광양지역의 미세먼지(PM10) 특성 분석

이상득† · 이상준* · 박수호** · 곽필정

㈜상원 · *동신대학교 건축공학과 · **전남대학교 환경시스템공학과

(2018년 10월 3일 접수, 2018년 10월 23일 수정, 2018년 10월 30일 채택)

On the Characteristics Analysis of PM10 Concentrations in Gwangyang-Area

Sang-Deug Lee† · Sang-Jun Lee* · Soo-Ho Park** · Pil-Jeong Gwak

Sangwoen Co., Ltd.

**Department of Architecture Engineering, Dongshin University*

***Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University*

(Received 3, October 2018, Revised 23, October 2018, Accepted 30, October 2018)

Abstract

In order to investigate the characteristics of PM10 in Gwangyang area, this study analyzed data of the air quality measuring station in Gwangyang area operated in Jeollanam-do. By using the hourly data collected for 5 years (2012~2016), the study examined the characteristic of the concentration measured yearly, monthly, hourly, and by the measurement sites. Moreover, the study explored the generation characteristics and the weather conditions of high concentration PM10 of 80 ㎍/㎥ or more. As a result, the concentration of PM10 exceeded the national air quality standard of 50 ㎍/㎥ as 50.4 ㎍/㎥ and 50.6 ㎍/㎥ in the phase from 2014 and 2015, respectively. The yearly change of PM10 concentration is gradually decreasing from 2014, but it is increasing in the main source such as Middle East and Taein-dong. In addition, it shows higher concentration distribution than the average value in Jinseang and Gwangyang-eup observatories located in the downwind region of the main source. The high concentrations of PM that appear in spring and winter are considered to be influx from the outside due to the influence of wind. The high concentration of PM in summer is caused by the secondary air pollutants generated by the photochemical action of air pollutants generated in the main source.

Keywords : Yellow dusy, PM10 concentration, Meteorological parameters, Synoptic, Spatial comparison, Gwangyang Area

1. 서 론

2017년 5월에 출범한 새정부는 미세먼지 문제해결을 최우선 과제로 설정하였으며, 임기 내에 국내 미세먼지 배출량 30% 감축 추진, 강력하고 촘촘한 미세먼지 관리대책 수

†Corresponding author E-mail: mokpo2484@hanmail.net

립, 미세먼지 대책기구설치, 한중 정상외교의 주요의제로 미세먼지 대책 등을 공약사업으로 추진하고 있다[1].

이러한 정부의 강력한 의지와 지속적인 미세먼지 감축 노력에도 불구하고 실질적인 대기질 개선은 미비하고, 실제 배출원에서의 배출량은 일정함에도 최근 들어 고농도 미세먼지가 빈번히 발생하고 있어 그 발생 기작에 대한 규명이 필요하다. 우리나라는 1993년부터 PM10을 대기환경 기준 물질로 채택하여 규제하고 있으며, PM10의 대기환경 기준 농도는 연평균 50 ㎍/㎥, 일평균 100 ㎍/㎥이며, PM2.5는 연평균 15 ㎍/㎥, 24시간 평균 35 ㎍/㎥로 미국과 일본의 기준과 동일한 수준이다.

대기 중에 부유하고 있는 입자상 대기오염물질은 크게 초미세먼지 (PM2.5)와 미세먼지 (PM10)로 구분되며, 공기역학적 지름이 각각 2.5 ㎛, 10 ㎛ 이하의 먼지를 의미한다[2]. 입자상오염물질은 발생원에서 직접 배출되는 1차 대기오염물질과 대기에서 반응하여 생성되는 2차 대기오염물질로 구분된다. 일반적으로 지름이 2.5 ㎛보다 큰 먼지는 마찰 등의 기계적인 기작에 의해 생긴다고 알려져 있다. 1차 입자상 대기오염물질은 화력발전소, 화학공장, 공사장 등에서 직접 배출되는 물질을 말하며, 비산먼지, 화산재, 황사, 자동차 브레이크 마모 먼지가 대표적인 예이다. 이들은 모두 1차 대기오염물질이다. 지름이 2.5 ㎛보다 작은 초미세먼지는 이와는 다르게 일반적으로 화학반응에 의해 형성된다고 알려져 있다 3) 경유자동차 엔진 연소에서 생기는 검댕 (1차 대기오염물질)이나 대기에서 기체상 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 휘발성유기화합물VOCs) 등이 반응해서 생기는 황산염 입자와 질산염 입자, 2차 생성 유기 미세먼지가 2차 대기오염물질의 대표적인 사례이다[3].

미세먼지가 인체에 미치는 영향은 노출 농도와 시간에 따라 다르게 나타나고 있으나, 그 영향이 매우 광업위하다. 대기 중에 유해 중금속과 산성산화물, 유기오염물질, 기타 화합물질과 쉽게 반응을 일으킬 뿐 아니라 대기 중에 있는 박테리아, 바이러스 등의 미생물을 운반하기도 한다[4]. 또한, 호흡을 통해 폐포에 축적되어 염증과 폐질환을 일으키기도 하고, 혈관에 흡착되어 심혈관 기관에 영향을 초래한다. 따라서, 심혈관, 뇌혈관, 호흡기 질환 및 암 발생 위험성이 매우 높은 침묵의 살인자 1급 발암물질로 알려져 있다[5].

조태진 등[6]은 제철소 주변의 대기 중 미세먼지 및 중금속 농도에 관한 연구에서 광양지역의 미세먼지(PM2.5, PM10) 조사에서 광양공단에서 배출되는 미세먼지에서 다량의 중금속(Cd, Cr, As, Pb)이 포함되어 있으며, 대구지역의 3년간 PM10 농도와 기상자료를 이용하여 대구지역에서 PM10의 농도 경향은 꾸준히 감소하다가 2008년 기상요인 즉, 연무일수 증가로 인해 고농도 발생횟수가 증가한 것으로 파악되었다[7].

PM10은 대부분의 지역에서 1990년말까지 큰 감소폭을 보이다가 2000년 이후에는 낮은 감소 추세를 보이고 있다. 이미 상당히 높은 PM10 수준을 보이는 포천, 평택, 당진, 서산, 동탄, 천안지역에서 2000년부터 다시 두드러진 증가 추세를 보이고 있다. 전국 대부분의 지역에서 NO2는 낮은 수준이기는 하지만 감소 추세를 보이며, 중부, 호남, 영남의 교외지역은 2000년 이후에 정체되거나 미약한 증가 추세를 보이고 있다[8].

강병욱 등[9]은 충주시에 대한 초미세먼지에 대한 배출원 기여도는 황산암모늄>질산암모늄>가솔린 자동차>식물연소>산업용 보일러>디젤 자동차 등의 순으로 높게 나타났으며, 수도권이나 중국 등의 외부지역에서 배출된 대기오염물질이 중, 장거리 이동에 의해 충주시에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다고 하였다.

이와 같이 미세먼지는 기상조건에 따라 장거리 이동, 화학 변환에 의한 2차 생성, 대기 침적량 등이 영향을 받아 고농도 미세먼지를 초래하므로, 발생원과 발생량이 많고 복잡한

지형으로 형성된 광양지역의 고농도 미세먼지 발생 현상을 규명하는데 반드시 기상학적인 자료 분석이 필요하다.

따라서, 본 연구는 다량의 배출원과 복잡한 지형으로 형성된 광양지역의 미세먼지 메카니즘을 규명하고, 고농도 미세먼지(80 ppb 이상)가 출현하는 특정일에 대한 측정소별 출현빈도를 조사하여 이를 기반으로 기상조건이 고농도 미세먼지 생성에 영향을 고찰하였다.

2. 대상지역 및 분석자료

2.1. 대상지역

전남 광양지역은 동쪽에는 남해도, 서쪽에는 여수반도 사이에 위치하며, 북쪽에는 백운산(1,222 m)과 남쪽에는 광양만으로 형성된 지형적인 특징을 지니고 있다. 또한 광양공단, POSCO 광양제철, 하동 한국남부발전 등에서 미세먼지, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 휘발성유기화합물(VOCs)이 타 지역에 비해 다량으로 배출되고 있다. 이로 인해 고농도 미세먼지의 출현빈도가 높고, 미세먼지 성분도 복잡하게 구성되는 지역적인 특징이 있다. 광양지역의 대기질을 측정하고 관리하기 위해서 전남도에서는 광양읍, 중동, 태인동, 진상에 상시 대기질 측정소를 설치하여 실시간 대기질 정보를 시민에게 제공하고 있다.

Fig. 1은 연구대상지역과 대기질 상시관측소인 광양읍, 중동, 태인동, 진상 및 광양 기상관측소를 각각 나타낸 것이다.

2.2. 측정자료

본 연구에서 이용한 자료는 최근 5년간(2012~2016) 측정한 시간별 대기질 자료이며, 연평균, 월평균, 일평균 등으로 농도특성을 분석하였다. 분석에 사용한 자료는 유효측정값의 처리비율 1일 20시간(80%) 이상 존재한 자료를 유용한 자료로 판단하여 활용하였으며, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속 등을 분석하

Fig. 1. Region of Gwangyang City and Air quality monitoring stations and Meteorological administration.

였다. 5년간의 대상일 중 일 누적강수량 5.0 ㎜이상 발생일은 분석에서 제외하였다. 강우발생 일에는 대기오염물질의 세정작용(Washout)이 우세하여 초기강우 이후에는 대기 중 미세먼지 농도가 현저히 낮게 나타나는 특징이 있다. 따라서 본 연구에서는 초기 강우량을 5.0 ㎜로 설정하였으며, 일 누적강우량이 초기강우량인 5.0 ㎜ 이상으로 발생한 날은 대상 일에서 제외하였다.

또한, 우리나라의 미세먼지농도는 계절별 기단의 위치에 따라 중국과 몽골로부터 유입되는 황사에 의해 많은 영향을 받고 있다. 특히 봄철의 고농도 미세먼지는 대부분이 황사의 영향이라고 할 수 있을 정도이다[10]. 그러나 본 연구와 같이 특정지역의 미세먼지에 대한 연구를 할 경우에는 황사의 영향이 있을 경우와 없을 경우를 분리해서 다룰 필요가 있다.

Table 1은 최근 5년간(2012년~2016년) 광양지역의 황사 발생 일을 조사하여 나타낸 것으로, 총 23일이 발생하였다(기상청 국가기상종합정보센터[11]).

3. 미세먼지(PM10)의 일반적인 특징

Table 1. Yellow dust occurrence day in Gwangyang Area for five years(2012~2016).

Year	Yellow dust occurrence day	Total
2012	11.28-29	2
2013	1.1-2, 3,1	3
2014	1.1, 3.18-19, 5,26-28	7
2015	2.22-23, 3,1-2, 3.21-22	6
2016	4.9, 4.23-25, 5-7	5
Total		23

3.1. 미세먼지의 연변화 특성

Table 2와 Table 3은 광양지역의 황사발생일과 비황사발생일의 측정소별 PM10 농도의 연변화를 나타낸 것이다. 황사가 유입된 미세먼지 농도의 연변화을 보면, 2014, 2015년의 진상에서 50.4 ㎍/㎥, 50.6 ㎍/㎥으로 연간 국가대기환경 기준인 50 ㎍/㎥를 초과하고 있다. Fig,2는 황사가 유입된 날과 유입되지 않은 날의 측정소별 평균값을 연도별로 나타낸 것이다. 2014년도에 황사일과 비황사일을 평균한 PM10 농도가 가장 높게 나타나고 있으나, 황사일과 비황사일의 농도차이는 2016년도에 2016년도에 1.6 ㎍/㎥, 2015년도에 1.2 ㎍/㎥, 2014년도에 1.1 ㎍/㎥, 2013년도에 0.6 ㎍/㎥, 2012년도에는 0.3 ㎍/㎥로 광양지역의 대기질의 변화는 황사유입에 의해 점점 악화되는 것을 알 수 있다. 중국과 몽골에서 계절풍을 따라 유입되는 황사는 인위적으로 저감할 수 없는 사항이므로 환경기준달성여부를 판단할 때 황사 발생일을 제외하자는 의견도 제시되고 있는 실정이다. 따라서 광양지역은 황사를 제외하면, 연평균대기환경기준을 모든 측정소에서 달성하고 있다.

Fig. 3은 각 측정소에서의 년도별 PM10 농도의 변화를 나타낸 것이며, 2014년을 기점으로 PM10 농도가 낮아지고 있으나, 발생원에 근접한 중동에서는 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 발생원과 비교적 먼 거리에 위치한 진상과 광양읍 관측소에서 평균값 이상의 농도분포를 나타내고 있으며, 이는 기상적인 원인과 지형적인 원인에 기인한 것으로 사료되며, 기상조건과 지형조건을 고려한 예측모델 조사에 의한 메카니즘을 규명할 필요가 있다고 생각된다.

Table 2. Annual mean PM10 concentration (㎍/㎥) in Gwangyang Area between 2012 and 2016.

(㎍/㎥)

	2012	2013	2014	2015	2016
GY	43.3	47.5	42.9	36.7	36.8
JD	35.8	37.7	30.4	38.1	41.1
JS	40.2	50.4	50.6	47.9	44.9
TI	42.6	48.5	45.0	44.9	43.7
Mean	40.5	46.0	42.2	41.9	41.6

Table 3. Annual mean PM10 concentration (㎍/㎥) in Gwangyang Area between except Yellow dust day(2012-2016).

(㎍/㎥)

	2012	2013	2014	2015	2016
GY	43.1	46.8	41.8	35.5	34.9
JD	35.5	37.1	29.6	36.8	39.3
JS	39.8	49.8	49.4	46.9	43.3
TI	42.2	48.1	43.6	43.6	42.2
Mean	40.2	45.4	41.1	40.7	39.9

3.2. 미세먼지(PM10)의 월변화 특성

Fig. 4는 황사 발생일을 제외한 광양지역의 측정소별 PM10 월변화를 나타낸 것이며, 5월에 54.0 ㎍/㎥으로 가장 높았고, 다음으로 3월이 50.0 ㎍/㎥ 이었으며, 9월이 32.8 ㎍/㎥, 10월이 33.2 ㎍/㎥으로 가장 낮은 평균농도를 나타내고 있다. 5월과 3월은 황사에 의한 영향과 기상학적인 원인에 의해 높은 농도를 나타내고, 8월부터 10월까지는 강수에 의한 세정작용과 대기 불안정으로 먼지가 많이 확산되기 때문이라고 생각된다. 황사를 포함한 경우를 보면, 5월에 56.5 ㎍/㎥, 3월에 53,2 ㎍/㎥로 2,5 ㎍/㎥와 3.2 ㎍/㎥ 각각 농도차이를 보이고 있다.

3.3. 미세먼지(PM10)의 계절별 특성

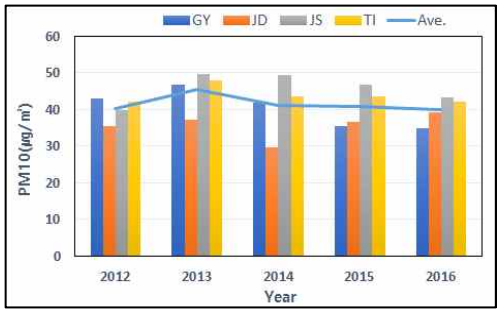

Fig. 3. Comparison of annual average concentrations of measurement sites.

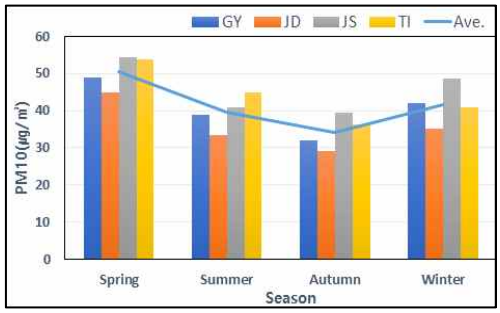

Fig. 5. Seasonal variation of PM10 concentration by measurement sites.

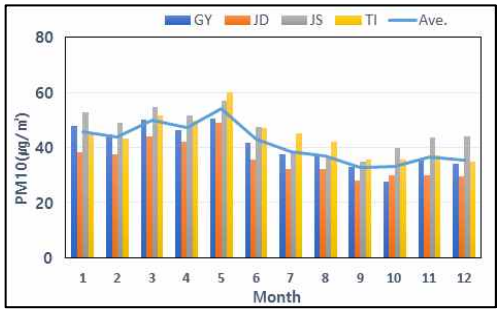

Fig. 4. Monthly variation of PM10 concentration by measurement sites.

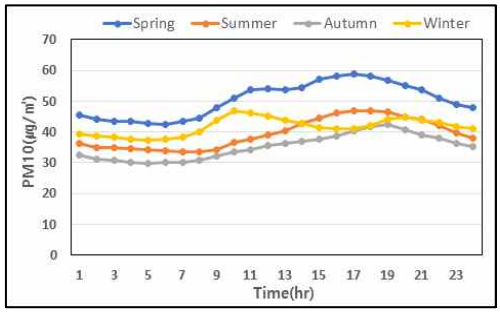

Fig. 6. Time series change of PM10 concentration by season.

Fig. 5는 광양지역의 측정소별 미세먼지(PM10)의 계절변화(봄 3~5월; 여름 6~8월; 가을 9~11월; 겨울 12~2월)를 나타낸 것이다. 봄철(50.5 ㎍/㎥)로 가장 높았고, 겨울철(41.7 ㎍/㎥), 여름철(39.2 ㎍/㎥), 가을(34.2 ㎍/㎥) 순으로 나타나고 있다. 봄철, 겨울철은 외부에서 유입되는 황사의 영향으로 높은 농도를 나타내었고, 여름, 가을은 비슷한 농도분포를 나타내었다. 봄철은 진상>태인동>광양읍>중동 순이었으며, 여름철은 태인동>진상>광양읍>중동, 가을철은 진상>태인동>광양읍>중동, 그리고 겨울철은 진상>광양읍>태인동>중동 순으로 나타났다.

태인동과 중동은 발생원이 집중되어 있는 지역이며, 광양읍과 진상은 발생원의 풍하지역에 위치한 공간적인 특징이 있다.

3.4. 미세먼지(PM10)의 일변화 특성

Fig. 6은 광양지역의 4개 측정소의 계절별 일변화를 나타낸 것이다. 일변화 경향은 계절별로 큰 차이를 보이지는 않으나, 겨울철에 11시에 최고농도가 되고, 점점 감소하다가 17시부터 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 봄철이 가장 높은 농도를 나타내고, 가을철에 가장 낮은 농도 분포를 하고 있다. 봄철의 경우, 6시에 최소값을 나타내고, 점차 증가하여 17시에 최대값을 나타내었으며 이후 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

여름철과 가을철의 경우, 봄철의 일변화와 거의 유사한 경향을 보이고 있으며, 겨울철의 경우에는 농도의 일변화가 타 계절에 비해 작고, 10시에 최고농도를 나타내었다. 여름철에 일변화가 작은 원인은 강수와 지표가열에 의한 혼합층 고도가 다른 계절에 비해 높아 상하혼합이 활발해지기 때문이다. 가을철의 경우, 5시에 최소농도, 19시에 최대농도를 보여 봄철과 매우 유사한 일변화의 경향을 나

Table 4. Occurrence day of high fine particle day except Yellow dust (2012~2016).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
GY	10	6	10	3	8	3	3	1	0	1	0	2	47
JD	2	4	7	2	7	1	0	0	0	1	0	2	26
JS	10	8	16	7	16	5	2	1	0	1	1	7	74
TI	7	8	16	4	22	3	4	2	0	3	0	3	72
Total	29	26	49	16	53	12	9	4	0	6	1	14	219

타내고 있다.

3.5. 기상학적인 특성

Fig. 7은 월별 평균농도와 기상인자 중 PM10농도 형성에 직접적으로 상관성이 있는 강수량(precipitation), 일사량(solar radiation), 풍속(wind speed)의 월별 변화특성을 각각 나타낸 것이다. 전반적으로 일사량(SR)은 3~5월, 8월에서, 강수량은 7~8월에서 가장 많은 양이 관측되었고, 풍속은 5~8월에서 2.5 m/s 이하로 비교적 약한 풍속이 유지되고 있다. 풍속은 2차 미세먼지 생성과 축적에 관련된 기상학적으로 매우 귀중한 요인 중의 하나이다. 특히, 고농도 미세먼지의 출현빈도 높은 특정일의 풍향은 대부분 광양만에서 불어오는 남풍계열의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

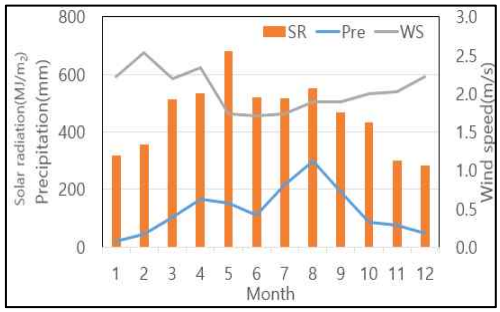

Fig. 7. Relationship between monthly PM10 concentration and weather.

4. 고농도 미세먼지(PM10)의 발생 특징

4.1. 고농도 미세먼지 발생일

미세먼지(PM10)에 대한 환경부 24시간 대기환경기준을 토대로 일평균 100 ㎍/㎥을 초과한 날을 고농도 발생일로 산정하는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 일평균 80 ㎍/㎥ 초과한 날을 고농도 발생일로 산정하여 분석을 실시하였다.

환경부는 2018년 3월부터 미세먼지(PM2.5) 환경기준을 일평균 50 ㎍/㎥에서 35 ㎍/㎥, 연평균농도를 25 ㎍/㎥에서 15 ㎍/㎥로 강화하여 미국, 일본과 동일하게 하였다. 따라서, 본 연구에서도 PM10 일평균농도의 80% 이상이 되는 80 ㎍/㎥ 이상으로 산정하였다.

Table 4는 5년간 월별 고농도 미세먼지 발생일을 나타낸 것이며, 총 누적 초과횟수는 광양읍에서 47(21.5%)회, 중동에서 26(11.9%)회, 진상에서 74(33.8%)회, 태인동에서 72(32.9%) 회로 총219회 출현하였으며, 주로 진상과 태인동에서 3월과 5월에 출현빈도가 높게 나타났다. 월별로 고찰하면, 5월(53회)과 3월(49회)로 50%정도 출현빈도가 높으며, 9월에는 출현빈도가 없었다. 특히, 봄철(3월, 4월, 5월)에 118일(53.9%)이 발생하여 가장 높았으며, 가을철(9월, 10월, 11월)에 가장 낮은 빈도(3.2%)를 보였다. 따라서 광양지역의 고농도 미세먼지 발생은 황사를 제외하고도 봄철에 가장 높아, 이에 대한 관리방안이 강구되어야 할 것으로 생각된다. 봄철 고농도 미세먼지 발생일이 황사시작 전날과 종료 다음날의 경우가 상당수 있었는데, 이는 황사에 의한 잔류먼지가 남아 있는 경우라고 할 수 있다.

Fig. 8은 고농도 미세먼지 발생일의 PM10 농도의 월변화를 나타낸 것이며, 2월, 3월, 5

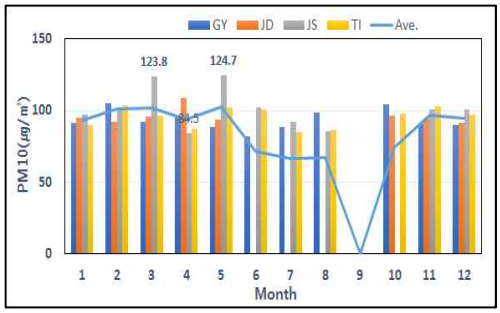

Fig. 8. Monthly series change of high concentration of PM10.

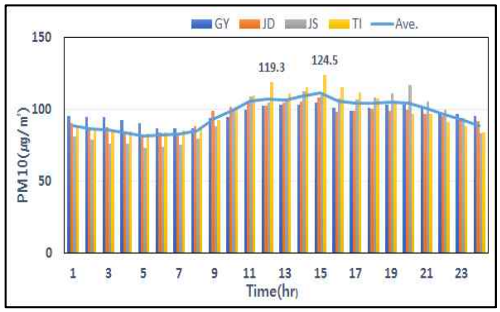

Fig. 9. Time series change of high concentration of PM10.

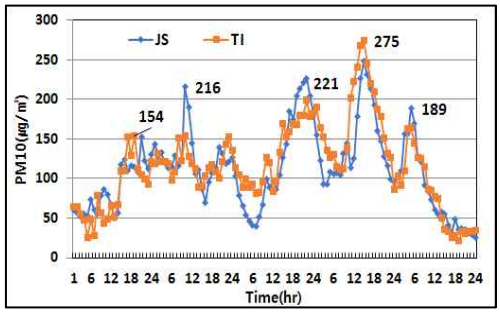

Fig. 10. PM10 concentration change in spring (2012. 3.6~3.11)

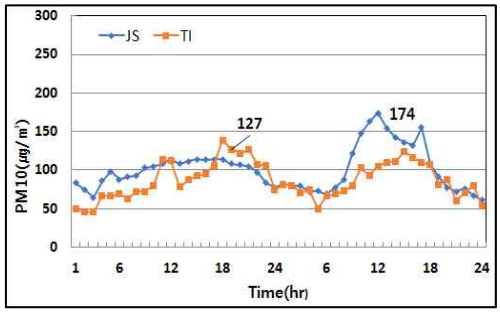

Fig. 11 PM10 concentration change in summer (2015. 6.12- 6.13).

월에 100 ㎍/㎥이상의 높은 농도를, 8월, 9월에 낮은 70 ㎍/㎥, 그리고 9월에는 평균농도가 0을 나타내고 있다. 이것은 앞에서도 언급했듯이 강수에 의한 세정작용의 영향이며, 9월의 경우는 매우 특이한 현상이라고 사료된다. 특히, 6월부터 9월까지 발생원에 근접한 중동에서 고농도 미세먼지가 출현되지 않은 것에 대해서는 앞으로 심도 있는 조사가 필요하다고 사료된다.

Fig. 9는 광양지역의 고농도 미세먼지가 출현한 날의 일평균 농도 경향을 나타낸 것이다. 일변화는 측정소별 큰 차이를 보이고 있지 않으며, 5시에 최소농도를 나타내고, 점차 증가하여 15시에 최대농도를 각각 나타내고 있으며, 이후 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. 측정소별로는 대체적으로 미세먼지 발생량이 많은 태인동과 중동에서 11시에서 16까지 높은 농도분포를 나타나고, 저녁시간대인 16시에서 22시까지는 진상과 광양읍에서 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

4.2. 고농도 지속시간

광양지역의 고농도 PM10의 생성 메카니즘을 규명하기 위하여 봄철과 여름철의 지속되는 농도 패턴을 분석하였다. Fig. 10은 2013년 3월6일부터 11일까지 5일간 진상과 태인동의 시간별 PM10 농도분포를 나타낸 것이다. 시간별 농도변화는 두 지점에서 유사하게 나타나고 있으나, 태인동 지역에서 1~2시간 빠른 시간에 높은 농도값을 나타나고 있다. 18시를 전후로 일중 최고농도, 새벽 5시에 최저농도를 나타내고 있고 있으며, 최고 농도값은 태인동에서 4일째 16시에 275 ㎍/㎥ 이다.

Fig. 11은 2015년 6월12일부터 13일까지 2일간 진상과 태인동의 시간별 PM10 농도분포를 나타낸 것이며, 첫째날은 태인동에서, 그리고 둘째날은 진상에서 높은 농도값을 보

이고 있다.

주간에 고농도가 발생하고 야간에 감소하는 일변화 패턴을 나타내고 있으며, 광화학반응에 의한 2차 생성물에 기인하여 고농도의 미세먼지가 출현했다고 사료된다. 미세먼지에 대한 피해는 농도와 노출시간에 따라 상이하게 다르므로, 오랜 시간 지속될 때를 대비하여 상응하는 긴급조치가 취할 수 있도록 미세먼지 경보 체계를 확립하는 것이 매우 중요하다.

4.3. 기상적인 특징

고농도 미세먼지(PM10)와 기상과의 관계를 알아보기 위해 최근 5년(2012~2016) 동안 80 μg/㎥ 이상의 농도가 출현한 특정일의 온도, 상대습도, 풍속 자료를 분석하였다.

Fig. 12~14는 봄철, 여름철, 겨울철의 PM10의 시간별 평균농도, 온도, 습도, 그리고 풍속을 각각 나타낸 것이다. 봄철의 낮시간에 풍속의 증가와 함께 미세먼지 농도가 높아지는 것은 외부유입 요인으로 판단되며, 풍속이 약해질수록 대기정체로 인한 미세먼지의 농도가 높아지는 경향을 보이고 있다. 상대습도는 41~65%이며, 야간에 높고 주간에 낮아지는 비교적 건조한 상태이며, 온도는 8℃에서 18℃로 10℃ 차이의 일교차를 보이고 있다. 봄철의 고농도 미세먼지 발생원인은 건조하고 큰 일교차, 3 m/s 이하의 약한 대기상태에서 발생하며, 이는 일교차에 의한 야간 안정층 내에서 대기확산이 약화되어 미세먼지 농도가 높게 나타나고 있다. 여름철의 경우, 온도는 21℃에서 27℃, 습도는 67%에서 92%, 풍속은 2.5 m/s 이하에서 발생하며, 온도가 상승하고 습도가 내려가는 8시부터 PM10 농도가 상승하는 경향을 보이고 있으며, 상대습도 65%, 12시에서 일중 최고농도 값을 나타내고 있다. 겨울철 경우에는 온도가 6℃에서 12℃, 습도는 50%에서 70%, 풍속은 3n/s 이하에서 고농도 PM10이 발생되고 있다.

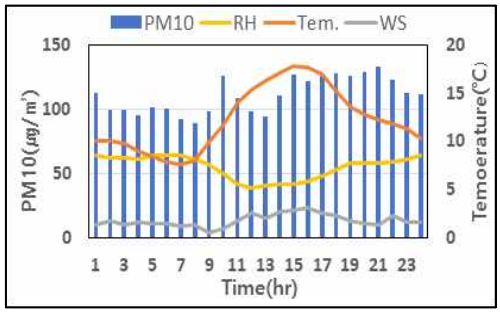

Fig. 12. Relationship between temperature, humidity, wind speed and the high concentration of PM10 in spring(2012-2016).

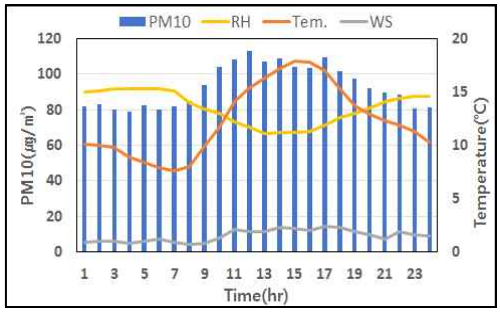

Fig. 13. Relationship between temperature, humidity, wind speed and the high concentration of PM10 in summer(2012-2016).

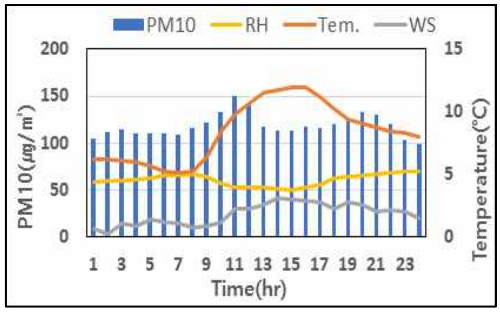

Fig. 14. Relationship between temperature, humidity, wind speed and the high concentration of PM10 in autumn(2012-2016).

광양지역의 대기질 측정소는 광양기상대를 중심으로 광양읍은 북서방향으로 약 12.0 km, 중동은 남동방향으로 0.3 km, 태인동은 동쪽으로 3.0 km, 그리고 진상은 북쪽으로 5.0 km 떨어진 위치에 있다. 그리고 대기오염물질 배출원과의 관계에서 광양읍 측정소는 여수국

가산단과 콘테이너 부두의 풍하측(downwind direction), 중동은 콘테이너부두와 POSCO 광양제철의 풍하측, 태인동은 광양공단, POSCO 광양제철, 하동남부발전의 풍하측, 그리고 진상은 콘테이너부두, 광양산단, POSCO 광양제철, 하동남부발전의 풍하측에 각각 설치되어 있다. 광양지역의 고농도 PM10농도가 발생되는 풍속은 3 m/s 이하이며, 풍향은 남풍계열에서 출현빈도가 높았다.

NOx, SOx, VOCs 다량으로 배출되는 태인동은 이들 물질의 광화학반응에 의해 생성된 2차 미세먼지에 의해 여름철의 미세먼지 농도가 높게 나타나는 것으로 예측된다.

5. 결 론

광양지역의 미세먼지(PM10)의 특성을 규명하기 위해 전라남도 보건환경연구원에서 운영 중인 광양지역 대기질 측정소의 최근 5년(2012~2016)간 시간별 자료를 사용하여 년도별, 월별, 시간별, 측정소별 농도 특성과 80 ㎍/㎥ 이상인 고농도 PM10에 대한 생성특성과 기상조건에 대해 고찰하였다.

1) 광양지역의 PM10 농도의 생성특성을 알아보기 위해 황사가 유입되는 날과 유입이 없었던 날로 구분하여 연평균 농도는 분석하였다. 황사를 고려한 결과, 2014, 2015년에 진상에서 50.4 ㎍/㎥, 50.6 ㎍/㎥으로 국가대기환경 기준인 50 ㎍/㎥를 초과하였으며, 비황사일의 경우에는 만족하였다.

2) 년도별 PM10 농도의 변화는 2014년을 기점으로 점점 낮아지고 있으나, 발생원에 근접한 중동과 태인동에서는 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 발생원의 풍하지역에 위치한 진상과 광양읍 관측소에서 평균값 이상의 높은 농도분포를 나타내고 있다.

3) 월별 농도분포는 측정소별 약간의 차이는 있으나, 1월부터 점차 증가하면서 5월에 최고치를 나타내고, 강수량이 많은 여름철에 낮아지고 9월부터 재차 증가하는 현상이 보이고 있다. 또한, 계절별 특징은 봄철에 PM10 농도가 가장 높고, 겨울철, 여름철, 가을철 순으로 나타났으며, 진상과 광양읍에서 높게 나타나고 있다.

4) 계절에 따른 시간별 변화를 보면, 계절별로 큰 차이를 없으나, 겨울철에 11시에 최고농도가 되고, 점점 감소하다가 17시부터 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 봄철에 최고농도 나타내고, 가을철에 최저농도 분포를 하고 있다. 여름철의 경우, 봄철의 일변화와 거의 유사한 경향을 보이고 있다.

5) 광양지역의 4개 측정소에서 고농도 PM10이 출현한 횟수는 총 219회이며, 측정소별로는 광양이 47회, 중동이 26회, 진상이 74회, 그리고 태인동에서 72회로, 진상과 태인동에서 많은 출현빈도를 나타내고 있다. 월별로는 5월(53회)과 3월(49회)에 출현빈도가 높았고, 9월에는 고농도가 발생되지 않았다.

6) 또한, 시간별 농도변화는 각 측정소에서 큰 차이는 없었으며, 5시에 일중 최소농도를 나타나고 점점 증가하면서 15시에 최대농도값이, 이후 점차 감소하는 경향을 보아고 있다. 측정소별로는 대체적으로 미세먼지 발생량이 많은 태인동과 중동에서 11시에서 16까지 높은 농도분포를 나타나고, 저녁시간대인 16시에서 22시까지는 진상과 광양읍에서 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

7) 봄철에 나타나는 고농도 PM의 발생 메카니즘을 규명하기 위해 장기간 고농도가 지속되는 기간을 선정하였다. 2013년 3월6일부터 11일까지 5일간 지속되었으며, 측정소는 진상과 태인동 이었다. 시간별 농도변화는 두 지점에서 유사한 경향을 나타나고 있으나, 태인동 지역에서 풍화지역인 진상보다 1~2시간 빠른 시간에 높은 농도값을 나타내고, 18시를 전후로 일중 최고농도, 새벽 5시에 최저농도의 경향을 보이고 있다. 미세먼지에 대한 피해는 농도와 노출시간에 따라 상이하게 다르

므로, 오랜 시간 지속될 때를 대비하여 상응하는 긴급조치가 취할 수 있도록 미세먼지 경보 체계를 확립하는 것이 매우 중요하다.

8) 광양지역의 고농도 PM10의 발생 기상조건으로 봄철의 경우에는 온도 8~18℃, 상대습도 41~65%, 풍속 3 m/s 이하, 여름철의 경우에는 21~27℃, 습도 67%~92%, 풍속 2.5 m/s 이하, 그리고 겨울철에는 온도 6℃~12℃, 상대습도는 50%~70%, 풍속은 3 m/s 이하에서 고농도 PM10이 발생되고 있다. 봄철과 겨울철의 고농도 PM은 제한적인 풍속의 증가와 함께 미세먼지가 외부에서 유입되는 것으로 사료되며, 풍속이 약해질수록 대기정체로 인한 미세먼지의 농도가 높아지는 경향을 보이고 있다. 여름철의 고농도 출현은 발생원에서 발생된 대기오염물질의 광화학 작용에 의해 생성된 2차 대기오염물질에 기인한 것으로 예측된다.

향후, 광양지역의 PM10의 생성 메카니즘을 규명하기 위해서는 발생원별 배출량 산정, 복잡한 지형에서 형성되는 국지순환풍의 특성 파악, 광양지역의 대기질을 대표할 수 있는 측정망의 수정, 보완, 확대가 요구되며, NOx, NOx, VOCs, NH_3 등의 광화학반응에서 생성되는 2차 미세먼지 생성 규명과 함께 수집된 자료를 지역 특성에 적합하게 활용할 수 있는 빅데이터 분석 기술이 필요하다.

References

1. 환경부, 미세먼지 관리종합대책, 관계부처 합동 자료집, 2017.
2. 김운수, 서울시 초미세먼지(PM2.5)예·경보 적정기준 설정 및 배출원 관리정보 구축, 서울시정개발연구원, 2014.
3. 국립환경과학원, 권역별 미세먼지(PM2.5) 농도 특성파악 및 생성과정 연구(Ⅰ), 2011, 242-244.
4. 中华人民共和国环境保护部, “he State Council Issues Action Plan on Prevention and Control of Air Pollution Introducing Ten Measures to Improve Air Quality” http://english.mep.gov.cn/News_service /infocus/201309/t20130924_260707.htm
5. Greenpeace, The end of the coal boom in China, 2014.
6. 조태진, 정만호, 전준민, 손부순, 제철소 주변지역의 대기 중 미세먼지 및 중금속 농도에 관한 연구, 한국환경과학회지, 18-4, 401-409, 2009
7. Hwang, Y.-J., Lee, S.-J., Do, H.-S., Lee, Y.-K., Son, T.-J.,Kwon, T.-G., Han, J.-W., Kang, D.-H., Kim, J.-W.(2009) The Analysis of PM10 Concentration and the Evaluation of Influences by Meteorological Factors in Ambient Air of Daegu Area, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 25(5), 459-471. (in Korean with English abstract)
8. 김정환, 김영성, 한진석, 박승명, 신혜정, 이상보, 김정수, 이강웅 , 국내 기준성 대기오염물질의 권역별 장기 추이 및 원인 분석: PM10과 오존을 중심으로, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Vol. 34, No. 1, February 2018, pp. 1-15.
9. 강병욱 · 이학성, 충주시 초미세먼지 (PM2.5)의 배출원 기여도 추정에 관한 연구, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Vol. 31, No. 5, October 2015, pp. 437-448.
10. 전병일, 황용식, 최근 5년간 부산지역의 미세먼지(PM10)농도 특성에 관한 연구, 환경영향평가 제16권 제6호(2007) pp.533~542.
11. 에어코리아 홈페이지, 2018, www.airkorea.or.kr/