



논문

# 서해안 안흥에서 관측된 에어로솔의 농도 변화 및 크기분포 특성

## Characteristics of Aerosol Mass Concentrations and Size Distribution Measured at Anheung, Korea

이권호\*, 이규태, 김정호<sup>1)</sup>, 문관호<sup>1)</sup>, 안준모<sup>1)</sup>

강릉원주대학교 복사위성연구소, 대기환경과학과

<sup>1)</sup>국방과학연구소

Kwon-Ho Lee\*, Kyu-Tae Lee, Jung-Ho Kim<sup>1)</sup>, Gwan-Ho Mun<sup>1)</sup>, Joon-Mo Ahn<sup>1)</sup>

Radiation-Satellite Research Institute (RSRI),

Department of Atmospheric & Environmental Sciences (DAES),

Gangneung-Wonju National University (GWNJU)

<sup>1)</sup>Agency for Defense Development, Researcher

접수일 2018년 10월 3일  
 수정일 2018년 10월 6일  
 채택일 2018년 10월 6일

Received 3 October 2018  
 Revised 6 October 2018  
 Accepted 6 October 2018

\*Corresponding author  
 Tel : +82-(0)33-640-2319  
 E-mail : kwonholee@gmail.com

**Abstract** An intensive measurement was conducted to study the mass and number concentrations of atmospheric aerosols in Anheung (36.679°N, 126.186°E), the west coastal measurement site of Korea during December 2017~April 2018. To evaluate relationships between the aerosols and meteorological parameters, comparisons of Optical Particle Counter (OPC) measured data and Auto Weather System (AWS) data were performed. Measured PM mass concentrations are  $PM_{10} = 42.814 \pm 30.103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5} = 29.674 \pm 25.063 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_1 = 28.958 \pm 24.658 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The PM ratios showed that the  $PM_{10}$  concentrations contained about 67.8% of  $PM_{2.5}$ , while most part of  $PM_{2.5}$  was  $PM_1$  (about 97.1%). Timely collocation with AWS data were performed, exploring relations with the PM concentrations. PM concentrations can be explained by wind direction and relative humidity conditions. The significant reductions of fine particles in mass and number concentrations may attribute to actions on particle growth and wet removal. In these results, we suppose that the aerosol concentrations and size distributions are affected by inflow direction and air mass sources from the origin.

**Key words:** Aerosol, PM, Optical Particle Counter, Particle size

### 1. 서 론

대기 중에서 부유하고 있는 미세입자인 에어로솔 (Aerosol)은 태양 복사 에너지를 산란하거나 흡수하여 복사 수지 (radiation budget), 물 순환 (hydraulic cycle), 기후변화 (climate change)에 영향을 미치는 중요 인자이다 (Charlson *et al.*, 1992, 1987). 에어로솔 입자는 시정거리를 감소시킬 수 있으며, 자동차 혹은 항공기의 운행에 지장을 미칠 수 있으며, 보건환경 측면에서는 인간 호흡기 건강에 영향을 미칠 수 있다. 에어로솔의 발생원은 매우 다양하고 대기중에서

체류 시간이 다양하므로 에어로솔이 지구 환경에 미치는 영향에 대한 과학적 이해도는 여전히 불확실도가 높은 것으로 알려져 있다 (IPCC, 2013). 이러한 에어로솔 입자는 대기질 평가를 위한 주요한 환경 기준 물질로 사용되고 있으며, 다양한 화학적 성분과 물리적 특성을 가지고 있다. 에어로솔 입자의 주요 성분은 탄소성분 (검댕 (Soot), 유기탄소 (Organic Carbon)), 질산염, 황산염, 암모늄염 등과 같은 이온 성분, 금속이나 토양 성분과 같은 다양한 물질들을 포함하고 있다. 그리고 에어로솔 입자의 크기, 표면적, 수 농도에 따라 미세물리적 특성이 변하기 때문에 에

어로솔로 인한 광학 특성 또는 복사 특성이 다양하게 나타난다.

일반적으로, 에어로솔의 주요 성분은 주로 공업지역이나 대도시 지역에서 발생하는 오염성 입자가 총 농도에 큰 부분을 차지하고 있으며, 때때로 황사나 산불과 같은 자연적인 배출원에 의한 영향을 받기도 한다(Lee, 2012). 그리고 해안 지역에서는 외부의 오염원에 의한 입자의 유입이 없는 경우 주로 해양 입자들의 발생으로 인하여 입자 농도가 증가한다(Sayer *et al.*, 2012). 최근까지 동북아시아의 급속한 산업화와 도시화로 인하여 대규모 오염물질이 다량으로 배출되고 있으며, 대기 중으로 배출된 오염물질이 국가 간의 이동으로 인하여 지역 대기 환경에 미치는 영향이 복잡하게 나타난다(Park *et al.*, 2013). 특히 중국의 산업 지역과 인구 밀집 지역이 우리나라와 인접한 동부지역에 주로 위치하고 있으므로, 여기에서 배출된 대기 오염물질이 풍하 지역에 위치한 국내 대기질에 영향을 미치게 된다(Lim *et al.*, 2013).

한반도의 서해안 지역은 서해를 넘어 중국으로부터 발생하는 다양한 오염원과 해양에서 발생하는 해양입자에 의한 영향을 받는다. 그러나 해안 지역의 동적인 기상환경적 특성으로 인하여 에어로솔 특성에 관한 연구는 해안에 위치한 고정 관측소가 있는 경우를 중심으로 매우 제한적으로 이루어졌다(예: Park *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2014). 본 연구는 서해안의 해양 인접 지역인 안흥에서 에어로솔 집중관측 기간 동안 자동기상관측시스템(Auto-

matic Weather Station; AWS)을 이용한 기상자료와 광학 입자 계수기(Optical Particle Counter; OPC)를 사용하여 관측한 크기별 입자 수 농도 자료를 이용하여, 입자상 물질의 시간별 변화 특성과 미세먼지를 구성하고 있는 에어로졸 입자의 크기별 분포 특성을 분석하였다. 이러한 관측 결과는 지역 대기 중 존재하는 에어로솔 입자의 미세 물리적 특성과 관련이 있으며, 에어로솔 입자로 인한 광학특성 값 산정을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

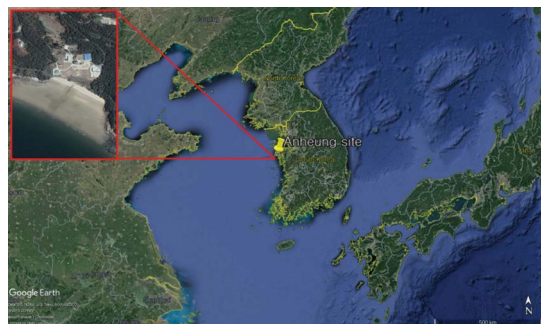
## 2. 방 법

### 2.1 관측 방법

본 연구에서 에어로솔 집중관측은 충남 태안군 안흥항 인근의 해안가에 위치한 집중 관측소(북위 36.679°, 동경 126.186°)에서 에어로솔 입자에 대한 질량 및 수 농도 측정이 가능한 OPC와 기상 관측을 위한 자동기상관측시스템을 이용한 연속 관측이 수행되었으며 각 기기에 대한 상세설명은 표 1과 같다. 관측 장비를 설치한 관측지점은 한반도 서해안 지역으로, 남쪽으로 50 m 거리에 해변이 근접해 있으며 북쪽 인근 지역은 산림지역과 농경지가 위치하고 있다(그림 1 참조). 따라서, 인근 지역으로부터의 인위적인 오염원에 대한 기여도는 높지 않고, 해안에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받을 것으로 예상된다. 관측동 옥상에 설치한 광학적 입자 계수기

**Table 1.** Specification of measurement instruments used in this study.

Instrument	Accuracy	Measured parameters
OPC (GRIMM EDM-180)	± 2%	PM <sub>1</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
		Particle number (0.25 ~ 32 μm, 31 channels)
AWS	± 0.3°C	Temperature
	± 2%	Humidity
	± 5%	Wind speed
	7°	Wind direction
	± 10%	Visibility
	1 W/m <sup>2</sup>	Solar radiation



**Fig. 1.** Geographical location of Anheung observation site (36.679°N, 126.186°E).

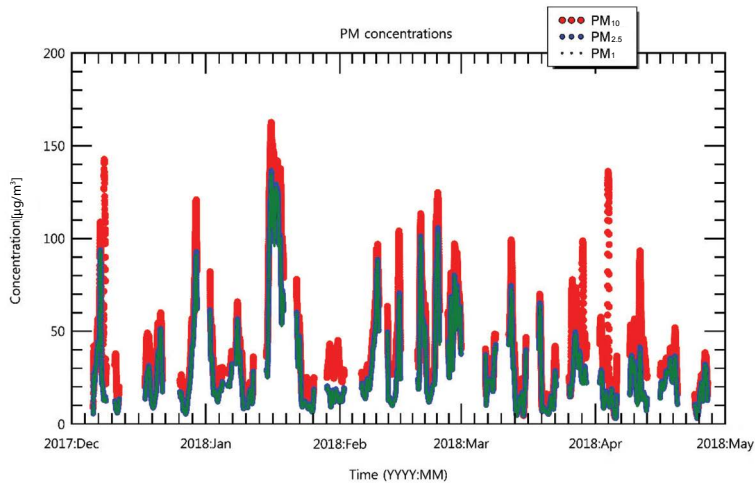


Fig. 2. Time series of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> mass concentrations measured at Anheung site during December 2017~April 2018.

Table 2. Descriptive statistics of measured PM concentrations and meteorological data.

Parameter	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>2.5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>1</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Wind speed [m/sec]	Wind direction [degree]	Air temperature [°C]	Relative humidity [%]	Visibility [km]
Mean	42.814	29.674	28.958	1.821	150.269	3.555	70.809	12.697
Standard deviation	30.103	25.063	24.658	1.537	88.578	5.719	17.936	7.076
Maximum	162.604	136.672	134.490	16.2	360.	21.4	100.0	20.0
Minimum	3.568	3.015	2.952	0.0	0.	-11.0	7.0	0.0

(OPC)로부터 관측된 자료는 2017년 12월 4일부터 2018년 4월 26일까지 관측된 크기별 수 농도(number concentration) 자료이다. 그리고 동일한 지점에 설치한 자동기상관측시스템(AWS)으로 측정된 온도, 습도, 풍향, 풍속, 시정거리 자료를 사용하였다.

본 연구에서 사용된 OPC는 GRIMM사의 Environmental Dust Monitor-180 (EDM-180)이며, 레이저를 광원으로 단일입자에 의한 광 산란 측정법을 이용한다. OPC를 이용한 에어로솔 입자 크기 분포 측정 시 에어로솔의 흡습성장(Hygroscopic growth)으로 인한 측정 오차를 줄이기 위하여, 공기 유입부(inlet)로부터 유입되는 공기(유량 1.2 L/min)를 건조시키기 위한 확산 건조기(diffusion dryer)를 부착하였다. GRIMM EDM-180은 0.25~30 µm 사이의 입자 크기 범위에서 30개 채널을 선택하여 수 농도 측정이 가능

하다. 그리고 EDM-180은 대기 중의 미세 입자의 크기별 개수를 5분간격으로 측정하여 각각의 입경별 (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>) 먼지 개수를 측정하고, 이를 농도 값으로 환산하여 장비 화면에 표출하고 자동 저장된다. 또한 OPC와 동일한 관측지점에 AWS를 설치하여, 기상 관측 자료를 획득하였다. 풍향 및 풍속 자료는 1회/10초 단위로 관측되어 저장된다.

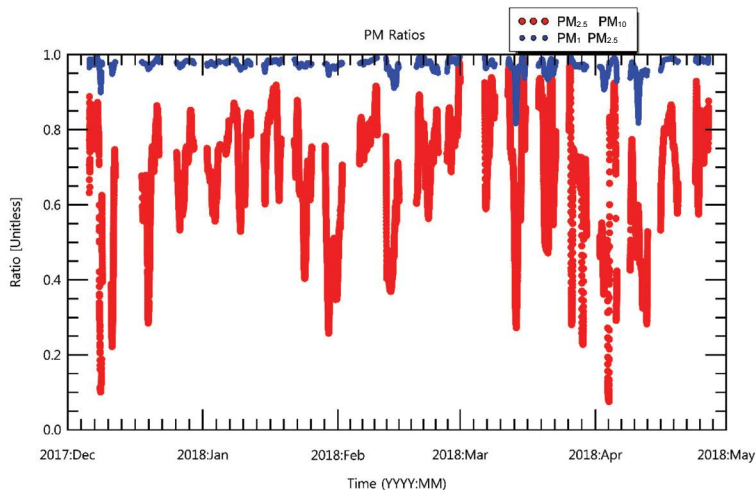
### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 미세 입자 농도 변화

그림 2는 전체 관측 기간 중 OPC로 측정된 입자 크기별 수 농도(number concentration)를 PM 질량 농도(mass concentration)로 환산한 결과로서 안흥 지

**Table 3.** Comparisons of the PM<sub>10</sub> measurement results and the background concentrations observed at each of the 8 sites in China, Japan, and Korea. The background concentration data from other locations were collected from Yang *et al.* (2016).

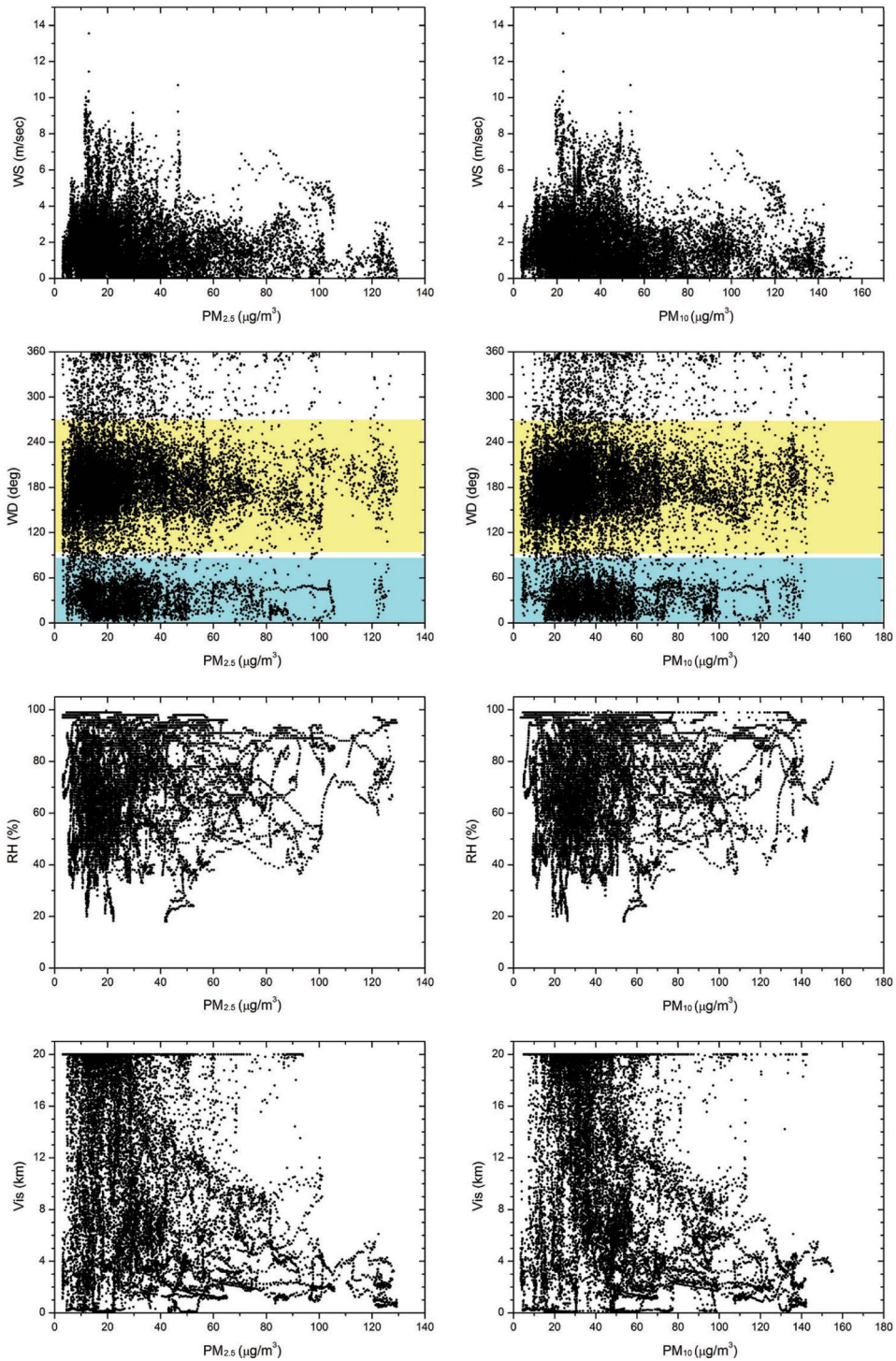
Measurement site	This study	Fujiazuang, China	Ganjingzi, China	Hongwen, China	Ganghwa, Korea	Gosan, Korea	Taeon, Korea	Oki, Japan	Rishiri, Japan
Mean	42.814	66.93	102.94	65.74	53.86	43.42	54.39	27.74	17.12
Standard deviation	30.103	51.78	69.37	38.10	37.43	32.14	36.93	25.52	15.72
Maximum	162.604	1257	1981	830	979.25	745.46	664.63	760.42	432.88
Minimum	3.568	6	8	3	3.42	2.67	5.71	3.67	2.94



**Fig. 3.** Time series of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> and PM<sub>1</sub>/PM<sub>2.5</sub> ratios measured at Anheung site during December 2017~April 2018.

역의 시간에 따른 PM 농도 변화를 분석할 수 있는 수단이 된다. 관측 기간 전체 평균값의 범위는 PM<sub>10</sub>이  $42.814 \pm 30.103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM<sub>2.5</sub>가  $29.674 \pm 25.063 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM<sub>1</sub>이  $28.958 \pm 24.658 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관측되었다(표 2 참조). PM<sub>10</sub> 농도는 국내 배경관측망 자료의 범위와 유사한 범위를 나타내고 있었으나, 중국의 배경 농도보다는 낮으며 일본의 배경 농도보다는 높은 값의 범위에 위치하고 있다(표 3 참조). 그리고 기상 관측 자료는 각각 풍속 =  $1.821 \text{ m}/\text{sec} \pm 1.537 \text{ m}/\text{sec}$ , 풍향 =  $150.269^\circ \pm 88.578^\circ$ , 기온 =  $3.555^\circ\text{C} \pm 5.719^\circ\text{C}$ , 상대습도 =  $70.809\% \pm 17.936\%$ , 시정거리 =  $12.697 \text{ km} \pm 7.076 \text{ km}$ 로, 바람의 변화가 심하고 온도가 낮으며 습도가 높은 겨울철 해안가 기후 특성이 반영된 결과로 보인다.

그림 3은 상대적으로 크기가 작은 입자 농도 대비 큰 입자의 질량 농도 비율로서, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>과 PM<sub>1</sub>/PM<sub>2.5</sub>를 계산하여 시계열 분석을 한 결과이다. 관측 기간 동안 두 비율 값의 범위는 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>이  $0.678 \pm 0.172$ , PM<sub>1</sub>/PM<sub>2.5</sub>가  $0.971 \pm 0.021$ 로 나타났다. 일반적으로, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 비율은 입자크기가 작은 오염성 입자(질산염, 황산염 포함)가 주 성분을 이루고 있을 때 높게 나타나며, 입자 크기가 큰 경우(황사, 해염 등)에는 낮게 나타난다. 즉, 에어로솔 농도에 영향을 끼치는 입자들의 크기가 작을 때 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 비는 증가하며, 반대로 입자들의 크기가 클 때 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 비는 감소하므로 관측 지점에 존재하거나 유입되는 입자상 물질의 기원에 대한 추정을 할 수 있게 된다.



**Fig. 4.** Scatter plots between meteorological parameters (wind speed, wind direction, relative humidity, and visibility) and  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , respectively.

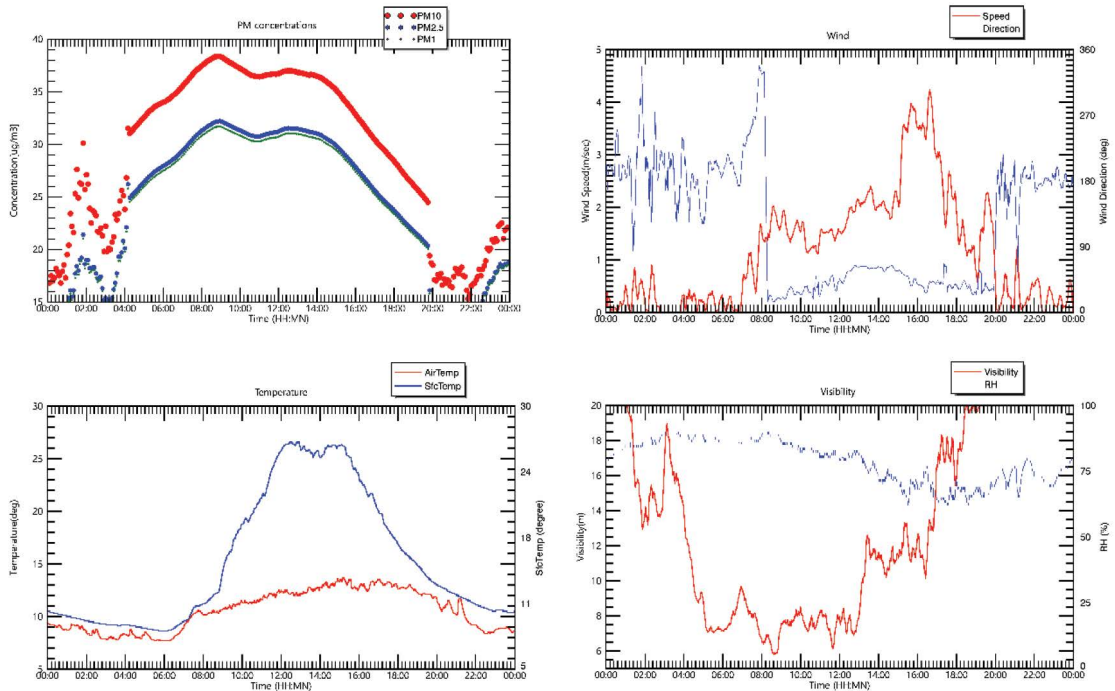


Fig. 5. Timely variations of the PM concentrations and meteorological parameters (wind, temperature, visibility, and relative humidity) measured on 26 April 2018, respectively.

그림 2와 3의 결과를 바탕으로, 안흥 지역의 PM 농도 특징은 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째, 평균값에 근접하는 표준편차값을 나타냄으로 인하여 PM 농도의 변화가 크게 나타나고 있는 점이다. 둘째,  $PM_{10}/PM_{2.5}$ 의 비율(0.971)이  $PM_{2.5}/PM_{10}$ 의 비율(0.678)보다 큰 값을 보이므로  $PM_{10}$  농도 중  $PM_{2.5}$ 에 대한 비율이 크게 영향을 받지 않고 있으나  $PM_{2.5}$ 와  $PM_{10}$ 이 거의 동일한 수준의 농도값을 가지고 있다. 셋째,  $PM_{2.5}/PM_{10}$ 의 비율이 최소 0.15에서 최대 0.98까지 관측됨과 동시에 일별화가 크게 나타나고 있으므로 때때로 미세 입자와 조대 입자의 비율이 복잡하게 발견된다.

그러나, OPC의 단점으로는 입자에 의한 산란광을 측정하여 입자 크기를 측정하는 데 유리하지만 광 흡수도가 큰 입자는 산란광이 줄게 되어 오차가 발생하는 것과 개별 입자에 대한 밀도를 가정하여 총 질량 농도로 환산하므로 실제 대기 중 입자의 질량 농도

측정에 오차가 발생할 수 있다는 것이다. 특히 탄소성 입자가 많이 존재하는 경우에 이러한 오차영향이 클 것으로 예측되므로, 향후 PM 농도가 높아지는 경우에 대한 입자의 성분에 대한 상세 관측자료와의 비교연구가 필요할 것이다.

### 3.2 기상조건과 관련성

관측 기간 동안 측정된 PM 농도 변화에 기상조건이 미치는 영향을 알아보기 위하여 AWS를 이용하여 연속 측정된 기상관측자료 중 풍속, 풍향, 기온, 상대습도, 시정거리를 비교하였으며, 두 자료 간의 산포도는 그림 4와 같다. 이 결과에 의하면, PM 농도와 기상관측자료의 직접적인 관련성은 가시적으로 보이고 있지 않지만, 몇 가지 특이한 결과가 나타나고 있다. 첫째는 풍속이 적을수록 PM 농도가 크게 증가하는 경우가 많이 발생하는 것으로서, 해안가의 공기가 정체되어 있는 경우 천천히 유입된 오염공기가 영향

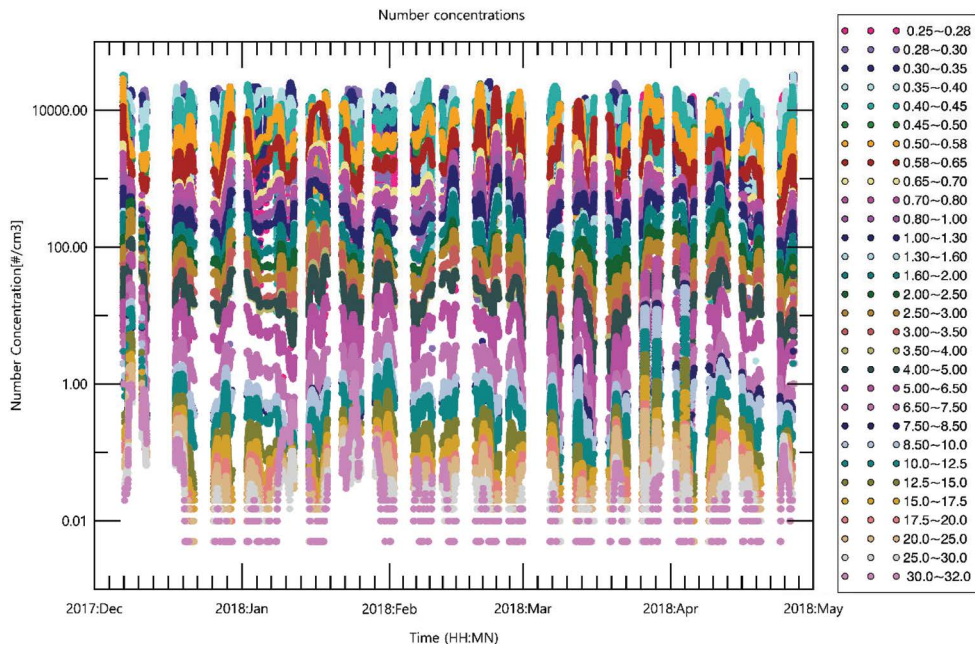


Fig. 6. Aerosol number concentrations measured during the December 2017~May 2018.

을 받는 것으로 판단된다. 둘째는 풍향 조건이 미치는 영향으로서, PM 농도 관측값이 밀집해 있는 구간이 두 개의 영역( $0\sim 90$ 도,  $90\sim 280$ 도)으로 분리될 수 있다. 이것은 관측지점이 해안가에 위치한 특성상, 해륙풍의 영향이 반영된 결과로 보이며 관측지점에서  $0\sim 90$ 도는 육지에서 불어오는 육풍(하늘색),  $90\sim 280$ 도 영역은 바다에서 불어오는 해풍 영역(노란색)이다. 해륙풍의 영향은 이후 사례연구를 통하여 논의 되었다. 셋째는 상대습도와와의 관련성이다. 일반적으로, 상대습도의 증가는 입자의 크기를 증가시킴으로써 중량 농도를 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 그림 4의 결과에서는 상대습도가 증가할수록 입자의 농도가 감소하고 있는 것을 보이고 있다. 이것은 상대습도의 증가로 입자가 습식 세정(wet deposition)으로 제거되고 있는 것으로 추측되나, 보다 자세한 사항은 추가 연구를 통하여 확인할 수 있을 것이다. 마지막으로, 입자의 농도가 시정거리와 반비례하는 양상은 확인할 수 있으나, 저 농도 영역(예를 들면  $< 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )에서 시정거리가 단순히 입자

농도에만 영향을 받고 있지 않음을 알 수 있다. 또한, OPC의 관측방법에 대한 한계점으로 인한 오차 발생요인이 PM 농도값과 시정거리와의 상관관계에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되나, 이러한 요인 파악을 위하여는 향후 추가 연구를 통하여 PM 성분별 입경분포에 관한 영향요인에 대한 상세 관측을 통한 비교연구가 수행되어야 할 것이다.

그림 5는 풍향에 따른 PM 농도 변화를 잘 나타내는 사례로서, 2018년 4월 26일 관측된 PM 및 기상요소의 일변화를 나타낸다. PM 농도는 세계보건기구(World Health Organization (WHO))에서 제시하는  $\text{PM}_{2.5}$ 의 24시간 기준치인  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 국내 대기 환경기준인  $\text{PM}_{2.5}$ 의 24시간 기준치인  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018년 3월 개정값 기준)보다는 낮은 농도값이 관측되었으나, 오전 5시경부터 PM 농도가 급격히 높아졌으며, 주간 동안에 비교적 높은 농도가 지속되다가 오후 5시부터 낮은 농도값이 측정되었다. 이 사례에서는 시간의 변화에 따른 바람의 변화가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인 가능하였다. 오전 8시와 오후 8시를 전후로 풍

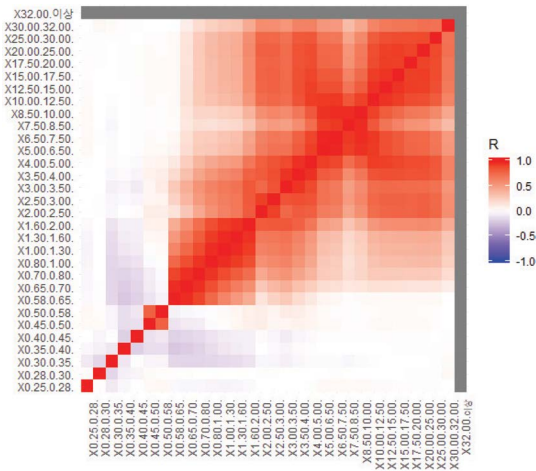


Fig. 7. Aerosol number concentrations measured during the December 2017~May 2018.

향이 반대로 바뀌고 있으며, 주간 동안 풍속이 증가하였다. 이러한 결과는 해안지역의 국지풍인 해륙풍의 특성을 잘 나타내는 결과로써, 낮 시간대에는 해풍의 영향을 받고, 일몰 후 시간에는 주로 육풍의 영향을 받은 결과로 판단된다. 그리고 이러한 바람의 영향으로 미세 입자의 농도증가와 관련이 있는 것으로 판단된다.

### 3.3 입자 수 농도 및 크기분포

그림 6은 입자 크기에 대한 OPC 채널별 수 농도의 경향을 나타내기 위한 시계열 분포도이다. OPC 관측을 위하여 설정한 31개의 입자 크기 채널 중  $32\mu\text{m}$  이상의 영역은 입자 수 농도값이 거의 기록되지 않았으므로 생략하였다. 입자 크기가 클수록 수 농도값이 작은 분포를 나타내고 있으나,  $0.4\mu\text{m}$  이하의 입자는 거의 일정한 양의 크기분포를 유지하고 있다. 그리고 각 채널별 입자 수 농도의 관련성을 알아보기 위하여 31개 채널별 수 농도 자료에 대한 상관계수 행렬을 그림 7과 같이 나타내었다. 그림 7의 결과에 의하면,  $0.58\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$  구간,  $2.0\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$  구간,  $5.0\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$  구간,  $10\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$  구간의 입자 수 농도값이 서로 높은 양의 상관관계를 보이고 있다. 그리

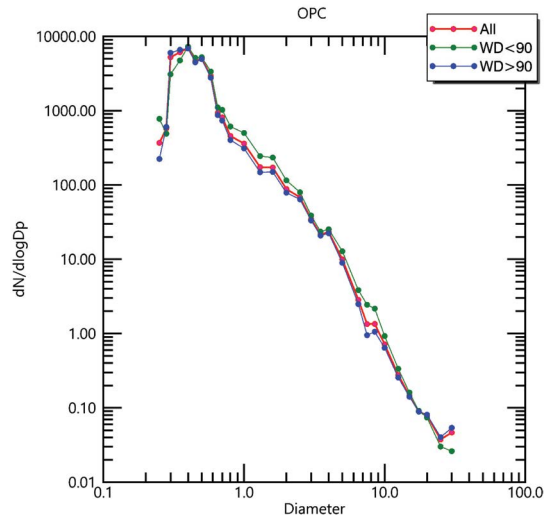


Fig. 8. Particle size distributions for all cases (red line) and two different wind direction conditions (wind directions  $< 90$  (green line) and  $> 90$  (blue line)).

고  $0.58\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$  사이의 입자와  $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$  구간의 입자들은 서로 음의 상관관계를 가짐을 보였다. 이러한 결과는  $0.58\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$  사이의 입자가  $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$  구간의 상대적으로 작은 크기의 입자로부터 생성되는 것으로 해석할 수 있다.

그림 8은 OPC로 측정된 입자의 수 농도 분포의 풍향별 변화를 나타낸다. 대체적으로 풍향이  $90$ 도보다 작은 경우가(즉, 육풍이 불어오는 경우)  $90$ 도보다 큰 경우(즉, 해풍이 불어오는 경우)에 비하여 수 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나  $0.4\mu\text{m}$ 보다 작은 입자 영역에서는 이와 반대의 경향이 발견되고 있다. 이와 같은 경향은 앞 절의 PM 질량 농도 및 기상 관측 자료 분석결과에서도 동일하게 나타나고 있다. 육지 방향에서 불어오는 바람에 의하여 주로 토양 성분 기원의  $10\mu\text{m}$  근처의 크기를 가지는 조대 입자가 영향을 미치고 있으며, 이와는 반대로 바다에서 불어오는 바람은 습도가 높음에 따라 성장한 입자들의 흡습 세정 작용과 더불어 건식 침적 등을 포함한 제거 과정에 의한 것으로 해석된다.



#### 4. 결 론

한반도의 서해안 지역인 안흥 관측소에서 2017년 12월부터 2018년 4월까지 OPC와 AWS를 이용하여 입자 질량 농도, 크기분포, 그리고 기상 요소를 측정하였으며, 서해안 에어로솔의 특성과 거동에 대하여 연구하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

전체 측정기간 동안 안흥 관측소의 PM 평균 농도의 범위는  $PM_{10} = 42.814 \pm 30.103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5} = 29.674 \pm 25.063 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_1 = 28.958 \pm 24.658 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서, 국내 배경 농도 관측값과 유사한 수준이었으며, 조대 입자 대비 미세입자의 비율은  $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.678 \pm 0.172$ ,  $PM_1/PM_{2.5} = 0.971 \pm 0.021$ 으로서 해안가에서 조대 입자의 관측이 이루어지고 있음을 확인하였다. 특히, 풍향 변화에 따른 유입 경로가 바뀌는 경우 입자의 크기분포 변화가 뚜렷이 구별됨을 관측하였다. 육풍이 부는 경우  $1 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$  영역의 크기를 가지는 입자 수 농도가 증가하였으며, 해풍이 부는 경우엔  $0.3 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$  영역의 미립자와  $20 \mu\text{m}$  이상의 거대 입자가 증가하였다. 이러한 결과는 같은 관측 지점이라도 그 지역의 지리학적 위치와 특성, 바람의 영향에 따라 에어로솔 질량 및 입경분포범위는 지역적인 특성이 강하게 반영되는 것으로 판단할 수 있으며, 입자의 질량 및 입경분포범위를 결정하는 조건들은 입자상 물질의 화학 조성 분석과 장거리 이동에 따른 영향 등 보다 종합적인 추가연구를 통하여 도출될 수 있을 것으로 판단될 수 있다.

향후 OPC 장비를 활용하여 해안 관측 지역에서의 에어로솔 크기분포 및 광학 특성을 규명할 필요가 있다. 아울러 단일 입자에 대한 광 소산계수와 광 흡수 특성 및 기하 조건에 따른 복사전달 과정에 관한 특성을 연구함으로써 에어로솔에 의한 광 투과도 평가와 복사 강제력 및 기후변화에 영향을 미치는 특성을 이해하기 위한 기본 자료에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소에서 주관하는 “BRDF 감소모델 및 실환경 해양/대기 복사특성 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- Charlson, R.J., Lovelock, J.E., Andreae, M.O., Warren, S.G. (1987) Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo, and climate, *Nature*, 326, 655-661.
- Charlson, R.J., Schwartz, S.E., Hales, J.H., Cess, R.D., Coakley Jr. J.A., Hansen, J.E., Hofmann, D.J. (1992) Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, 255, 423-430, doi:10.1126/science.255.5043.423.
- International Panel on Climate Change (IPCC) (2013) *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lee, K.H. (2012) Impact of Northeast Asian biomass burning activities on regional atmospheric environment, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(1), 184-196. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.H., Park, J.S., Ahn, J.Y., Choi, J.S., Oh, J., Moon, K.J., Hong, Y.D., Han, J.S. (2013) The characteristics of the air pollutants at Baengnyeong Island, a west inflow region of the Korean Peninsula, *Journal of Korean Society of Urban Environment*, 13(3), 267-276. (in Korean with English abstract)
- Oh, J., Park, J.-S., Ahn, J.-Y., Choi, J.-S., Lim, J.-H., Kim, H.-J., Han, J.-S. (2014) A study on the behavior of the Black Carbon at Baengnyeong Island of Korea peninsula, *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, 14(2), 67-76.
- Park, S.-S., Kim, S.-J., Gong, B.-J., Cho, S.-Y., Kim, J.-C., Lee, S.J. (2013) Investigation on a haze episode of fine particulate matter using semi-continuous chemical composition data, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(5), 642-655. (in Korean with English abstract)
- Park, S.-S., Cho, S.-Y., Jung, C.-H., Lee, K.-H. (2016) Characteristics of water-soluble inorganic species in  $PM_{10}$  and

PM<sub>2.5</sub> at two coastal sites during spring in Korea, Atmospheric Pollution Research, 7(2), 370-383, doi: 10.1016/j.apr.2015.10.018.

- Sayer, A.M., Smirnov, A., Hsu, N.C., Munchak, L.A., Holben, B.N. (2012) Estimating marine aerosol particle volume and number from Maritime Aerosol Network data, Atmospheric Chemistry and Physics, 12, 8889-8909.
- Yang, G.-H., Lee, J.-J., Lyu, Y.-S., Chang, L.S., Lim, J.H., Lee, D.-W., Kim, S.-K., Kim, C.-H. (2016) Analysis of the recent trend of national background PM<sub>10</sub> concentrations over Korea, China, and Japan, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 32(4), 360-371. (in Korean with English abstract)

## Authors Information

이권호(강릉원주대학교 복사위성연구소, 대기환경과학과 부교수)

이규태(강릉원주대학교 복사위성연구소, 대기환경과학과 교수)

김정호(국방과학연구소 연구원)

문관호(국방과학연구소 연구원)

안준모(국방과학연구소 연구원)