1.14로 PM<sub>10</sub>보다 약간 낮은 값을 보였다. 결정계수는 PM<sub>10</sub>이 0.91로 매우 높은 값을 보였고, PM<sub>2.5</sub>는 0.66로 PM<sub>10</sub>보다 낮은 값을 나타내었다. 따라서 결정계수를 통해 알 수 있는

것은 PM<sub>10</sub>은 두 지점에서 증가와 감소 경향이 비슷한 원인에 의해 결정된다고 한다면, PM<sub>2.5</sub>는 서로 다른 원인에 의해 농도를 결정할 수 있는 여지가 있음을 알 수 있다. 따라서 두 그림을 통해 알 수 있듯이 도로변과 주거지역의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 특성을 파악할 수 있는 의미 있는 근거를 제공한다고 할 수 있다.

Fig. 3은 본 연구지역 도로변의 초량동과 주거지역인 수정동에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 구간별 발생빈도를 나타낸 것이다. 먼저 PM<sub>10</sub> 농도를 보면, 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 구간은 주거지역의 수정동의 빈도가 높은 반면, 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 구간은 도로변인 초량동의 빈도가 높다는 것을 알 수 있으며, 대기환경기준인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 구간은 초량동이 수정동보다 매우 높게 나타났다. PM<sub>2.5</sub> 농도를 보면, 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 구간은



**Fig. 2.** Comparison between Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) mass for 2015~2016 in Busan. (a) PM<sub>10</sub> (b) PM<sub>2.5</sub>. The daily limit value is indicated by a horizontal line.

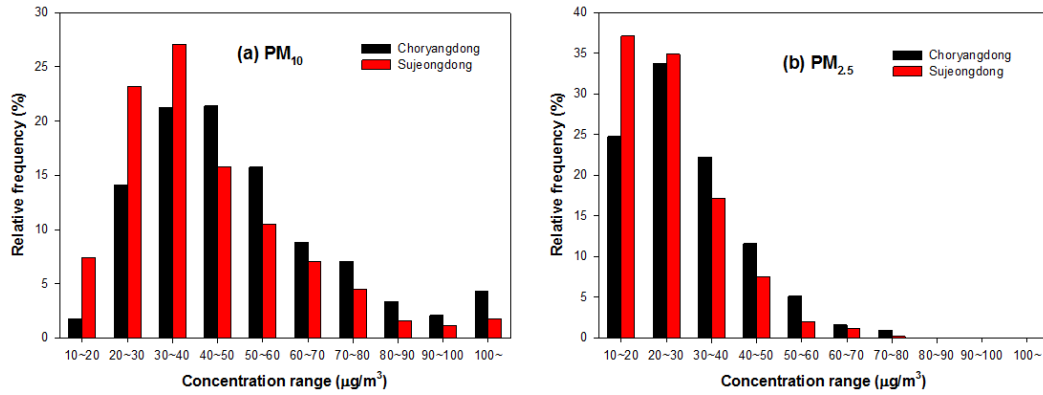


Fig. 3. Comparison of the frequency distribution of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration between Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015~2016.

수정동의 빈도가 높은 반면, 30~40 μg/m<sup>3</sup>이상의 구간은 초량동이 높게 나타났으며, 특히 20 μg/m<sup>3</sup>이하의 구간은 주거지역의 수정동의 빈도가 매우 높았다.

Fig. 4은 2015년부터 2016년까지 부산시 도로변지역인 초량동과 주거지역인 수정동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 먼저 초량동의 PM<sub>10</sub> 농도는 0700 LST 이후 급격한 증가를 보였고 1100 LST에 59.8 μg/m<sup>3</sup>로 최대값을 나타내었으며, 이후 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 1400 LST에 일시적으로 큰 폭의 감소현상이 있는 특징이 있고, 0400 LST에 42.3 μg/m<sup>3</sup>로 최소값을 나타내었다. 수정동의 PM<sub>10</sub> 농도는 초량동과 비슷한 추세를 보였으나, 0700 LST이후의 상승추세는 도로변과는 달리 완만한 상승을 보였으며, 최대농도는 초량동 보다 1시간 빠른 1200 LST 경에 나타났다. 도로변 지역인 초량동이 주거지역의 수정동보다 모든 시간에 걸쳐 높은 농도를 보였으며, 특히 0800 LST부터 1300 LST까지 두 지점의 농도차가 10 μg/m<sup>3</sup> 이상이었으며, 특히 가장 높은 농도차를 보인 시간대는 1100 LST로 13.5 μg/m<sup>3</sup>이었다.

초량동의 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화는 PM<sub>10</sub> 농도와 비슷한 경향을 보였으나 0700 LST이후의 상승은 완만하였다. 특히 수정동은 일변화가 거의 없을 정도로 주야간 농도가 작았다. 도로변 지역과 주거지역의 일변화 농도는 PM<sub>2.5</sub>보다는 PM<sub>10</sub>에 더 확실한 일변화 경향을 알 수 있었고, 특히 도로변 지역의 초량동 PM<sub>10</sub>

농도에서 새벽의 저농도 그리고 오전의 고농도 특성을 가장 잘 나타내었다. 이러한 도로변 지역인 초량동의 일변화 폭이 수정동보다 크게 나타난 것은 출퇴근 시간에 많은 자동차 통행량의 영향을 직접 받아 변화 폭이 큰 것으로 사료된다(Lee et al., 2006). 또한 초량동 PM<sub>10</sub> 최대농도 발생시각이 수정동보다 1시간 빠른 것도 이러한 이유로 보인다.

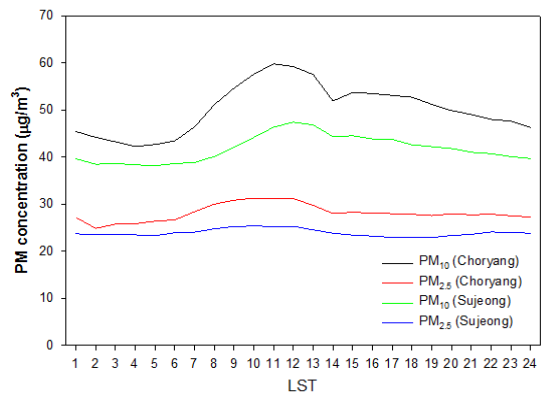


Fig. 4. Diurnal variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015~2016.

Fig. 5는 본 연구지역의 2015년부터 2016년까지 2년간 도로변의 초량동과 주거지역인 수정동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 평균농도를 요일별로 나타낸 것이다. 먼저 PM<sub>10</sub> 농도를 보면, 초량동과 수정동 모두 주말인

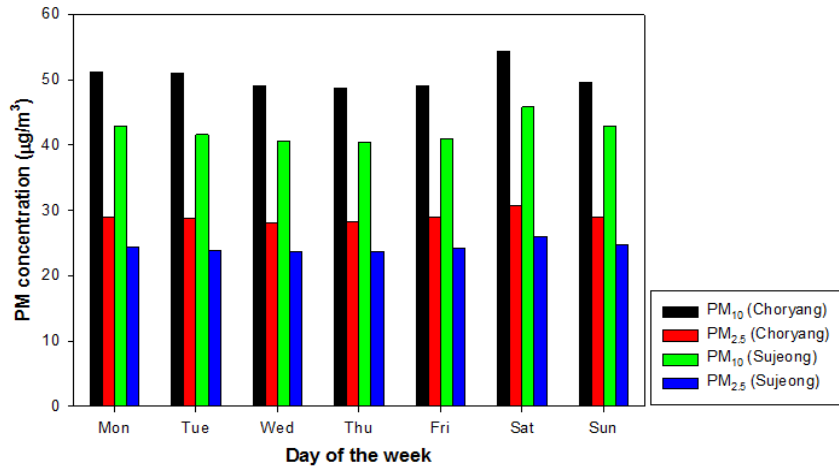


Fig. 5. Weekly variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015~2016.

토요일이 각각 54.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 45.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 주중의 목요일이 48.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 40.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. PM<sub>2.5</sub> 농도도 PM<sub>10</sub> 농도와 같이 주말인 토요일에 초량동과 수정동이 각각 30.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 26.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 초량동은 수요일(28.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 수정동은 목요일(23.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 가장 낮은 농도를 보였다. 도로변과 주거지역의 농도차를 보면, PM<sub>10</sub>은 화요일에 9.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 큰 차이를 나타내었고, 일요일에 6.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 작은 농도 차이를 보였다. PM<sub>2.5</sub>은 요일별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 4.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일요일)~4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (화요일)의 분포를 보였다. 요일별 도로변과 주거지역의 농도 특성을 살펴보면, PM<sub>10</sub>의 경우 주중에는 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 큰 농도차를 보였으나 일요일은 주중보다 작은 차이를 보였으며, PM<sub>2.5</sub>도 일요일이 주중보다 작은 차이를 나타내었다. 이런 결과가 나타나는 이유는 주중과 일요일의 교통 통행량의 차이에서 나타나는 것이라고 생각된다. 이러한 주말 감소효과는 PM<sub>2.5</sub> 보다는 PM<sub>10</sub>이 더 크게 나타나며, 이러한 이유는 자연적인 원인보다는 인위적인 활동에 의한 것이라고 하였다(Lonati et al., 2006). 그리고 호주의 브리즈번에서는 교통통행량과 미세먼지농도에는 밀접한 관계( $r=0.86$ )가 있으며, 금요일에 최고농도, 일요일에 최저농도를 나타내었는데, 본 연구는 토요일에 최고농도를 나타낸 것과는 차이가 있다

(Morawska et al., 2002).

Table 3은 본 연구 지역에서 2015년부터 2016년까지 2년간 도로변 초량동과 주거지역인 수정동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도 그리고 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비를 계절별로 나타낸 것이다. 초량동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도 봄철이 각각 64.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 34.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 가을철이 각각 40.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 21.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. 수정동의 PM<sub>10</sub>은 봄철이 52.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 가을이 33.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았으며, PM<sub>2.5</sub> 농도는 봄철이 26.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 여름철이 19.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. 도로변 지역인 초량동은 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 봄철>겨울철>여름철>가을철 순이었다. 일반적으로 부산지역은 4계절 중 여름철의 미세먼지 농도가 가장 낮은 데 본 연구에서는 가을철의 농도가 가장 낮게 나타났는데, 이에 대한 이유는 좀 더 연구가 필요하리라 사료된다(Jeon, 2010). PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 초량동이 겨울철에 0.65로 가장 높았고, 봄철이 0.55로 가장 낮았으며, 수정동은 겨울철이 0.67로 가장 높았고, 여름철이 0.51로 가장 낮았다. 도로변과 주거지역의 농도차는 PM<sub>10</sub>의 경우 봄철이 11.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸으며, 여름철이 5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 작았다. PM<sub>2.5</sub>의 경우는 봄철이 7.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸으며, 가을은 오히려 주거지역이 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 높은 농도를 나타내었다.

Fig. 6은 본 연구 지역에서 2015년부터 2016년까지

**Table 3.** Seasonal variation of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015 ~2016

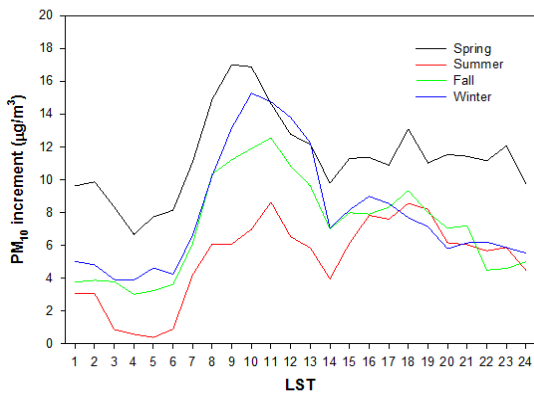
		Spring	Summer	Fall	Winter
Choryangdong (roadside)	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	64.6±28.8	45.2±17.6	40.8±16.0	48.0±24.3
	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	34.0±13.4	26.6±13.5	21.4±10.8	30.3±13.4
	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	0.55±0.13	0.57±0.15	0.56±0.19	0.65±0.18
Sujeongdong (residential)	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	52.7±26.4	40.2±15.3	33.7±14.7	40.0±21.6
	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	26.8±12.0	19.7±12.7	22.8±9.0	26.1±12.0
	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	0.53±0.15	0.51±0.18	0.71±0.13	0.67±0.14

2년간 도로변의 초량동과 주거지역의 PM<sub>10</sub> 농도 차이 ( $\Delta\text{PM}_{10}$ )의 일변화를 계절별로 나타낸 것이다. 네 계절 중 봄철이 가장 농도차이가 컸으며, 다음으로 겨울, 가을, 여름 순이었다. 네 계절 모두 가장 큰 농도 차이를 보인 시간대는 0800 LST와 1100 LST 사이이었으며, 최대 농도 차이를 보인 시각이 봄철이 가장 빠른 0900 LST이었으며, 겨울철이 1000 LST, 가을과 여름 철과 가을철이 1100 LST이었다. 새벽과 오전 시간은

여름철의 농도차가 다른 계절에 비해 작았으며, 오후와 야간 시간대에는 봄철이 다른 계절에 비해 높은 농도차를 나타내었다.

Table 4는 본 연구 지역의 도로변 초량동과 주거지역인 수정동에서 미세먼지 환경기준을 초과한 일수를 조사하여 나타낸 것이다. PM<sub>10</sub>은 2012년부터 2016년까지 5년간 일평균 환경기준인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 일수를 조사하였고, PM<sub>2.5</sub>는 2015년과 2016년 자료를 이용하여 일평균 환경기준인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 일수를 조사하였다. PM<sub>10</sub> 기준을 초과한 일수는 도로변인 초량동이 총 66일이었고, 주거지역인 수정동이 총 39일로서 초량동이 약 1.7배 정도 더 많이 발생하였다. PM<sub>2.5</sub> 기준을 초과한 일수는 초량동이 총 49일, 수정동이 총 24일로 도로변이 주거지역보다 약 2배 높은 발생율을 보였다. 2015년은 2016년에 비해 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 도로변인 초량동이 주거지역 수정동보다 일평균 환경기준 초과 발생율이 월등히 높게 나타났다. 그리고 두 지점 모두 PM<sub>10</sub>보다는 PM<sub>2.5</sub>의 환경 기준 초과율이 높게 나타났다.

Fig. 7은 본 연구 지역 도로변인 초량동과 주거지역인 수정동에서 계절별로 환경기준을 초과한 일수를 조사하여 나타낸 것이다. 초량동의 PM<sub>10</sub>의 일평균



**Fig. 6.** Diurnal variation of seasonal PM<sub>10</sub> concentration increment ( $\Delta\text{PM}_{10}$ ) between Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015 ~2016.

**Table 4.** Number of exceedances per year of the daily limit value for PM<sub>10</sub>(2012~2016) and PM<sub>2.5</sub>(2015~2016) at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential)

		2012	2013	2014	2015	2016	Total
Choryangdong (roadside)	PM <sub>10</sub>	5	9	22	16	14	66
	PM <sub>2.5</sub>				23	26	49
Sujeongdong (residential)	PM <sub>10</sub>	2	8	18	3	8	39
	PM <sub>2.5</sub>				7	17	24

환경기준 초과일수는 봄철 35일, 여름철 6일, 가을철 2일 그리고 겨울철 23일로 총 66일 발생하였고, 수정동의 PM<sub>10</sub>은 봄철 25일, 여름철 2일, 가을철 1일, 그리고 겨울철이 11일로 총 39일이었다. 초량동의 PM<sub>2.5</sub>의 일평균 환경기준 초과일수는 봄철 17일, 여름철 11일, 가을철 4일 그리고 겨울철 17일로 총 49일 발생하였고, 수정동의 PM<sub>2.5</sub>은 봄철 8일, 여름철 7일, 가을철 1일, 그리고 겨울철이 8일로 총 24일이었다. 두 지역 모두 봄철이 황사에 의한 영향으로 환경기준 초과일수가 가장 높았고, 겨울철의 초과일수가 두 번째로 높았는데, 이는 중국으로부터 수송되는 미세먼지가 큰 영향을 준 것으로 파악된다. 특히 여름철 PM<sub>2.5</sub>의 초과일수가 겨울과 비슷한 것은 7, 8월의 광화학스모그 발생이 많고 대기 중에 2차적으로 PM<sub>2.5</sub>가 발생한 것으로 보인다. 도로변인 초량동이 주거지역인 수정동

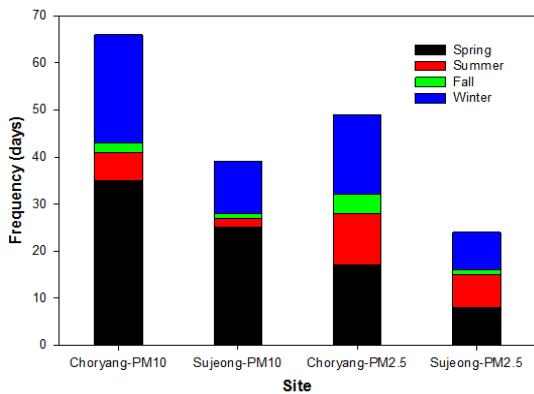


Fig. 7. Exceedances of the daily limit value for PM<sub>10</sub>(2012~2016) and PM<sub>2.5</sub>(2015~2016) at Choryangdong (roadside) and Sujeongdong(residential).

보다 PM<sub>10</sub>의 경우는 여름철이 3배, PM<sub>2.5</sub>의 경우는 가을철이 4배 정도 높은 발생율을 보였다.

Table 5는 본 연구 지역 초량동과 수정동에서 낮과 밤의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도, 그리고 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비를 나타낸 것이다. 낮과 밤의 구분은 난후기를 5월 1일부터 10월 31일까지로 하고, 이 기간에는 낮을 0600 LST부터 2000 LST까지, 밤을 2100 LST부터 익일 0500 LST까지로 하였고, 한후기는 11월 1일부터 4월 30일까지이고, 낮을 난후기보다 1시간 늦고 빠른 0700 LST부터 1900 LST까지로, 밤은 2000 LST부터 익일 0600 LST까지로 하였다. 초량동의 PM<sub>10</sub>의 경우, 낮과 밤이 각각 53.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 45.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>의 경우, 낮과 밤이 각각 29.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 26.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 수정동의 PM<sub>10</sub>의 경우, 낮과 밤이 각각 43.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 39.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>의 경우, 낮과 밤은 각각 24.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 23.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 두 지점 모두 낮이 밤보다 높은 농도를 나타내었고, 초량동과 수정동의 PM<sub>10</sub>은 낮과 밤의 농도 차이가 각각 7.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 3.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>는 각각 2.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 난후기 동안, 초량동과 수정동의 PM<sub>10</sub>은 낮과 밤의 농도 차이가 각각 7.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 4.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>는 각각 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 0.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 한후기 동안, 초량동과 수정동의 PM<sub>10</sub>은 낮과 밤의 농도 차이가 각각 10.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM<sub>2.5</sub>는 각각 2.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 -0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

그리고 초량동과 수정동에서 낮과 밤의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도차를 평균과 난후기 그리고 한후기로 구별하여 나타내면, 낮 동안 두 지점의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 평균 농도차는 각각 9.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 난후기는

Table 5. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration, and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for day and night for 2015~2016

		Day			Night		
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>
Choryangdong (roadside)	Mean	53.0±26.6	29.0±14.5	0.55±0.33	45.5±22.2	26.7±13.3	0.59±0.18
	Warm season	50.8±21.9	25.8±14.4	0.52±0.18	43.1±19.8	24.3±13.4	0.58±0.17
	Cold season	58.0±31.6	32.1±14.4	0.59±0.16	47.9±24.2	29.3±12.7	0.64±0.18
Sujeongdong (residential)	Mean	43.2±24.0	24.0±12.7	0.59±0.18	39.5±19.1	23.6±11.6	0.63±0.18
	Warm season	42.7±20.6	22.2±12.8	0.55±0.19	38.1±15.6	21.6±11.3	0.61±0.20
	Cold season	45.5±28.4	25.5±13.1	0.59±0.16	41.0±21.9	25.7±11.4	0.66±0.16



각각 8.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 한후기는 12.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 6.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 그리고 밤 동안의 두 지점의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 평균 농도차는 각각 6.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 3.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 난후기는 각각 5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 2.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 한후기는 각각 6.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

#### 4. 결론

부산 지역의 도로변 지점(초량동)과 인근의 주거지역(수정동)에서 2012년부터 2016년까지 6년간의 PM<sub>10</sub> 농도자료와 2015년과 2016년의 2년간의 PM<sub>2.5</sub> 농도자료를 이용해 미세먼지 농도의 특성을 체계적으로 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연평균 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 도로변이 주거지역보다 각각 7.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 4.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  높았으며, 모두 18% 증가율을 보였다. 그리고 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 도로변이 0.55, 주거지역이 0.56으로 거의 차이가 없었다.

2) PM<sub>10</sub>의 경우, 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하는 주거지역이 높은 반면, 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상은 도로변이 높은 빈도를 보였고 PM<sub>2.5</sub> 경우, 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하는 주거지역이 높고 30~40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상은 도로변이 높게 나타났다.

3) PM<sub>10</sub>의 경우, 도로변은 0700 LST 이후 급격히 증가하여 1100 LST에 최대농도를 나타낸 후 지속적으로 감소하여 0400 LST에 최소값을 나타내었다. 주거지역의 0700 LST 이후 상승추세는 도로변과는 달리 완만하였으며 최대농도는 도로변보다 1시간 늦은 1200 LST 경에 나타났다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, 도로변은 PM<sub>10</sub>과 비슷한 경향을 보였으며 주거지역은 일변화가 거의 없을 정도로 주·야간 농도가 낮게 나타났다.

4) PM<sub>10</sub>의 경우, 도로변과 주거지역 모두 주말인 토요일이 가장 높았고 주중의 목요일이 가장 낮았다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, PM<sub>10</sub>과 같이 주말인 토요일에 가장 높았고 도로변은 수요일에 주거지역은 목요일에 가장 낮은 농도를 보였다.

5) PM<sub>10</sub>의 경우, 도로변과 주거지역 모두 봄철이 가장 높고 가을철이 가장 낮았으며, PM<sub>2.5</sub>의 경우, 도로변은 봄철이 가장 높고 가을철이 가장 낮았으며 주거지역은 봄철이 가장 높았고 여름철이 가장 낮았다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 도로변이 겨울철에 가장 높았고 봄철이 가장 낮았으며, 주거지역은 겨울철이 가장 높았

고, 여름철이 가장 낮았다.

6) PM<sub>10</sub> 농도 차이( $\Delta\text{PM}_{10}$ )의 계절별 일변화는 도로변과 주거지역 모두 봄철이 가장 농도차이가 컸으며, 다음으로 겨울, 가을, 여름 순이었다. 네 계절 모두 가장 큰 농도 차이를 보인 시간대는 0800 LST와 1100 LST 사이이었다.

7) PM<sub>10</sub>의 미세먼지 환경기준을 초과일수는 도로변이 총 66일, 주거지역이 총 39일이었고, PM<sub>2.5</sub>는 도로변이 총 49일, 주거지역이 총 24일로 도로변이 주거지역보다 약 2배 높은 발생율을 보였다.

8) 본 연구는 부산 지역의 도로변 측정 지점과 인근의 주거지역의 측정 지점을 선정하여 미세먼지 농도의 특성을 체계적으로 분석하였으며, 도로변 미세먼지 농도에 대한 정량적인 평가는 향후 부산지역의 미세먼지를 효과적으로 관리하는데 통찰력을 제공할 수 있다.

#### REFERENCES

- Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment(BIHE), 2016, Busan air quality assessment Report, 2015, 154.
- Cho, S. S., Cho, S. J., Yoon, H. K., Go, H. S., Ha, H. J., Kim, H. M., Jung, J. H., Kim, J. H., 2010, The characteristics of long-and short-term air quality at roadside monitoring stations, Report of S.I.H.E., 46, 101-107.
- Harrison, R. M., Jones, A. M., Lawrence, R. G., 2004, Major component composition of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> from roadside and urban background sites, Atmos. Environ., 38, 4531-4538.
- Janssen, N., Mansom, D., Jagt, K., Harsssema, H., Hoek, G., 1997, Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations, Atmos. Environ., 31, 1183-1193.
- Jeon, B. I., 2010, Characteristics of spacio-temporal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan, Korean Enviro. Sci. Soc., 19, 1013-1023.
- Jo, W. K., Choi, S. R., 2006, Characteristics of air pollutants concentrations near major roadways in Daegu, Environ. Sci., 737-744.
- Jung, S. Y., Kim, K. H., Kim, D. H., Cho, S. J., Kim, M. Y.,

- 2009, Long-term study on ozone concentration profiles in roadside and residential locations in Seoul, Korea, *Kor. Soc. Environ. Analy.*, 12, 204-220.
- Kim, C. H., Jo, H. Y., Lee, S. W., Oh, C. S., 2011, Evaluation of emission reduction program for in-use diesel vehicles using PM<sub>10</sub> concentrations of road-side and background monitoring network, *Environ. Sci.*, 20, 1585-1598.
- Kumar, P., Fennell, P., Britter, R., 2008, Measurements of particles in the 5-1000 nm range close to road level in an urban street canyon, *Sci. Total Environ.*, 390, 437-447.
- Lee, C. T., Chuang, M. T., Chan, C. C., Cheng, T. J., Huang, S. L., 2006, Aerosol characteristics from the Taiwan aerosol supersite in the Asian yellow-dust periods of 2002, *Atmos. Environ.*, 40, 3409-3418.
- Lee, Y. K., Kim, W. S., Hong, S. M., Shin, E. S., 2014, Comparison of air pollution characteristics in the center lane-bus stop and the surrounding areas, *Kor. Soc. Atmos. Environ.*, 30, 378-386.
- Lenschow, P., Abraham, H. J., Kutzner, K., Lutz, M., Preuß, J., Reichenbacher, W., 2001, Some ideas about the sources of PM<sub>10</sub>, *Atmos. Environ.*, 35, 23-33.
- 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.
- Morawska, L., Jayaratne, E. R., Mengersen, K., Jamriska, M., Thomas, S., 2002, Difference in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekdays and weekends, *Atmos. Environ.*, 36, 4375-4383.
- So, K. L., Guo, H., Li, Y. S., 2007, Long-term variation of PM<sub>2.5</sub> levels and composition at rural, urban, and roadside sites in Hong Kong: Increasing impact of regional air pollution, *Atmos. Environ.*, 41, 9427-9434.
- Yin, J. X., Harrison, R. M., 2008, Pragmatic mass closure study for PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at roadside, urban background and rural sites, *Atmos. Environ.*, 42, 980-988.