

ORIGINAL ARTICLE

## 지리산 국립공원 해발 865 m 지점에서 대기 에어로졸 입자의 입경별 질량농도 특성

류혜지 · 박정호\*

경남과학기술대학교 환경공학과

### Mass Size Distribution of Atmospheric Aerosol Particles Collected at 865 m High of Jirisan National Park

Hye-Ji Ryu, Jeong-Ho Park\*

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

#### Abstract

Aerosol mass size distributions were investigated at 865 m high the of Jirisan national park. A nanosampler cascade impactor was used to collect aerosols. The atmospheric aerosol particles had a unimodal mass size distribution, which peaked at 0.5–1.0  $\mu\text{m}$ , and a mass aerodynamic diameter of 1.13  $\mu\text{m}$ . The annual average concentrations of TSP,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{0.5}$  and  $\text{PM}_{0.1}$  were 20.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 19.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 14.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. TSP concentrations were below 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  during the sampling period. On average  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{0.5}$  and  $\text{PM}_{0.1}$  made up 0.91, 0.70, 0.41, 0.19 and 0.07 of TSP, respectively. The annual average of  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  ratio was 0.77.

**Key words :** Jirisan national park, Cascade impactor, Aerosol mass size distribution

#### 1. 서론

우리나라의 미세먼지( $\text{PM}_{10}$  및  $\text{PM}_{2.5}$ )는 최근 수년간 빈번한 전국단위의 고농도 발생으로 사회적 환경 문제로 관심이 집중되고 있으며, 이에 정부는 국가적 차원의 “미세먼지 관리 특별대책”을 발표하고 향후 10년 내에 수도권 미세먼지 오염도를 유럽 주요도시의 현재수준으로 개선하는 목표를 계획하고 있다 (MoE, 2016). 또한, 미세먼지 농도는 세계적으로 국민 삶의 질 수준을 평가하는 주요 지표로써 사용되고

있으며, 최근 OECD의 ‘보다 나은 삶 지수’(Better Life Index) 보고에서 우리나라는 OECD 국가 중 최고 수준으로 미세먼지 등으로 인한 삶의 질은 물질적 삶의 조건에 비해 낮은 발전 수준을 보이고 있다 (Jeong and Kim, 2015; OECD, 2016).

미세먼지를 포함한 대기오염물질은 시간적, 공간적으로 큰 농도 차이를 보일 수 있으며, 이에 도시대기, 도로변대기, 국가배경농도, 교외대기 등 전국 대기 오염측정망의 설치운영을 통해 전국적인 농도 특성을 지속적으로 파악하고 있다. 그러나 배경(청정)지역에

Received 30 August, 2016; Revised 28 September, 2016;

Accepted 30 September, 2016

\*Corresponding author : Jeong-Ho Park, Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea  
Phone : +82-55-751-3345  
E-mail : jhpark@gntech.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.

대해서는 측정망의 설치 운영이 미미한 실정이며, 청정지역으로 인식되고 있는 고산, 태안 등의 국가배경 측정소의 경우에도 저지대에 위치하고 있어 해염, 토양, 농경지 등의 영향을 비교적 많이 받고 있는 것으로 추정되고 있다(Kim et al., 2007). 특히, 국내 배경지역의 농도수준은 고산측정소의 경우 최근 10년간 연평균  $PM_{10}$  36~51  $\mu g/m^3$  그리고 도시인근 배경지역인 북한산 국립공원 해발 400 m에 위치한 북한산 대기측정소의 경우 2014년 기준  $PM_{10}$  39  $\mu g/m^3$  및  $PM_{2.5}$  22  $\mu g/m^3$ 로 보고되고 있다(Seoul, 2014; NIER, 2015). 반면, OECD 국가의 평균농도는  $PM_{10}$  23  $\mu g/m^3$  및  $PM_{2.5}$  14  $\mu g/m^3$  그리고 미국 및 서유럽지역의 배경지역에서는  $PM_{2.5}$  3~5  $\mu g/m^3$  수준으로 보고되고 있다(WHO, 2005),

한편, 대기 청정지역 혹은 배경지역(background)이라 함은 인위적 대기 배출원에 의하여 최소한 오염된 지역이며, 유럽환경청(EEA)의 측정망 분류에서는 도시지역, 발전소, 자동차 도로 등 주요 대기 배출원으로부터의 이격거리가 50 km 이상의 자연 배경지역(natural background), 10~50 km 사이의 교외 배경지역(rural background), 3~10 km 사이의 도시인근 배경지역(near-city background) 등으로 분류하고 있다(Suh et al., 1995; Dingenen et al., 2004).

지금까지 미세먼지에 관한 많은 연구들은 주로 도시 및 공업지역을 중심으로 많이 수행되고 있으나, 우

리나라의 전반적인 미세먼지 오염도에 대한 이해와 개선 목표 수립 등을 위해서 배경지역에 대한 농도 특성 파악이 중요하나, 이와 관련한 연구는 부족하다.

본 연구에서는 반경 10 km 이내에 도시지역, 발전소 등 주요 대기배출원의 영향이 거의 없는 지리산 국립공원 해발 865 m의 청정배경 지역에서 다단 입벡터인 Nanosmpaler를 이용하여 대기 에어로졸입자의 입경별 농도 특성을 파악하였다. 본 연구결과는 관련 연구 그리고 지역 대기질 관리정책의 기초자료로써 활용될길 기대한다.

## 2. 자료 및 분석방법

### 2.1. 시료채취 지점

대기 에어로졸입자의 시료채취 장소는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 지리산 국립공원 내 해발 865 m에 위치하고 있는 경남 산청군 소재 경상남도 환경교육원에서 실시하였다.

본 측정지점은 지리산 국립공원 입구로부터 약 1.8 km 그리고 지리산의 최고봉인 천왕봉(고도 1,915 m)까지는 약 3.1 km 이격되어 있으며, 최소 반경 10 km 이내에는 도시지역, 발전소, 대기배출 사업장 등 주요 대기오염 배출원이 없거나 직접적인 영향을 받지 않는 지역으로 유럽환경청(EEA)의 측정망 분류상 교외 배경지역(rural background)에 해당한다.

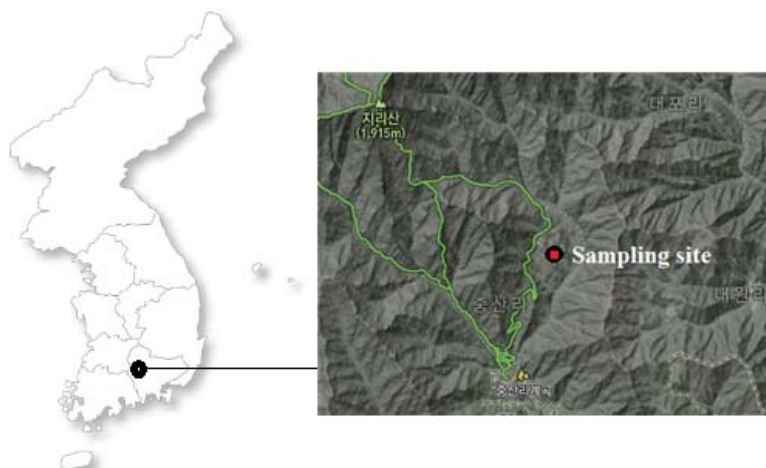


Fig. 1. The location of the sampling site in Jirisan national park.

## 2.2. 시료채취 방법

대기 에어로졸 입자의 입경별 분급포집을 위해 다단 임팩터인 Nanosampler(Kanomax사 Model 3180, Japan)를 사용하였다. 본 임팩터는 입구로부터 유입된 대기 에어로졸 입자를 1~4단의 분리단(1단 :  $>10 \mu\text{m}$ , 2단 :  $2.5\sim10 \mu\text{m}$ , 3단 :  $1.0\sim2.5 \mu\text{m}$ , 4단 :  $0.5\sim1.0 \mu\text{m}$ ), 관성필터 카세트(5단 :  $0.1\sim0.5 \mu\text{m}$ ) 및 back-up 필터( $<0.1 \mu\text{m}$ )를 통해 분급 포집된다. 시료채취에 사용된 여재는 각 분리단과 back-up 필터는 직경 55 mm의 석영필터(ADVANTEC사 QR-100)를 사용하였으며, 관성필터의 경우 본 임팩터 제조회사인 Kanomax사가 제공하는 직경 8  $\mu\text{m}$ 의 SUS 섬유를 원형 테프론 카트리지에 약 9.8 mg 충전 후 시료채취에 사용하였다(Park et al., 2015).

본 임팩터는 포집유량의 경우 대기 중 미량 농도인 UFP 입자를 효율적으로 신속하게 포집할 수 있도록 통상 임팩터들의 유량( $20\sim30 \text{ L/min}$ )보다 비교적 큰  $40 \text{ L/min}$ 으로 설계되어있으며, 총부유먼지(TSP)를 포함한  $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_1/\text{PM}_{0.5}/\text{PM}_{0.1}$ 의 입경별 농도 분포를 파악 할 수 있다(Eryu et al., 2009; Furuuchi et al., 2010). 또한, 본 연구에서는 입경  $1 \mu\text{m}$  전후로 한 1~3단까지를 조대입자 영역(coarse) 그리고 4단~back-up까지를 미세입자 영역(fine) 농도로 구분하

였다.

한편, Table 1에는 시료채취 기간 및 기상상태를 나타내었으며, 시료채취는 2014년 8월 그리고 2015년 7월부터 2016년 5월까지 매월 2~3일간 연속으로 총 11회의 대기 에어로졸 입자 시료를 채취하였다. 또한, 포집전후의 필터 무게를 칭량하기 위해 시료채취 전후 24시간 이상 데시케이트에서 항온, 항습한 후 무게 0.01 mg까지 칭량가능한 전자저울(AT201, METTLER, USA)을 이용하여 측정 전후의 필터 중량을 칭량하고 질량 농도를 산정하였다.

## 2.3. 국내외 미세먼지 농도 분포

Fig. 2에는 국내의  $\text{PM}_{10}$  및  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도 수준을 파악하기 위하여 2014년 기준 전국 국가대기오염자동 측정소의 연평균  $\text{PM}_{10}$  농도 그리고 2011~2014년 기준 OECD 국가의 연평균  $\text{PM}_{10}$  및  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도별 분포도를 나타냈다(NIER, 2015; OECD, 2016).

국가대기오염자동측정소는 국가배경 및 교외대기 22개소, 도시지역 257개소, 도로변 38개소 등으로 구분하여 나타냈으며, 모든 국가배경 및 교외대기측정소의 경우 연평균  $\text{PM}_{10}$  농도는  $45(33\sim62) \mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 나타나고 있다. 또한, OECD 국가의 2,241개 지역의 연평균 농도는  $\text{PM}_{10}$   $23(3\sim109) \mu\text{g}/\text{m}^3$  및  $\text{PM}_{2.5}$

Table 1. Sampling periods and meteorological conditions

No.	Sampling periods	Sampling		Meteorological conditions			
		time(min)	flow( $\text{m}^3$ )	Temp.( $^{\circ}\text{C}$ )	RH(%) <sup>a</sup>	WS( $\text{m/s}$ ) <sup>b</sup>	RF(mm) <sup>c</sup>
1	Aug. 11~12, 2014	1,530	61.2	19.6	83	1.5	0.0
2	July 1~3, 2015	2,920	116.8	18.3	78	1.4	0.0
3	Aug. 18~20, 2015	2,310	92.4	19.9	89	0.9	1.0
4	Sep. 25~27, 2015	2,900	116.0	16.1	83	1.4	0.0
5	Oct. 22~24, 2015	2,940	117.6	13.8	79	1.4	0.0
6	Dec. 7~9, 2015	2,820	112.8	4.3	76	1.3	0.0
7	Jan. 25~27, 2016	2,880	115.2	-5.2	70	1.3	0.0
8	Feb. 24~26, 2016	2,280	91.2	-3.4	51	1.7	0.0
9	Mar. 28~31, 2016	3,630	145.2	9.9	72	1.4	0.0
10	Apr. 28~30, 2016	2,880	115.2	12.2	95	0.8	31.5
11	May 26~27, 2016	1,860	74.4	20.6	44	1.7	0.0

<sup>a</sup>RH(%): relative humidity, <sup>b</sup>WS( $\text{m/s}$ ): wind speed, <sup>c</sup>RF(mm): rainfall amount

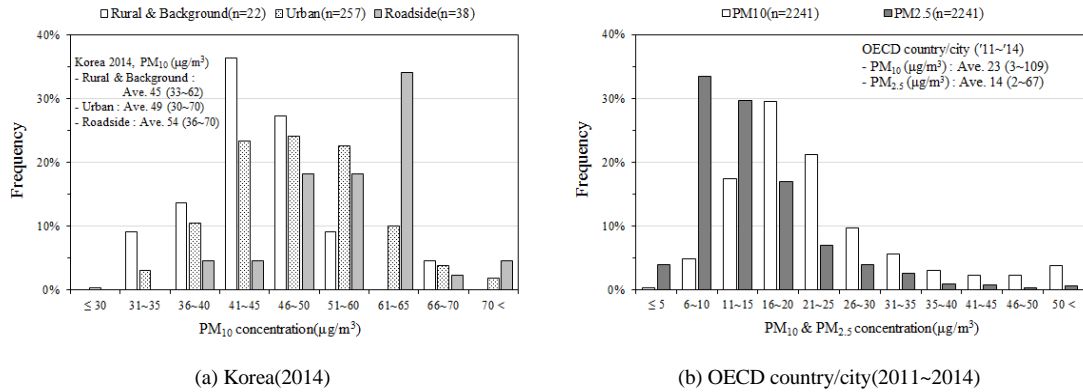


Fig. 2. Concentration distribution of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Korean and OECD country/city.

14(2~67)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 분리단별 농도

Table 2에는 시료채취 기간별 임팩터 분리단별 농도, 미세입자(Fine) 및 조대입자(Coarse) 영역 농도 그리고 총부유먼지(TSP)의 농도 추이를 나타냈다.

분리단별 농도는 월별 다소 차이가 있지만, 연평균은 4단(0.5~1.0  $\mu\text{m}$ ) 5.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  > 2단(2.5~10  $\mu\text{m}$ ) 4.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\approx$  3단(1.0~2.5  $\mu\text{m}$ ) 4.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\approx$  5단(0.1~0.5  $\mu\text{m}$ ) 4.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  > 1단(>10  $\mu\text{m}$ ) 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  > back-up(0.1  $\mu\text{m}$ ) 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 순으로 4단(0.5~1.0  $\mu\text{m}$ )이 가장 높았다.

Fine 및 Coarse의 연평균 농도는 각각 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 Fine/Coarse의 농도비 1.1로 비슷한

Table 2. PM mass concentration for each size fraction

No.	Size fraction( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						Coarse* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fine** ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	1 (> 10 $\mu\text{m}$ )	2 (2.5~10 $\mu\text{m}$ )	3 (1.0~2.5 $\mu\text{m}$ )	4 (0.5~1.0 $\mu\text{m}$ )	5 (0.1~0.5 $\mu\text{m}$ )	back-up (< 0.1 $\mu\text{m}$ )			
1	1.8	3.4	2.1	8.2	2.3	0.7	7.4	11.1	18.5
2	3.3	7.2	3.0	2.6	3.4	0.4	13.4	6.4	19.9
3	0.9	1.9	3.4	1.7	2.7	1.4	6.2	5.8	12.0
4	0.4	9.4	6.6	3.8	4.1	4.3	16.4	12.2	28.5
5	3.3	3.2	5.8	5.6	2.8	0.9	12.3	9.3	21.6
6	0.7	1.6	2.2	3.6	3.1	0.3	4.5	6.9	11.4
7	0.5	3.9	4.2	6.2	4.1	1.1	8.6	11.4	20.1
8	1.0	4.7	6.1	8.0	4.9	1.7	11.7	14.6	26.4
9	1.2	7.9	5.2	6.2	6.8	0.6	14.4	13.6	28.0
10	2.4	2.1	1.9	4.7	5.4	1.1	6.3	11.2	17.6
11	2.6	3.3	5.5	8.6	5.4	1.0	11.4	14.9	26.3
Ave.	1.6	4.4	4.2	5.4	4.1	1.2	10.2	10.7	20.9
SD	1.1	2.6	1.7	2.3	1.4	1.1	3.9	3.2	6.0

\* Coarse fraction : diameter > 1  $\mu\text{m}$ , \*\* Fine fraction : diameter < 1  $\mu\text{m}$

농도 특성이 나타났으나, 농도비는 2016년 4월(No. 10)이 1.77로 가장 높았고 2015년 7월(No. 2) 0.48로 가장 낮아 시료채취기간별 큰 차이를 보였다.

TSP 농도는 연평균  $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이었고 시료채취기간별로는 2015년 9월(No. 4)  $28.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 2015년 10월(No. 6)  $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약 2.5배 높게 나타났으나, 전반적으로  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 낮은 농도수준을 지속적으로 유지하고 있었다.

한편, 입매터를 사용한 TSP 농도관련 기존 연구들과의 비교해서 최근 진주 도시지역  $44.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 절반 수준 그리고 1998년 제주도 고산 배경지역  $19.8\sim 25.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 과거연구 보고와 유사한 수준을 보였다(Kim et al., 1999; Park et al., 2015).

### 3.2. 대수정규분포 특성

Fig. 3에는 대기 에어로졸 입자의 질량농도 대수정규분포( $\Delta M/\Delta \log(D_p)$ )와 질량중양경(MMAD) 및 기하표준편차( $\sigma_g$ )를 나타냈다.

대수정규분포의 형태는 시료채취 기간별로 다소 상이하나, 전반적으로 4단( $0.5\sim 1.0 \mu\text{m}$ )을 중심으로 높은 농도 peak를 가진 단일형분포(unimodal)의 형태가 주로 나타났다. 참고적으로 대기 에어로졸 입자의 전형적인 이산형분포(bimodal)와는 상이하였으나, 이는 각 입매터 마다의 분리단의 수, 50% 절단입경, 포집되는 입경범위 등의 특성이 다르기 때문이라 판단된다(Park and Choi, 1997; Park et al., 2015). 대기 에어로졸 입자의 대표 입경을 표시하는 방법 중의 하나인 MMAD는 평균  $1.13 \mu\text{m}$ 으로 나타났으며, 월별 특성은 2016년 4월(No. 10)  $0.79 \mu\text{m}$ 로 가장 작았고 2015년 7월(No. 2)  $2.24 \mu\text{m}$ 로 가장 큰 것으로 나타났다. 또한, 대기 에어로졸 입자의 입경 범위 폭을 가늠할 수 있는  $\sigma_g$ 는 연평균 4.34 그리고 월별 특성은 2015년 12월 3.01로 가장 작았고 2015년 9월 8.97로 가장 큰 것으로 나타났다.

한편, MMAD와 관련된 기존 연구에서는 도시지역 진주의 경우 MMAD  $1.36 \mu\text{m}$  및  $\sigma_g$  4.93으로 보고하고 있으며, 청정지역의 경우 제주도 해안가  $1.8 \mu\text{m}$  및 국가배경지역인 강화  $2.07 \mu\text{m}$  및 고산  $3.92 \mu\text{m}$  등으로 보고되고 있다(Lee et al., 2003; Kim, 2007). 또한, 해발 1,300 m 산림지역의 경우  $0.48 \mu\text{m}$ 로 도심지역

$0.81 \mu\text{m}$  보다 작은 것으로 보고되고 있다(Kavouras and Stephanou, 2002).

### 3.3. TSP/PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>1</sub>/PM<sub>0.5</sub>/PM<sub>0.1</sub>의 농도 특성

Table 3에는 연평균 및 봄철(No. 9~11), 여름철(No. 1~3), 가을철(No. 4, 5), 겨울철(No. 6~8) 등 계절별 입경별 농도 및 농도비 특성을 나타냈다.

TSP/PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>1</sub>/PM<sub>0.5</sub>/PM<sub>0.1</sub>의 연평균 농도는  $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  등으로 각각 나타났으며, 계절별로는 TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>0.1</sub>의 경우 가을 > 봄 > 겨울 > 여름의 순으로 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>0.5</sub>의 경우 봄 > 가을 > 겨울 > 여름의 농도 순으로 나타났다. TSP 농도에 대한 입경범위별 기여도는 연평균 PM<sub>10</sub> 0.92, PM<sub>2.5</sub> 0.72, PM<sub>1</sub> 0.52, PM<sub>0.5</sub> 0.26, PM<sub>0.1</sub> 0.06로 각각 나타났으며, 특히 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 농도의 경우 겨울철이 높고 여름철이 낮은 계절적 특성이 나타났다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 농도비는 연평균 0.78로 겨울철이 높고 여름철이 낮은 계절별 특성이 나타났으며, 농도비는 지역별 발생원의 영향 특성과 시기에 따른 큰 차이를 보일 수 있는데, Park et al.(2014)의 진주지역 0.70 그리고 경기 포천지역 0.71과는 유사하였지만, 부산지역 약 0.55보다는 다소 높은 것으로 나타났다(NIER, 2009; Jeon and Hwang, 2014).

한편, 국가 배경측정소 중 해안가에 위치한 백령도 및 고산 측정소의 경우 2014년 연평균 PM<sub>10</sub>  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  그리고 도시인근 배경지역에 해당하는 해발 400 m에 위치한 북한산 대기측정소의 경우 2014년 연평균 PM<sub>10</sub>  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 PM<sub>2.5</sub>  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  등으로 본 측정지점보다 높은 농도 경향을 보였다(Seoul, 2014; NIER, 2015). 반면, 제주도 한라산 1100고지의 청정 배경지역에서 1998년부터 2004년까지 봄철 PM<sub>2.5</sub>  $13.4\sim 21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도수준 그리고 OECD국가의 평균농도 PM<sub>10</sub>  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 PM<sub>2.5</sub>  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 유사한 농도수준으로 나타났다(Kim et al., 2007; OECD, 2016). 그러나, 해발 1,000 m의 스위스 청정지역의 PM<sub>10</sub>  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 PM<sub>2.5</sub>  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 약 2배 정도 높은 농도로 나타나고 있었다(Hueglin et al., 2005).

한편, 산림의 공익적가치 평가에서 1 ha의 숲이 매년 168 kg에 달하는 PM<sub>10</sub> 흡수하는 등 대기질 개선에

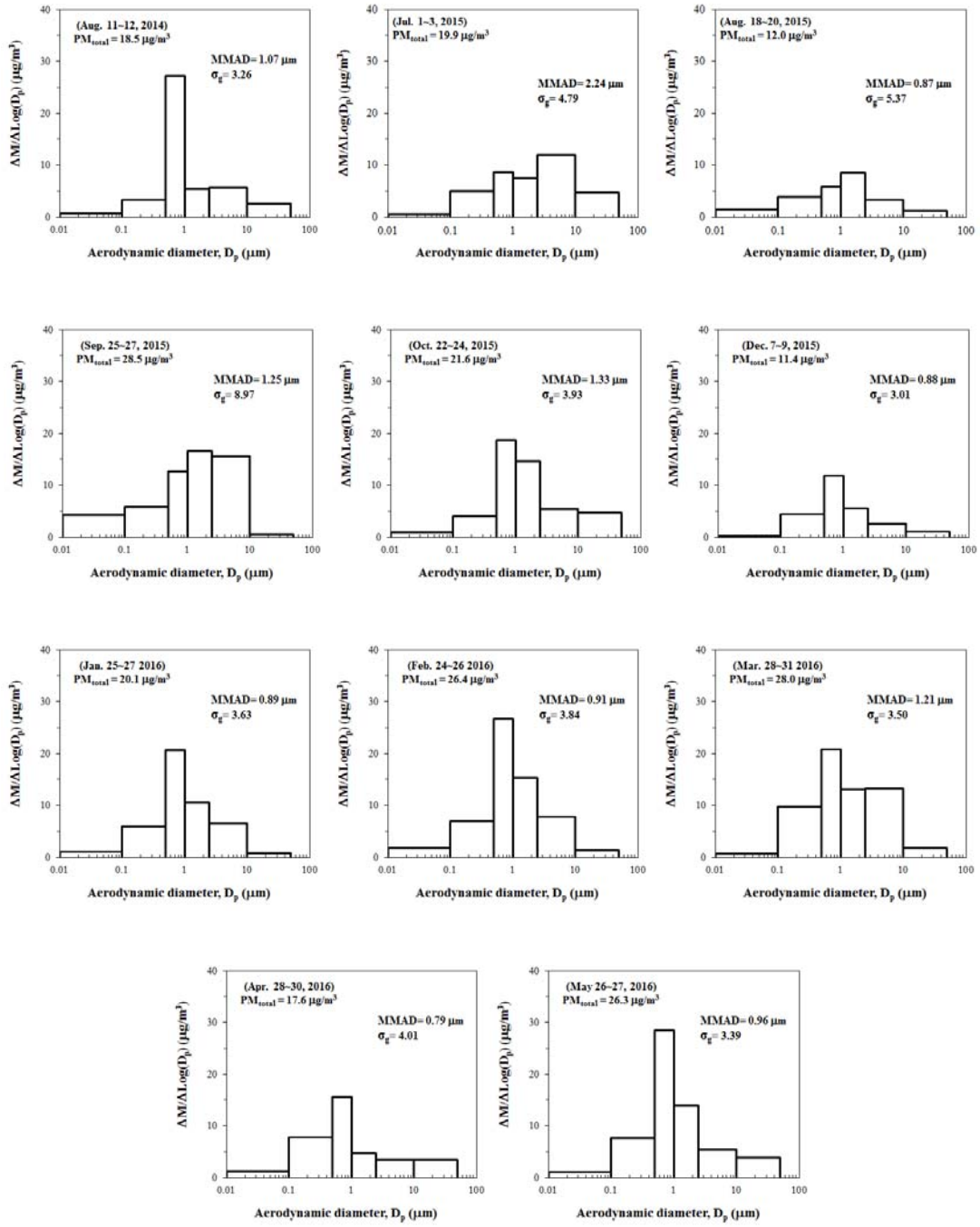


Fig. 3. The log-normal mass size distribution.

**Table 3.** PM concentration and percentage of mass size fractions

Measurement ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Annual	Spring (No. 9, 10, 11)	Summer (No. 1, 2, 3)	Autumn (No. 4, 5)	Winter (No. 6, 7, 8)
TSP	20.9 $\pm$ 6.0	24.0 $\pm$ 5.6	16.8 $\pm$ 4.2	25.1 $\pm$ 4.9	19.3 $\pm$ 7.5
PM <sub>10</sub>	19.3 $\pm$ 6.0	21.9 $\pm$ 6.0	14.8 $\pm$ 3.2	23.3 $\pm$ 6.9	18.6 $\pm$ 7.4
PM <sub>2.5</sub>	14.9 $\pm$ 4.4	17.5 $\pm$ 3.9	10.6 $\pm$ 2.3	17.0 $\pm$ 2.6	15.2 $\pm$ 5.8
PM <sub>1</sub>	10.7 $\pm$ 3.2	13.3 $\pm$ 1.9	7.8 $\pm$ 2.9	10.7 $\pm$ 2.0	11.0 $\pm$ 3.9
PM <sub>0.5</sub>	5.3 $\pm$ 1.8	6.8 $\pm$ 0.6	3.6 $\pm$ 0.6	6.0 $\pm$ 3.3	5.1 $\pm$ 1.6
PM <sub>0.1</sub>	1.2 $\pm$ 1.1	0.9 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.5	2.6 $\pm$ 2.4	1.0 $\pm$ 0.7
Ratios(-)					
PM <sub>10</sub> /TSP	0.92 $\pm$ 0.05	0.91 $\pm$ 0.05	0.89 $\pm$ 0.05	0.92 $\pm$ 0.10	0.96 $\pm$ 0.02
PM <sub>2.5</sub> /TSP	0.72 $\pm$ 0.09	0.73 $\pm$ 0.05	0.65 $\pm$ 0.16	0.68 $\pm$ 0.03	0.79 $\pm$ 0.01
PM <sub>1</sub> /TSP	0.52 $\pm$ 0.10	0.56 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.14	0.43 $\pm$ 0.00	0.58 $\pm$ 0.03
PM <sub>0.5</sub> /TSP	0.26 $\pm$ 0.07	0.29 $\pm$ 0.07	0.23 $\pm$ 0.10	0.23 $\pm$ 0.09	0.27 $\pm$ 0.02
PM <sub>0.1</sub> /TSP	0.06 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.05	0.10 $\pm$ 0.08	0.05 $\pm$ 0.02
PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	0.78 $\pm$ 0.09	0.81 $\pm$ 0.09	0.73 $\pm$ 0.14	0.75 $\pm$ 0.11	0.82 $\pm$ 0.03

효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 서울시내 도시 숲(산림)의 경우 산림식생에 의한 미세먼지 저감 효과 도시지역에 비해 38.5% 정도 낮은 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2008; KFS, 2016). 결국, 본 측정 지점의 대기 에어로졸 입자 농도수준은 지리적으로 최소 반경 10 km 이내 주요 대기배출원으로부터 직접적인 영향을 거의 받지 않고 고지대에 위치한 청정지역의 특성과 월경성 대기오염물질은 지리산의 산림 대기정화 기능에 의해 일부 제거되어 나타날 수 있는 농도 수준이라고 판단된다.

#### 4. 결론

지리산 국립공원 해발 865 m의 청정지역에서 임팩터를 이용하여 대기 에어로졸 입자의 입경별 농도분포를 파악한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

입경분포 특성은 4단(0.5~1.0  $\mu\text{m}$ )을 중심으로 농도 peak를 가진 분포형태가 주로 나타났으며, 연평균 MMAD는 1.13  $\mu\text{m}$  및  $\sigma_g$ 는 4.34으로 나타났다. TSP/PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>1</sub>/PM<sub>0.5</sub>/PM<sub>0.1</sub>의 연평균 농도는 20.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 19.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 14.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  등으로 나타났으며, 채취기간 중 모

두 TSP 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 나타났다.

특히, 본 측정지점의 농도수준은 PM<sub>10</sub> 기준으로 국가 배경측정소 중 해안가에 위치한 백령도 및 고산측정소, 도시인근 배경지역의 북한산 대기측정소보다 낮았으나, OECD 국가의 평균농도와 유사한 농도 특성으로 나타났다. 또한, 주요 대기배출원의 직접적인 영향이 없는 지리적 특성과 지리산의 산림 대기정화 기능에 의해 나타날 수 있는 농도 수준으로 추정된다.

향후 지속적인 연구를 통한 지리산의 산림 대기정화 능력 등 오염농도 수준에 대한 상세한 규명과 해석이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016년도 경남과학기술대학교 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- Dingenen, R. V., Raes, F., Putaud, J. P., Baltensperger, U., Charron, A., Facchini, M. C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hansson, H. C., Harrison, R. M., Hüglin, C., Jones, A. M., Laj, P., Lorbeer, G.,

- Maenhaut, W., Palmgren, F., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., Brink, H., Tunved, P., Tørseth, K., Wehner, B., Weingartner, E., Wiedensohler, A., Wählin, P., 2004, A European aerosol phenomenology – 1: Physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, *Atmospheric Environment*, 38, 2561-2577.
- Eryu, K., Seto, T., Mizukami, Y., Nagura, M., Furuuchi, M., Tajima, N., Kato, T., Ehara, K. T., Otani, Y., 2009, Design of inertial filter for classification of PM<sub>0.1</sub>, *Earozory Kenkyu*, 24, 24-29.
- Furuuchi, M., Eryu, K., Nagura, M., Hata, M., Kato, T., Tajima, N., Sekigucji, K., Ehara, K., Seto, T., Otani, Y., 2010, Development and performance evaluation of air sampler with inertial filter for Nanoparticle sampling, *Aerosol and Air Quality Research*, 10, 185-192.
- Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., Vonmont, H., 2005, Chemical characterization of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland, *Atmospheric Environment*, 39, 637-651.
- Jeon, B. I., Hwang, Y. S., 2014, Characteristics of weekday/weekend PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations at Busan, *Journal of Environmental Science International*, 23(7), 1241-1251.
- Jeong, H. S., Kim, S. A., 2015, Quality of life in Korea on OECD better life index, *Health Welfare Policy Forum*, 75-88.
- Kavouras, I. G., Stephanou, E. G., 2002, Particle size distribution of organic primary and secondary aerosol constituents in urban, background marine, and forest atmosphere, *Journal of Geophysical Research*, 107(D8), 1-12.
- Korea Forest Service(KFS), 2016, <http://www.forest.or.kr>
- Kim, S. D., Lee, K. B., Lee, M. J., Lee, K. J., Kim, T. S., 2008, The influence of air pollution in Seoul forest, *KOSAE, Proceeding on the 47th*, 281-283.
- Kim, S. H., 2007, Characteristics of size distribution and size-resolved source estimation of soluble species in background sites, Master Dissertation, Konkuk University, Seoul, Korea.
- Kim, W. H., Kang, C. H., Hong, S. B., Ko, H. J., Lee, W., 2007, Chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> fine particles collected at 1100 site of Mt. Halla during spring seasons between 1998 and 2004, *Analytical Science & Technology*, 20(5), 838-392.
- Kim, Y. P., Bae, G. N., Ji, J. H., Jin, H. C., Moon, K. C., 1999, Aerosol size distribution and composition at Kosan, Cheju island: Measurements in April 1998, *J. KOSAE*, 15(5), 677-685.
- Lee, K. H., Yang, H. J., Hu, C. G., 2003, Size distribution of ambient aerosol measured at a coastal site in Jeju island, *Journal of the Environmental Sciences*, 12(10), 1043-1054.
- Ministry of Environment(MoE), 2016, <http://www.me.go.kr>
- National Institute of Environmental Research(NIER), 2009, Study on the characteristic on physical and chemical properties of PM<sub>2.5</sub>, NIER NO. 2009-41-1097.
- National Institute of Environmental Research(NIER), 2015, Annual report of air quality in Korea 2014.
- OECD, 2016, <http://stats.oecd.org>
- Park, J. H., Choi, K. C., 1997, Characteristics of chemical composition and size distribution of atmospheric aerosols by low-pressure impactor, *J. KOSAE*, 13(6), 475-486.
- Park, J. H., Jang, M. J., Kim, H. K., 2015, Mass size distribution of atmospheric aerosol particles with nanosampler cascade impactor in Jinju City, *Journal of Environmental Science International*, 24(5), 679-687.
- Seoul, 2014, Assessment report of air quality 2014.
- Shu, M. S., Park, K. Y., Lee, H. G., Jang, K. M., Kang, C. H., Hu, C. G., Kim, Y. J., 1995, A Study on the characteristics of rural and urban surface ozone concentrations, *J. KOSAE*, 11(3), 253-262.
- WHO, 2005, WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 9-13.