

ORIGINAL ARTICLE

## 부산지역 최근 4년간(2015~2018년) PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>농도의 시·공간적 변화 특성

전병일\*

신라대학교 화학공학과

### Spaciotemporal Variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Concentration for 2015 to 2018 in Busan

Byung-II Jeon \*

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

#### Abstract

This study investigates the characteristics of diurnal, seasonal, and weekly roadside and residential concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Busan, as well as relationship with meteorological phenomenon. Annual mean PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations in Busan were 44.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 25.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> concentration ratio was 0.58. Diurnal variations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations in Busan were categorized into three types, depending on the number of peaks and times at which the peaks occurred. Roadside PM<sub>10</sub> concentration was highest on Saturday and lowest on Friday. Residential PM<sub>10</sub> concentration was highest on Monday and lowest on Friday. Residential PM<sub>2.5</sub> concentration was highest on Monday and Tuesday and lowest on Friday. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were highest on Asian dust and haze, respectively. The results indicate that understanding the spatiotemporal variation of fine particles could provide insights into establishing a strategy to control urban air quality.

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

#### 1. 서론

환경부는 2018년 3월 27일부터 일평균 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준을 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 연평균 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 WHO나 미국수준으로 강화하였다. 예보, 주의보, 경보 기준도 다음과 같이, PM<sub>2.5</sub>의 예보기준은 보통수준을 16~50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 16~35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 나쁨

을 51~100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 36~75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 매우 나쁨을 101  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상에서 76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화하였다. 또한 주의보기준(2시간)은 현행 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 경보기준(2시간)은 현행 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화하였다.

에어로졸은 기후변화와 인간의 건강 그리고 시정에 부정적인 영향을 미치고 심각한 환경 및 사회문제를

Received 30 April, 2020; Revised 2 June, 2020;  
Accepted 2 June, 2020

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

야기하고 있다(Tan et al., 2009; Duan and Tan, 2013). 또한 에어로졸은 연직방향으로 태양복사와 지구복사를 산란시키고 흡수함으로써 대류권의 열적균형을 변화시키고 있다(Cahill, 1996; Jacobson, 2001). 수평방향으로 에어로졸은 햇빛을 흡수하여 시정을 감소시키고 하늘을 뿌옇게 만들어 사람들의 마음을 우울하게 만든다(Hyslop, 2009). 조대입자는 중력에 의해 비교적 빠르게 침적되나 미세입자는 호흡기를 통해 신체에 흡수되어 심각한 위해를 일으킨다. 초미세입자는 폐나 순환기계로 흡수되어 심혈관계와 면역체계에 부정적인 영향을 미쳐 신경과민증상을 야기한다(Bai et al., 2007).

부산지역 미세먼지의 사·공간적 특성에 관한 연구를 보면, Jeon(2003)이 1999년부터 2002년까지 9개 지점의 시간별  $PM_{10}$  농도를 이용하여 시간적, 공간적 특성을 고찰한 뒤, 일평균 농도가  $150 \mu g/m^3$  이상인 고농도  $PM_{10}$ 을 추출하여 황사와 비황사시로 구분하여 그 특성을 고찰하였다. 그리고 Jeon(2010)은 2006년부터 2008년까지  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도가 동시에 측정된 3개 지점의 농도자료를 이용하여 계절별, 월별, 시간별 특성과  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비의 특징을 고찰한 바 있다. Jeon and Hwang(2014)은 2011년 1월부터 2012년 12월까지 19개 자동측정망 중(도로변 2개소 포함)에서  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 이 동시에 측정된 7개 지점의 자료를 사용하여 주중과 주말의 미세먼지 농도와 기상요소의 특성을 고찰하였다. Jeon(2018)은 2012년부터 2016년까지의  $PM_{10}$ 과 2015년과 2016년까지의  $PM_{2.5}$ 를 이용해 도로변 지점(초량동)과 인근 주거 지역(수정동)의 미세먼지 농도 특성을 체계적으로 고찰한 바 있다.

그러나 위에 열거된 연구는 대부분 연구기간이 짧거나,  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 동시에 관측한 지점이 적은 단점이 있었다. 최근  $PM_{2.5}$ 에 대한 관심이 고조되면서  $PM_{2.5}$ 의 측정이 부산 지역 전 지점으로 확대되면서 장기간 많은 지점에서 동시에  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도 자료의 확보가 가능해졌다. 따라서 본 연구는 부산지역 21개 모든 지점에서 동시에 측정된  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도 자료를 이용하여 지역 용도에 따른 계절별, 주중/주말 특성 그리고 각 지점의 일변화 특성을 고찰하였고, 또한 기상현상별 미세먼지 농도와 환경기준초과일수 특성 및 도로변/주거지역 특성 그리고 산악지점의 미세먼지 특성을 고찰하였다.

## 2. 재 료

본 연구에서 사용한  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 농도자료는 2015년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 최근 4년간 시간별 평균농도로 부산광역시 보건환경연구원에서 관리하는 부산지역 21개 자동관측망(도시대기 19개소, 도로변 대기 2개소)의 자료를 사용하였다. 또한 기상청에서 황사관측을 위한 목적으로 구덕산 레이더관측소(해발고도 518 m)에 설치된  $PM_{10}$ 자료( $PM_{2.5}$ 는 관측하지 않음)를 이용하였다. 부산지역의 모든 관측소에서  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 를 동시에 관측한 시기는 2015년 1월 1일부터라고 할 수 있다. 이전에는  $PM_{2.5}$ 의 관측이 특정 지점에서 관측되었는데, 최근 초미세먼지의 건강에 대한 심각성이 대두되면서  $PM_{2.5}$ 의 측정이 전 지점으로 확대된 것이다. 따라서 본 연구는 부산지역에서 최근까지 확보된 장기간의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 자료를 활용한 첫 사례라고 할 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 부산지역 미세먼지의 일반적 특성

Table 1은 부산지역 2015년부터 2018년까지 4년간 도시대기(19개소), 도로변대기(2개소), 고산지점(1개소)에서 측정된 평균  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 농도를 연도별로 나타낸 것이다. 먼저,  $PM_{10}$ 농도를 보면, 최근 4년간 평균농도는  $44.2 \mu g/m^3$ 로서 개정 이전의 연평균 환경기준인  $50 \mu g/m^3$ 를 만족하고 있으며, 2015년의  $46.8 \mu g/m^3$ 에서 2018년의  $41.7 \mu g/m^3$ 로 매년 감소하는 추세를 보이고 있다. 연평균 환경기준을 초과한 지점은 공업지역인 장림동( $50.8 \mu g/m^3$ )과 학장동( $50.6 \mu g/m^3$ ), 그리고 초량동( $50.2 \mu g/m^3$ )이었으며, 2018년은 세 지점 모두 환경기준을 만족하고 있다. 고산지역인 구덕산을 제외하고 가장 낮은 농도를 보인 지점은 기장군 정관면의 용수리로  $37.8 \mu g/m^3$ 이었으며, 녹지지역으로 분류된 태종대와 대저동은 각각  $44.1 \mu g/m^3$ 과  $48.3 \mu g/m^3$ 이었으며, 특히 대저동의 농도가 높게 나타나는 것이 다소 의외인데, 향후 이에 대한 원인을 찾는 노력이 필요해 보인다. 고산지점인 구덕산은  $29.6 \mu g/m^3$ 로 도시대기 농도보다 매우 낮은 값을 보이거나 연도별로 보면 계속 증가하는 추세를 보이고 있다.

다음으로  $PM_{2.5}$ 농도를 보면, 최근 4년간 평균 농도는

**Table 1.** Annual mean values of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations observed in Busan for 4 years(2015~2018)

	PM <sub>10</sub>					PM <sub>2.5</sub>					PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio
	2015	2016	2017	2018	Mean	2015	2016	2017	2018	Mean	
Kwangbok	50.1	43.1	41.6	42.0	44.1	29.4	29.1	25.2	24.5	27.1	0.62
Jangrim	54.1	51.6	49.6	48.1	50.8	27.0	32.3	30.9	29.4	29.9	0.60
Hakjang	53.5	50.8	50.9	47.5	50.6	32.3	31.0	30.1	26.5	30.0	0.60
Deokcheon	46.2	41.2	36.4	41.4	41.2	22.8	27.1	20.6	22.9	23.4	0.57
Yeonsan	48.0	46.6	47.9	39.0	45.6	29.7	26.5	26.5	22.0	26.4	0.58
Daeyeon	40.8	43.6	43.9	36.8	41.2	22.3	25.5	28.2	19.0	23.6	0.56
Cheongrong	45.7	47.2	45.6	44.0	45.6	27.2	26.4	26.6	24.9	26.3	0.59
Jeonpo	50.2	39.7	43.7	43.2	44.0	27.2	27.3	25.3	22.8	25.6	0.58
Taejongdae	47.1	39.9	39.8	37.7	44.1	21.4	25.0	19.5	19.0	21.2	0.53
Gijang	40.7	40.3	39.7	33.5	38.5	24.6	24.3	24.4	17.2	22.6	0.59
Daejeo	55.5	47.0	45.3	46.2	48.3	27.3	29.6	27.6	26.6	27.8	0.58
Bugok	45.3	38.5	38.5	39.0	40.1	24.9	24.1	24.1	21.8	23.7	0.59
Gwangan	37.0	44.6	41.1	45.9	42.4	23.7	26.9	22.3	24.5	24.4	0.59
Meongjang	48.8	47.6	53.4	45.3	48.7	25.5	28.0	28.9	24.2	26.7	0.56
Noksan	52.3	47.5	44.7	43.4	46.8	31.0	27.3	25.5	24.3	27.0	0.57
Yongsu	35.2	38.7	38.7	38.3	37.8	19.9	24.5	22.4	20.6	21.9	0.59
Zoa	40.9	42.0	42.9	38.3	41.0	23.7	25.9	26.4	21.2	24.3	0.61
Sujeong	43.1	40.7	43.2	36.5	40.8	21.8	25.9	23.9	20.1	22.9	0.58
Daeshin	37.9	39.7	41.6	40.0	39.9	23.9	26.1	26.6	25.4	25.5	0.65
Oncheon	58.5	52.2	44.9	40.9	49.0	27.6	24.8	23.5	21.1	24.3	0.50
Choryang	52.1	48.4	50.5	49.9	50.2	28.1	28.1	24.8	23.4	26.2	0.54
Gudeoksan	27.2	27.6	28.3	35.5	29.6						
Mean	46.8	44.3	44.0	41.7	44.2	25.8	26.9	25.4	22.9	25.3	0.58

25.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개정 이전의 대기환경기준인 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하고 있으며, 2018년 3월 이후의 대기환경기준인 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 훨씬 초과하고 있다. 가장 높은 농도를 보인 지점은 공업지역인 학장동(30.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 장림동(29.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었으며, 가장 낮은 농도를 보인 지점은 녹지지역인 태종대로 21.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보였다. PM<sub>2.5</sub>도 PM<sub>10</sub>과 같이 매년 감소하는 추세를 보이고 있으며, 특히 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 농도를 보이는 지점도 2017년 1개소(태종대)에서 2018년은 3개소(대연동, 태종대, 기장읍)로 증가하였다. 특히 2018년의 평균농도는 22.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2017년의 25.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약 10%의 하강을 보이고 있어 대기질이 향상된 것을 알 수 있다. 그러나 대기환경기준인 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에는 훨씬 미치지 못하는 상태로 향후 PM<sub>2.5</sub>농도를 저감시키는 노력이 요구된다.

다음으로 최근 4년간 측정된 연평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도

비를 살펴보았다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 PM<sub>10</sub> 중에 PM<sub>2.5</sub>의 기여율을 알아본다는 의미에서 매우 가치가 있다고 판단된다. 연평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 0.58이었으며, 0.6 이상의 비교적 큰 농도비를 보인 지점은 광복동(0.62), 장림동과 학장동(0.60), 좌동(0.61), 대신동(0.65)이었으며, 녹지지역인 태종대가 0.53으로 가장 낮은 농도비를 보였다. Jeon(2010)은 부산지역 세 지점(장림동, 기장읍, 좌동)에서 2006년부터 2008년까지 3년간 자료를 이용하여 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도를 연구한 바 있다. 장림동의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 각각 67.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 39.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최근 4년간 농도는 10년 전에 비해 각각 24.2%와 24.5% 감소하였다. 그러나 기장읍과 좌동의 경우, PM<sub>10</sub>은 각각 8.6%와 2.8% 감소하는데 그쳤으며, PM<sub>2.5</sub>은 오히려 각각 5.6%와 12.0% 증가하였다. 이는 부산시의 미세먼지관리 정책에 의미있는 시사점을 주고

**Table 2.** Seasonal mean values of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for land use observed in Busan for 4 years(2015~2018)

	PM <sub>10</sub>				PM <sub>2.5</sub>			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Commercial	54.6±24.7	36.9±14.8	38.4±17.3	48.2±22.4	30.6±12.7	22.3±12.3	22.3±11.5	30.5±13.6
Industrial	58.1±25.3	38.7±16.8	43.0±20.0	56.5±24.0	31.8±13.3	24.6±13.2	25.3±13.4	34.1±15.7
Green	54.6±26.3	37.3±15.8	39.2±17.2	47.0±24.0	27.5±12.0	21.0±11.4	21.1±11.2	28.4±14.2
Residential	51.1±24.1	36.1±14.5	35.9±16.3	42.5±20.1	27.2±11.5	21.8±11.7	20.6±10.5	26.8±12.5
Roadside	63.7±25.6	42.8±16.3	39.3±16.8	50.9±22.7	29.7±12.7	23.5±12.1	20.3±10.6	27.3±12.6
Mountainous	38.2±24.1	26.0±13.7	24.8±14.7	30.6±18.1				
Mean	54.1±25.0	37.4±15.3	37.9±17.3	46.5±22.2	28.6±12.2	22.3±12.1	21.5±11.3	28.6±13.6

있다고 생각한다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비도 장립동은 0.59에서 0.60으로 큰 변화가 없는 반면, 기장읍과 좌동은 각각 0.51에서 0.59와 0.61로 증가하는 추세를 보였다.

Table 2는 부산 지역의 최근 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도를 지역용도에 따라 계절별로 나타낸 것이다. 상업지역은 광복동, 연산동, 진포동 3개소이며, 공업지역은 장립동, 학장동, 녹산동 3개소이며, 녹지지역은 태종대와 대저동 2개소이며, 도로변은 온천동과 초량동 2개소이며, 나머지 11개소는 주거지역이고 산악지점은 구덕산이다. 먼저, PM<sub>10</sub>의 경우, 봄철과 여름철은 도로변 지역이 각각  $63.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $42.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고 다음이 공업지역이 각각  $58.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $38.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 가을철과 겨울철은 공업지역이 각각  $43.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $56.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았으며, 다음으로 도로변이 각각  $39.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $50.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 녹지지역은 봄철에 가장 낮았으나 나머지 세 계절은 상업지역과 주거지역에 비해 높은 농도를 보였는데, 이는 녹지지역으로 분류된 대저동의 PM<sub>10</sub> 농도가 상대적으로 높게 나타났기 때문으로 보인다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, 네 계절 모두 공업지역이 타 지역에 비해 높은 농도를 나타내었다. 특히 공업지역의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 타지역에 비해 봄철과 여름철보다 가을철과 겨울철이 높은 값을 나타내었다. 이는 초미세먼지 관리와 경보 발령 시 지역별 특성을 나타내는 요소라고 볼 수 있으므로 향후 고려되어야 할 사항이라고 판단된다. 전체적으로 볼 때, PM<sub>10</sub>은 봄철이 탁월하게 높은 농도를 보였고 여름철이 가장 낮은 경향이 있다. 그러나 PM<sub>2.5</sub>는 봄철과 겨울철 두 계절에 가장 높은 농도를 보였고 여름철과 가을철에 비교적 낮은 농도를 보였다. 도로변 지역은 PM<sub>10</sub>

과 PM<sub>2.5</sub> 모두 가을철보다 여름철에 높은 농도를 보였으며, PM<sub>10</sub>보다는 PM<sub>2.5</sub>에서 큰 차이를 보였다. 이는 여름철 자동차 배출가스의 광화학반응에 의한 2차 생성 먼지와 관련된 것으로 보인다(So et al., 2007).

Fig. 1은 부산지역 각 지점에서 최근 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 먼저 PM<sub>10</sub>의 경우를 보면(Fig. 1a, 1b, 1c), 일중 최고농도와 최고농도를 나타낸 회수를 고려하여 3개의 type으로 분류할 수 있었다. Fig. 1a는 오전의 primary peak가  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 secondary peak가 오후나 야간에 발생하는 사례라고 할 수 있으며, 공업지역인 학장동과 장립동, 도로변 지역인 온천동과 초량동 그리고 녹지지역이면서도 고농도를 나타내는 대저동에서 발생하였다. 학장동의 경우 1000 LST에  $63.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고농도를 나타내었고 이후 감소하다가 1600 LST에  $55.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 secondary peak가 나타나는 전형적인 도시형 double peak가 발생하였다. primary peak는 5개 지점 모두 1000~1100 LST에 발생하였으나, secondary peak는 학장동, 온천동, 초량동은 1600~1700LST에 발생하였고, 대저동과 장립동은 2400 LST에 발생하였다. Fig. 1b는 Fig. 1a와 같이 double peak가 나타나지만 primary peak가  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로, secondary peak와 큰 차이가 없었던 사례라고 할 수 있다. 이 사례는 광복동을 비롯한 10개 지점에서 발생하였다. Fig. 1a와 마찬가지로 대부분 primary peak는 1000~1200 LST에 발생하였고 secondary peak는 1600 LST경과 2100 LST에 발생하였다. 기장읍의 PM<sub>10</sub> 농도는 0700 LST이후 상승하기 시작하여 1000 LST부터 2200 LST까지  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  내외의

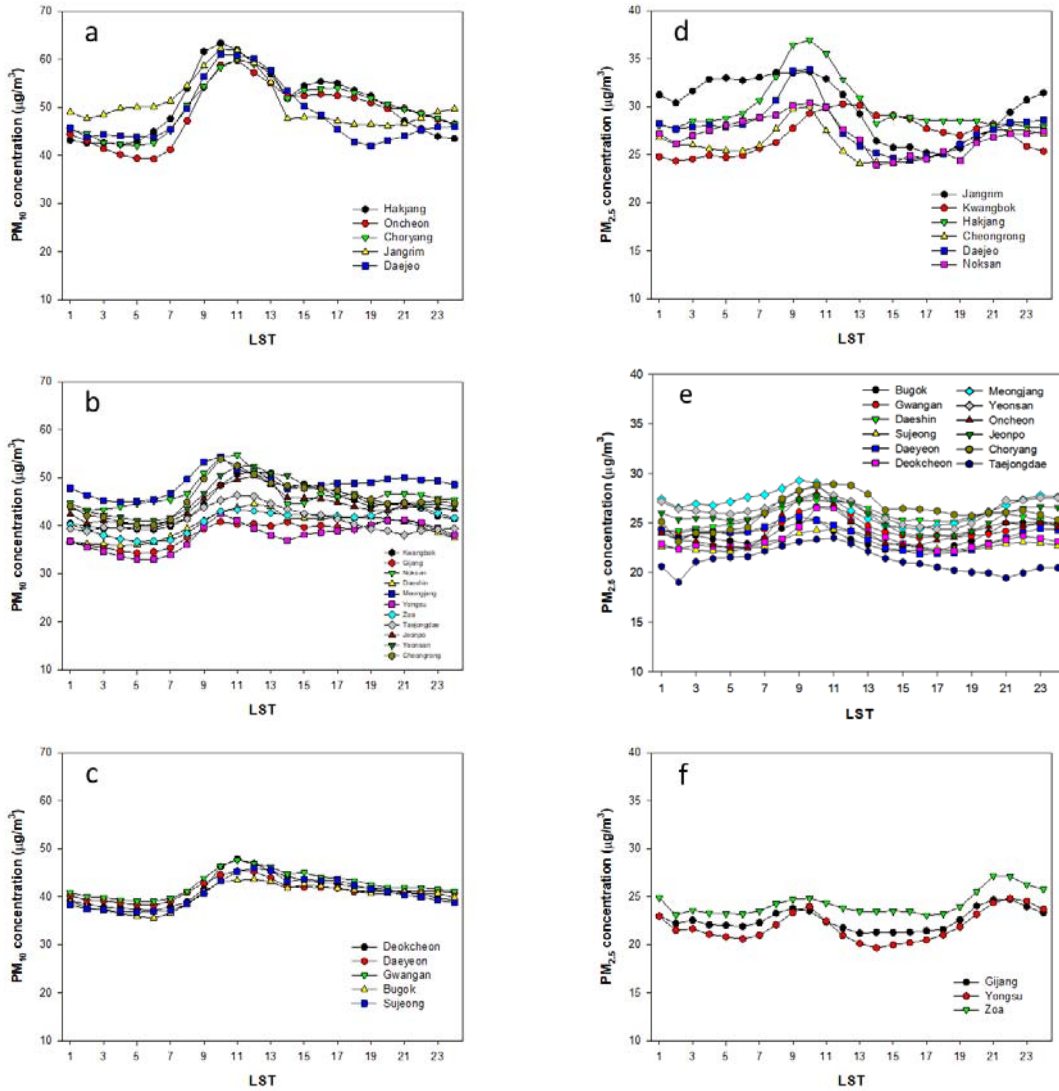


Fig. 1. Diurnal variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Busan for 4 years(2015 ~ 2018).

농도를 꾸준히 나타내는 형태를 보이고 있다. 특히 타 지점은 대부분 1400 LST경에 감소하는 경향을 보이나 기장은 상승하는 모양을 보여 다소 특이한 양상을 보이고 있다. Fig. 1c는 primary peak가 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 secondary peak가 나타나지 않고 1000~1200 LST 이후 농도가 계속 감소하는 사례라고 할 수 있다. 이 사례는 덕천동을 비롯한 5개 지점에서 발생하였다. 그림에서 보듯이 5개 지점의 일변화는 거의 일치하고 있는 것을 알

수 있다. 특히 primary peak가 발생하는 시각과 최고농도 발생 이후 오후와 야간까지 감소하는 양상이 거의 동일하다. 최고농도와 최저농도의 차이가 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  내외로 큰 편차를 보여주지 못했다.

다음으로 PM<sub>2.5</sub>의 경우를 보면(Fig. 1d, 1e, 1f), 일중 최고농도와 최저농도를 나타낸 회수를 고려하여 3개의 type으로 분류할 수 있었다. Fig. 1d는 오전의 primary peak가 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘고 secondary peak가 오후나 야간에

**Table 3.** Weekday/weekend mean values of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for land use observed in Busan for 4 years(2015 ~ 2018)

	PM <sub>10</sub>			PM <sub>2.5</sub>			PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio		
	Weekday	Saturday	Sunday	Weekday	Saturday	Sunday	Weekday	Saturday	Sunday
Commercial	44.3±20.3	45.5±23.3	44.5±24.8	26.3±13.1	26.9±13.8	26.3±12.8	0.60±0.16	0.59±0.15	0.60±0.16
Industrial	50.4±22.5	49.5±25.8	44.4±24.8	29.4±14.6	29.1±15.0	26.5±13.1	0.59±0.13	0.59±0.14	0.61±0.16
Green	44.3±21.3	45.9±24.5	45.1±25.6	24.3±12.6	25.1±13.5	24.7±12.8	0.56±0.15	0.56±0.16	0.56±0.16
Residential	41.3±19.0	42.6±22.3	41.7±23.6	24.0±11.9	24.6±12.3	24.0±11.5	0.59±0.16	0.59±0.16	0.59±0.17
Roadside	49.5±22.0	51.0±24.9	48.5±25.4	25.2±12.6	25.6±12.8	24.8±11.9	0.52±0.15	0.51±0.15	0.53±0.16
Mountainous	29.3±17.5	30.9±20.6	30.1±22.4						

발생한 사례이다. 이 사례는 장림동을 비롯한 6개 지점에서 발생하였다. 주로 공업지역 3개소와 녹지지역이면서 고 농도를 나타낸 대저동에서 나타났다. 공업지역인 장림동은 새벽기간대에도 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 농도를 보이다가 1300 LST 이후 급격히 하강하는 추세를 보이고 2300 LST에 다시 상승하는 패턴을 보이고 있다. Fig. 1e는 오전의 primary peak가 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하이고 오후나 야간에 secondary peak가 있는 사례로서 부곡동을 비롯한 12개 지점에서 발생하였다. 부산지역의 대부분의 지점에서 발생한 것으로 일반적인 발생 사례라고 할 수 있다. 도로변 지점인 초량동의 primary peak가 2~3시간 더 지연되어 발생하였고, 녹지지역인 태종대가 타지점에 비해 월등히 낮은 농도를 보였다. Fig. 1f는 double peak가 나타나지만 primary peak가 주간보다 야간(2100~2200 LST)에 발생하는 사례이다. 기장읍을 비롯한 3개 지점에서 발생하였다. 이 지점들 모두 부산의 동부 지역에 위치하고 비교적 오염원이 적은 지역이라고 할 수 있다. 발생 원인이 오염물질에 대한 차이 때문인지 아니면 국지기상학적인 특성인지는 오염원자료를 확보하여 좀 더 구체적인 연구가 필요하리라 판단된다.

### 3.2. 부산지역 미세먼지의 주중/주말 특성

Table 3은 부산 지역에서 최근 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 주중/주말 농도 특성을 지역용도별로 나타낸 것이다. 주중은 월요일부터 금요일까지이고 주말은 토요일과 일요일로 나누어 고찰하였다. 먼저, PM<sub>10</sub> 경우를 보면, 공업지역의 주중농도(50.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )가 주말인 토요일(49.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 일요일(44.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비해 높은 값을 보였으며, 특히 주중과 일요일의 농도차가 크게 나타났다. 그러나 공업지역을 제외한 모든 지역은 토요일의 농도가

주중과 일요일에 비해 높은 농도를 보였다. 이에 대한 이유로 교통량의 증가에 의한 것인지에 대해서는 좀 더 검토가 요구된다. 일요일 농도도 녹지지역과 도로변지역을 제외하면 두 번째로 높은 농도를 보였다. PM<sub>2.5</sub> 경우를 보면, PM<sub>10</sub>과 마찬가지로 공업지역을 제외하고 토요일의 농도가 가장 높았다. 공업지역을 제외하면 주중과 주말의 농도가 크게 나타나지 않아 부산지역은 주중과 주말 관계없이 비슷한 농도를 나타낸다고 할 수 있다. 특히 상업지역과 주거지역은 주중과 일요일 농도가 동일하게 나타났다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비를 보면 공업지역과 도로변 지역의 일요일이 주중과 토요일에 높게 나타나는 경향이 있었고, 상업지역과 공업지역이 0.6정도로 비교적 높고 도로변 지역이 0.53정도로 비교적 낮은 경향이 있었다.

### 3.3. 부산지역 미세먼지의 기상현상별 농도 특성

Table 4는 2015년부터 2018년까지 4년간 연무(Haze), 박무(Mist), 연무와 박무(Haze+mist), 비(Rain), 황사(Asian dust) 그리고 기타(The others)의 경우에 대해 부산지역 도시대기(19개 지점)와 도로변 지역(2개 지점)에서 측정된 평균 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>농도 그리고 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비를 나타낸 것이다. 박무는 연무와 같이 시정이 10 km 미만이며, 상대습도가 75% 이상일 때를 말한다. 주로 연무와 박무가 함께 관측된 날은 새벽과 오전에 복사냉각에 의해 박무가 발생하고 일사에 의해 상대습도는 내려가나 시정의 회복이 늦어 연무로서 오전과 오후에 걸쳐 남아 있는 경우이다. 연무, 박무, 비, 황사 등의 기상현상은 부산지방기상청에 관측한 일별의 관측 자료에서 추출하였다. 연무의 경우는 관측일에 연무현상만이 있었던 날을 선정하였으며, 박무도 연무와 마찬가지로

**Table 4.** PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations for meteorological phenomenon of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observed in Busan for 4 years(2015 ~ 2018)

	PM <sub>10</sub>			PM <sub>2.5</sub>			PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio
	Urban	Roadway	Mean	Urban	Roadway	Mean	
Haze	66.6±18.6	73.0±19.4	67.2±18.8	43.1±13.4	41.9±12.2	43.0±13.3	0.64±0.12
Mist	49.0±15.4	57.5±16.9	49.8±15.8	29.8±10.2	31.5±10.3	30.0±10.2	0.61±0.14
Haze+Mist	62.3±15.6	69.8±16.9	63.0±15.9	41.2±11.3	41.4±11.3	41.3±11.3	0.66±0.12
Rain	36.4±16.1	42.6±17.6	37.0±16.3	21.8±11.2	22.4±11.2	21.9±11.2	0.59±0.17
Asian dust	119.6±39.7	128.3±38.4	120.5±39.6	36.8±10.9	37.3±11.3	36.8±11.0	0.33±0.12
Others	38.8±16.2	43.8±18.0	39.3±16.4	21.4±9.4	20.7±9.0	21.3±9.4	0.55±0.15

박무만이 있었던 날을 선정하였다. 연무+박무는 위에서 언급한대로 두 현상이 관측일에 연속적으로 발생한 날을 선정하였고, 비는 여러 현상(박무, 안개) 등이 동시에 있더라도 비를 우선적으로 선정하였으며, 황사도 여러 현상이 선·후에 있더라도 황사를 우선적으로 선정하였다. 기타는 대기 중의 물현상, 먼지현상, 빙현상 그리고 전기 현상이 없는 날의 경우를 말한다.

Table 4에서 보는 바와 같이, PM<sub>10</sub> 농도는 황사 발생일이 120.54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음으로 연무발생일이 67.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연무+박무 발생일이 63.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  그리고 비 발생일이 가장 낮은 37.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 도시대기 및 도로변으로 나누어도 위와 같은 순서를 나타내었으며, 도로변이 도시대기에 비해 5~9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  높은 농도를 보였다. PM<sub>2.5</sub> 농도는 PM<sub>10</sub>과는 달리 연무발생일이 43.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음으로 연무+박무 발생일이 41.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 황사발생일이 36.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 기타가 가장 낮은 21.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었다. 그리고 연무가 발생할 때 도시대기의 농도가 도로변보다 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  높은 나타내어 PM<sub>10</sub>과는 다른 결과를 보였다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 연무+박무 발생일이 0.66로 가장 높았고, 다음으로 연무 발생일이 0.64, 박무 발생일이 0.61이었고, 황사발생일이 가장 낮은 0.33이었다.

**3.4. 부산 지역 미세먼지의 환경기준초과일수 특성**

Table 5는 부산지역 2015년부터 2018년까지 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>농도의 기상현상별 일정이상 농도(환경기준)를 초과일수를 나타낸 것이다. PM<sub>10</sub>은 일평균 환경기준인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 사용하였고, PM<sub>2.5</sub>은 개정전의 환경기준인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 사용하였다. 먼저 PM<sub>10</sub>의 경우, 4년간 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는

23회로서 황사발생일이 16회( 69.6%)로 가장 높았으며, 다른 기상은 미미한 발생일수를 나타내었다. 그러나 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는 74회로서 연무발생일이 26회(35.1%)로 가장 높았으며, 다음이 황사발생이 18회(24.3%)로 두 번째이었다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는 54회로서 연무발생일 25회(46.3%)로 가장 높았으며, 다음이 연무+박무로서 15회(27.8%)로 그 다음이었다. 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는 무려 277회로 연무발생일 72회(26.0%)로서 가장 높았고 그 다음이 연무+박무발생일이 70회(25.3%)이었다. 따라서 PM<sub>10</sub> 고농도 발생은 황사와 연무발생시 우세한 비율을 보였으며, PM<sub>2.5</sub> 고농도발생은 연무발생일에 발생비율이 월등히 높은 것을 알 수 있다.

Table 6은 부산지역 2015년부터 2018년까지 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>농도의 계절별 일정이상 농도(환경기준)를 초과일수를 나타낸 것이다. PM<sub>10</sub>의 경우를 보면, 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는 황사가 발생한 봄철에 15회(65.2%)로 가장 높았으며, 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과는 황사 발생의 봄철에 39회(52.3%)로 가장 높았고, 그 다음이 연무현상이 발생한 겨울철에 26회(35.1%)이었다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과일수는 연무현상이 발생한 겨울철에 25회(46.3%)로 가장 높았고 다음으로 봄철이 15회(27.8%)로 두 번째이었다. 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과일수는 반대로 봄철이 100회(36.1%)로 가장 높았고, 다음이 겨울철이 84회(30.3%)이었고, 여름철과 가을철도 각각 18.4%와 15.2%를 나타내었다.

**3.5. 부산지역 도로변과 주거지역의 미세먼지 농도 특성**

Fig. 2는 부산지역 최근 4년간(2015~2018) 도로변 지점인 초량동과 인근의 주거지점인 수정동에서 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화 특성을 나타낸 것이다.

**Table 5.** Number of exceedances per the daily value for meteorological phenomenon of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations observed in Busan for 4 years(2015 ~ 2018)

	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>	
	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Haze	26(35.1)	2(8.7)	72(26.0)	25(46.3)
Mist	7(9.5)	-	33(11.9)	5(9.3)
Haze+Mist	7(9.5)	1(4.3)	70(25.3)	15(27.8)
Rain	5(6.8)	1(4.3)	51(18.4)	7(13.0)
Asian dust	18(24.3)	16(69.6)	11(4.0)	1(1.9)
Others	11(14.9)	3(13.0)	40(14.4)	1(1.9)
Total	74(100%)	23(100%)	277(100%)	54(100%)

**Table 6.** Number of exceedances per the daily value for season of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations observed in Busan for 4 years(2015 ~ 2018)

	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>	
	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Spring	39(52.3)	15(65.2)	100(36.1)	15(27.8)
Summer	3(4.1)	-	51(18.4)	9(16.7)
Fall	6(8.1)	2(8.7)	42(15.2)	5(9.3)
Winter	26(35.1)	6(26.1)	84(30.3)	25(46.3)
Total	74(100)	23(100)	277(100)	54(100)

도로변 지점인 초량동은 부산시 중앙대로 왕복 8차선(폭 30 m)으로부터 3 m 떨어진 지상에 설치되어 있으며, 주변 도로의 차량 통행에 의한 영향을 대변할 수 최적의 지점이라 할 수 있으며, 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. 먼저 도로변의 초량동 PM<sub>10</sub> 농도를 보면, 0700 LST 이후 급격한 증가를 보였고 1100 LST에 59.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대 농도를 나타내었으며, 이후 지속적으로 하강하는 추세를 보였다. 특히 1400 LST에 일시적으로 급격한 하강을 보였다. 주거지역인 수정동의 PM<sub>10</sub> 농도는 초량동에 비해 아침 출근시간대의 증가 추세가 완만하였으며 일중 최대농도는 초량동보다 1시간 늦은 12000 LST에 나타났다. 도로변 지역인 초량동이 주거지역의 수정동보다 모든 시간에 걸쳐 높은 농도를 보였으며, 특히 0800 LST부터 1300 LST까지 두 지점의 농도차가 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이었으며, 특히 가장 높은 농도차를 보인 시간대는 1000 LST로 15.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 초량동의 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변

화는 PM<sub>10</sub> 농도와 비슷한 경향을 보였으나 0700 LST 이후의 상승은 완만하였다. 특히 수정동은 일변화가 거의 없었으므로 주야간 농도의 편차가 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 변화폭이 큰 것으로 사료된다(Lee et al., 2006). 또한 초량동 PM<sub>10</sub> 최대농도 발생시간이 수정동보다 1시간 빠른 것도 이러한 이유로 보인다.

Fig. 3은 부산지역 2015년부터 2018년까지 4년간 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, 초량동은 토요일이 51.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 수정동은 월요일이 41.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 주중의 금요일에 각각 49.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 39.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. PM<sub>2.5</sub> 농도의 경우, 초량동은 월요일과 화요일에 26.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고,



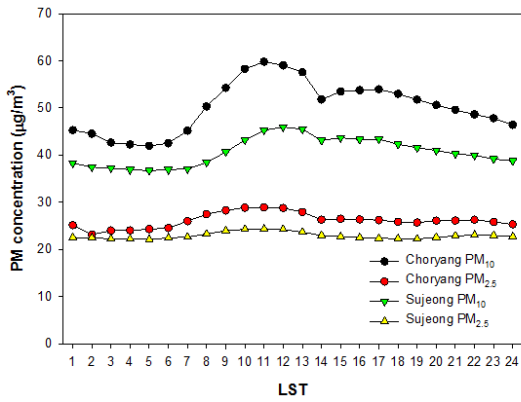


Fig. 2. Diurnal variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015~2018.

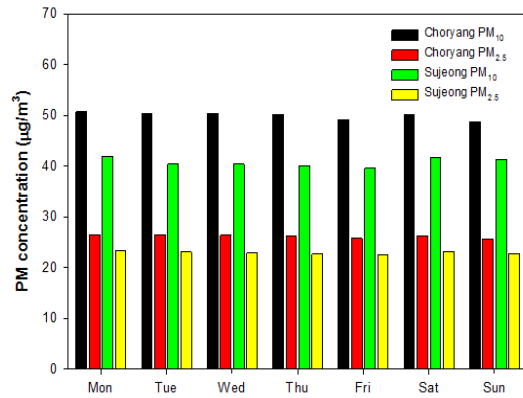


Fig. 3. Weekly variation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration at Choryangdong(roadside) and Sujeongdong(residential) for 2015~2018.

수정동도 월요일에 23.4 µg/m<sup>3</sup>로 가장 높은 농도를 나타내었다.

도로변과 주거지역의 농도차를 보면, PM<sub>10</sub>은 목요일에 10.1 µg/m<sup>3</sup>로 가장 큰 차이를 나타내었고, 일요일에 7.4 µg/m<sup>3</sup>로 가장 작은 농도 차이를 보였다. PM<sub>2.5</sub>은 요일별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 2.9 µg/m<sup>3</sup>(일요일)~3.6 µg/m<sup>3</sup>(목요일)의 분포를 보였다. 요일별 도로변과 주거지역의 농도 특성을 살펴보면, PM<sub>10</sub>의 경우 주중에는 8 µg/m<sup>3</sup> 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> 보다 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).

3.6. 부산지역 산악지점의 미세먼지 농도 특성

Fig. 4는 부산지역 산악지점의 특성을 파악하기 위해 최근 3년간 2015년부터 2017년까지 구덕산과 광복동에서 측정된 PM<sub>10</sub> 농도의 월변화, 일변화, 주중변화 그리

고 계절변화를 나타낸 것이다. 구덕산 기상관측소는 레이더를 이용하여 영남지방 및 주변해상의 비구름대를 실시간 관측하는 곳으로 해발고도 518 m에 위치하고 있으며, 동시에 부유분진측정기를 이용하여 황사관측망이 운영되고 있다. 구덕산의 농도 특성을 비교를 위해서 구덕산 관측소 바로 아래 해안선에 가까운 지점의 광복동(상업지역)을 선정하여 비교하였다.

먼저, Fig. 4(a)는 산악지점인 구덕산과 지상의 광복동의 PM<sub>10</sub> 농도 월변화를 나타낸 것이다. 두 지점의 월 평균 농도의 추세는 매우 유사한 패턴을 보여주고 있으며, 두 지점 모두 2015년 2월, 2016년 4월 그리고 2017년 5월에 비교적 높은 농도를 보였다. 두 지점의 농도 차이는 2016년과 2017년의 여름에 10 µg/m<sup>3</sup> 이하이었으나, 그 외는 모두 20 µg/m<sup>3</sup> 이상의 농도차이를 보여, 산악지역이 비교적 낮은 농도를 나타내었다. Table 1에서 보듯이 최근 4년간구덕산의 평균 PM<sub>10</sub> 농도는 29.6 µg/m<sup>3</sup>로 매우 낮은 농도를 보였다. Fig. 4(b)는 산악지점인 구덕산과 지상의 광복동의 PM<sub>10</sub> 농도 일변화를 나타낸 것이다. 구덕산은 1200 LST에 최고농도 37.8 µg/m<sup>3</sup>를 보였고 이후 급격히 하강하여 야간과 새벽에는 25 µg/m<sup>3</sup> 내외의 낮은 농도를 보였다. 지상의 광복동과는 0900 LST경과 2100 LST경에 농도차이가 크게 나타나 지상은 자동차 통행에 의한 영향을 받으나 구덕산은 산악지역이라 인위적인 오염원의 영향을 덜 받는 것으로 보인다.

Fig. 4(c)는 산악지점인 구덕산과 지상의 광복동의

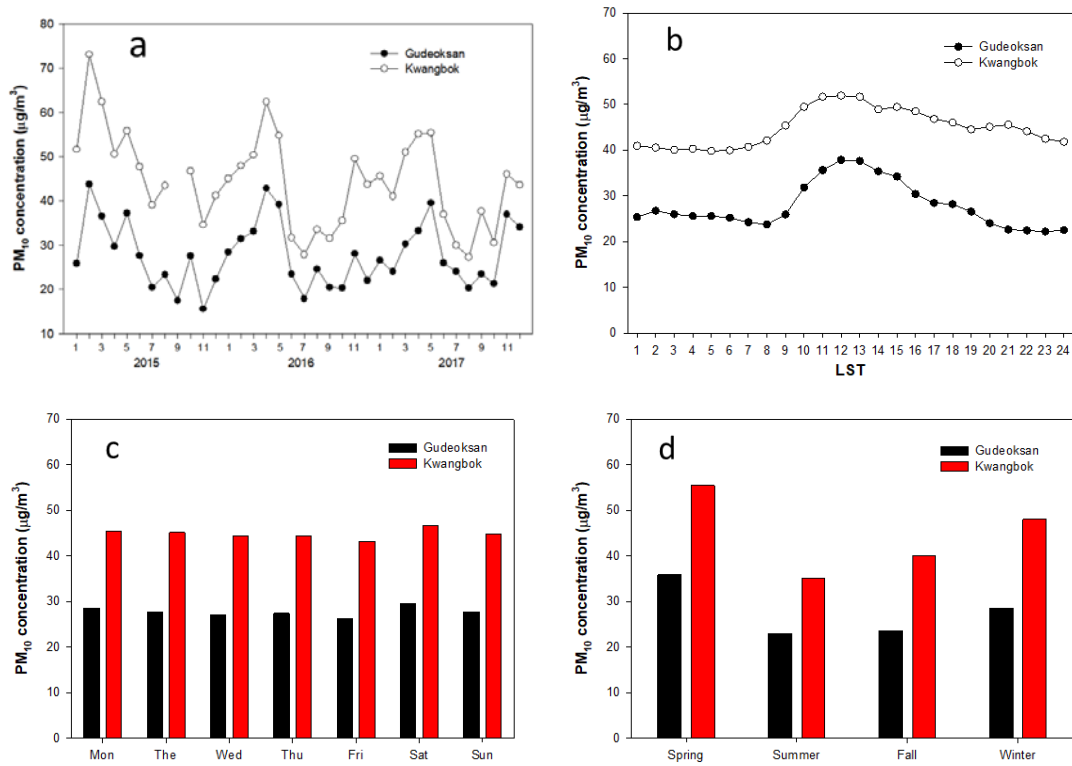


Fig. 4. Monthly variation(a), daily mean variation(b), weekly variation(c), and seasonal variation(d) of PM<sub>10</sub> concentration at Gudeoksan and Kwangbokdong for 2015~2017.

PM<sub>10</sub> 농도의 요일별 변화를 나타낸 것이다. 구덕산은 토요일이 29.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도를 보였고, 금요일이 26.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 농도를 보였다. 광복동은 토요일(46.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 가장 높은 농도를 보였지만 최저농도는 금요일(43.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 나타났다. 두 지점의 농도 차이는 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  내외로 요일별로 큰 차이가 없었다. Fig. 4(d)는 산악지점인 구덕산과 지상의 광복동의 PM<sub>10</sub> 농도의 계절별 변화를 나타낸 것이다. 구덕산은 봄철에 35.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도를 보였고, 여름철에 23.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 농도를 보였다. 광복동도 구덕산과 마찬가지로 봄철에 최고농도, 여름철에 최저를 타내었다. 두 지점의 농도 차이는 봄철과 겨울철에 19.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 높은 값을 보였고, 여름철은 12.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 작은 차이를 보였다.

#### 4. 결론

부산 지역 21개 모든 지점에서 2015년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 최근 4년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도 자료를 이용하여 미세먼지 특성을 체계적으로 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부산지역의 최근 4년간 PM<sub>10</sub> 평균농도는 44.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 매년 감소하는 추세를 보이고 있으며, 공업지역인 장림동과 학장동, 도로변인 초량동이 환경기준을 초과하였다. 최근 4년간 PM<sub>2.5</sub> 평균 농도는 25.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 PM<sub>10</sub>과 같이 매년 감소하는 추세를 보이고 있으나, 개정 이후의 대기환경기준인 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 훨씬 높은 농도를 보였으며, 연평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 0.58이었다.

2) 부산지역의 지역용도에 따른 계절별 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도를 보면, PM<sub>10</sub>은 봄철과 여름철이 도로변 지역, 가을철과 겨울철이 공업지역에서 가장 높았으며, PM<sub>2.5</sub>는

네 계절 모두 공업지역이 타 지역에 비해 높은 농도를 나타내었다.

3) 부산지역 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화를 보면, 일 중 최고농도와 최고농도를 나타낸 회수를 고려하여 3개의 type으로 분류할 수 있었고, PM<sub>10</sub>은 primary peak가 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하이고 secondary peak와의 차이가 크지 않는 사례가 10개 지점으로 가장 많이 발생하였고, PM<sub>2.5</sub>은 primary peak가 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하이고 오후나 야간에 secondary peak가 있는 사례가 12개 지점으로 가장 많이 발생하였다.

4) 부산지역 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 주중/주말 농도 특성을 지역용도별로 보면, PM<sub>10</sub>은 공업지역의 주중농도가 주말인 토요일과 일요일에 비해 높았고 공업지역을 제외한 모든 지역은 토요일의 농도가 주중과 일요일에 비해 높은 농도를 보였으며, PM<sub>2.5</sub> 역시 PM<sub>10</sub>과 마찬가지로 공업지역을 제외하고 토요일의 농도가 가장 높았다.

5) 부산지역 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>농도를 기상현상별로 보면, PM<sub>10</sub>은 황사 발생일이 가장 높았고, 다음으로 연무발생일, 연무+박무 발생일, 그리고 비 발생일이 가장 낮았으며, PM<sub>2.5</sub>는 PM<sub>10</sub>과는 달리 연무발생일이 가장 높았고, 다음으로 연무+박무 발생일, 황사발생일 순이었다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 연무+박무 발생일이 가장 높았고, 다음으로 연무 발생일, 박무 발생일, 황사발생일이 가장 낮았다. 기상현상별 환경기준 초과일수를 보면, PM<sub>10</sub>은 황사발생일이 가장 높았고, PM<sub>2.5</sub>는 연무발생일이 가장 높았다.

6) 부산지역 도로변과 인근 주거지역에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 일변화 특성을 보면, PM<sub>10</sub>은 주거지역의 최고농도 발생시각이 도로변보다 1시간 늦은 1200 LST에 나타났으며, 도로변이 주거지역보다 모든 시간에 걸쳐 높은 농도를 나타내었으며, PM<sub>2.5</sub>는 주거지역이 도로변에 비해 일변화 경향이 나타나지 않았다.

7) 부산지역 도로변과 주거지역인 요일별 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도를 보면, PM<sub>10</sub>은 도로변이 토요일에, 주거지역은 월요일에 가장 높았고, 두 지점 모두 금요일에 가장 낮았다. PM<sub>2.5</sub>는 도로변이 월요일과 화요일에 가장 높았고, 주거지역이 월요일에 가장 높은 농도를 나타내었으며, 도로변은 일요일에 주거지역은 금요일에 가장 낮은 농도를 나타내었다.

8) 부산지역 산악지점(구덕산)과 지상(광복동)의

PM<sub>10</sub> 농도를 보면, 월평균 농도는 지상과 유사한 패턴을 보여주었고 산악지역이 낮은 농도를 나타내었다. 산악지역은 지상 지점과 비해 0900 LST경과 2100 LST경에 농도차이가 크게 나타나 인위적인 오염원의 영향을 덜 받는 것으로 나타났으며, 두 지점 모두 토요일에 가장 높은 농도를 보였고, 계절별 농도 차이는 봄철과 겨울철에 높았고 여름철이 작았다.

9) 이러한 부산지역에서 장기간의 미세먼지 특성 분석과 체계적 평가는 향후 부산지역 미세먼지의 효율적인 관리와 개선방안 제시에 통찰력을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Bai, N., Khazaaci, M., van Eeden, S. F., Laher, I., 2007, The pharmacology of particulate matter air pollution-induced cardiovascular dysfunction, *Pharmacol. Ther.*, 113, 16-29.
- Cahill, T. A., 1996, Climate forcing by anthropogenic aerosols: the role for PIXE, *Nucl. Inst. Methods Phys. Res.*, B109-110, 402-406.
- Duan, J., Tan, J., 2013, Atmospheric heavy metals and arsenic in China: situation, sources and control policies, *Atmos. Environ.*, 74, 93-101.
- Hyslop, N. P., 2009, Impaired visibility: the air pollution people see, *Atmos. Environ.*, 43, 182-195.
- Jacobson, M. Z., 2001, Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols, *Nature*, 409, 695-697.
- Jeon, B. I., 2003, Characteristics of spacio-temporal variation for PM<sub>10</sub> concentration in Busan, *Korean Environ. Sci. Soc.*, 12, 1033-1041.
- Jeon, B. I., 2010, Characteristics of spacio-temporal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan, *Korean Environ. Sci. Soc.*, 19, 1013-1023.
- Jeon, B. I., 2018, Characteristics of fine particles at roadside and urban residential locations in Busan, *Korean Environ. Sci. Soc.*, 27, 577-586.
- Jeon, B. I., Hwang, Y. S., 2014, Characteristics of weekday/weekend PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations at Busan, *Korean Environ. Sci. Soc.*, 23, 1241-1251.
- 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.
- 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.
- Tan, J., Duan, J., He, K., Ma, Y., Duan, F., Chen, Y., Fu, J., 2009, Chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> during a typical haze episode in Guangzhou, *Environ. Sci.*, 21, 1-8.
- 
- Professor. Byung-II Jeon  
Department of Chemical Engineering, Silla University  
bijeon@silla.ac.kr