Journal of Environmental Science International
24(5); 679~687; May 2015

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.5.679

ORIGINAL ARTICLE

다단 임팩터 Nanosampler를 이용한 진주시 대기에어로졸입자의 입경별 질량농도 특성

박정호 · 장민재 · 김형갑*

경남과학기술대학교 환경공학과

Mass Size Distribution of Atmospheric Aerosol Particles with Nanosampler Cascade Impactor in Jinju City

Jeong-Ho Park, Min-Jae Jang, Hyoung-Kab Kim*

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

Abstract

Atmospheric aerosol particles were investigated at GNTECH university in Jinju city. Samples were collected using the Nanosampler period from January to December 2014. The Nanosampler is a 6 stage cascade impactor(1 stage : > 10 μm, 2 stage : 2.5~10 μm, 3 stage : 1.0~2.5 μm, 4 stage : 0.5~1.0 μm, 5 stage : 0.1~0.5 μm, back-up : < 0.1 μm) with the stages having 50% cut-off ranging from 0.1 to 10 μm in aerodynamic diameter.

The mass size distribution of Atmospheric aerosol particles was unimodal with peak at 1.0~2.5 μm or 0.5~1.0 μm. The annual average concentrations of TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, $PM_{0.5}$ and $PM_{0.1}$ were 44.0 μg/m^3, 40.3 μg/m^3, 31.4 μg/m^3, 18.0 μg/m^3, 8.2 μg/m^3, 3.0 μg/m^3, respectively. On average PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, $PM_{0.5}$ and $PM_{0.1}$ make up 0.91, 0.70, 0.41, 0.19 and 0.07 of TSP, respectively. The annual average of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio was 0.77.

Key words : Nanosampler impactor, Jinju city, TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$/$PM_{1.0}$/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$

1. 서 론

대기 중 고체 또는 액적 상태의 부유물질인 대기에어로졸입자(atmospheric aerosol particles)는 다양한 발생원에서 직접 배출되거나 대기 중 물리화학적 생성과정 등을 통해 통상 입경 수 nm에서 100 μm까지 넓은 범위로 연속적으로 분포한다. 발생기원은 크게 입경 1 μm 이하의 미세입자(fine particles) 영역의 경우 각종 연소과정이나 대기 중 가스→입자상으로 전환된 2차 입자들 그리고 약 1 μm 이상의 조대입자(coarse particles) 영역은 토양, 해염, 꽃가루 등 자연적 발생원에서 주로 기원되고 있다(Willeke과 Whitby, 1975; Sienfeld과 Pandis, 1998). 또한, 인체 및 생태계에 미치는 피해나 국지적, 지구적 대기환경에 미치는 영향 등은 입경별 크기나 물리화학적 조성 등에 따라 크게 다르며, 특히 많은 독성학 연구에서 미세입자가 조대입자보다 더 강한 독성학적 악영향을 미친다고 보고되고 있다(Donaldson 등, 1998).

국내외적으로 대기환경기준은 인체에 미치는 유해성

Received 24 February, 2015; **Revised** 20 March, 2015;
Accepted 20 March, 2015
***Corresponding author** : Hyung-Gab Kim, Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea
Phone: +82-55-751-3342
E-mail: hgkim@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.

을 고려하여 미세먼지인 PM_{10} 및 $PM_{2.5}$로 정하고 있으나, 최근에는 저비점중금속, 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAH) 등의 유해물질로 구성되어 건강상 더 큰 악영향을 줄 수 있는 입경 0.1 μm이하의 초미세입자(ultrafine particles, UFP)에 대한 농도 특성 파악이 중요시 되고 있다(Delfino 등, 2005). 결국 대기에어로졸입자는 건강상 피해영향이나 발생원 추정 측면에서 미세입자를 포함한 입경별에 따른 농도 시료채취를 통한 상세한 대기 중 거동 특성을 파악이 중요하다.

전통적으로 입경별로 분리 포집하는 장치로써 널리 사용되는 다단 임팩터(cascade impactor)는 노즐을 통해 가속시켜 기류와 함께 이동하는 에어로졸입자를 충돌판에 충돌시켜 관성이 작은 입자는 유선을 따라 이동되지만 관성이 큰 입자는 충돌판에 포집되는 장치로서 입자의 크기는 공기역학적 직경(aerodynamic diameter)에 의해 입경별로 분리 포집하는 관성 임팩터이다. 관성 임팩터는 입자의 크기가 작아지면 입자의 관성력이 낮아져 분리효율이 급격히 떨어지게 되므로 대기압 조건에서는 입경 약 0.3 μm까지 분급 포집가능하다. 또한, 최근에는 입경 0.1 μm까지도 분급 포집가능한 LPI(low pressure impactor) 임팩터가 사용되고 있는데, LPI는 저압상태에서 공기의 부피가 증가하여 밀도가 감소되고 입자의 노즐을 통과하는 평균속도가 증가하기 때문에 작은 입자까지도 충돌판에 포집할 수 있게 된다(Marple과 Willeke, 1976; Hering 등, 1979; Hillamo와 Kauppinen, 1991). 그러나 LPI는 -90 kPa 전후의 감압조건에서는 휘발성입자들이 손실되기 때문에 UFP입자에 대한 시료채취의 문제점이 지적되고 있다(Hering 등, 1990; Zahang과 McMurry, 1991). 또한 LPI는 기류의 속도가 증가하게 되면 충돌판에 쌓여있는 입자들이 무너지고 재비산되어 하단의 충돌판으로 이동하게 되는 blow off 현상으로 분리단별 정확한 입경분포 특성을 얻기가 어렵다(Wang과 John, 1988; Michael 등, 2002). 이러한 문제점을 대해 Otani 등(2007)은 스테인레스 섬유로 만든 관성필터(inertial filter)를 이용하여 기존 LPI보다 낮은 압력손실(약 30kPa)로서 UFP입자의 효율적인 분급채취와 더불어 대기 에어로졸입자의 $PM_{10}/PM_{2.5}/PM_1/PM_{0.5}/PM_{0.1}$별 분급 채취가능한 Nanosmpaler를 개발하여 보고하고 있다.

최근 국내에서는 전국단위의 고농도 미세먼지가 사회적 환경문제로 관심이 집중되고 있는 배경 하에 지역 대기에어로졸입자의 상세한 거동 특성 파악이 중요하며, 이에 본 연구에서는 다단 임팩터인 Nanosmpaler를 이용하여 진주시 대기 중 대기에어로졸입자의 시료를 채취하고 대수정규분포 및 입경별 농도분포 등 보다 상세한 지역 대기 중 거동 특성을 분석함으로써 이와 관련된 연구자료의 제공 및 지역 대기질 관리정책의 기초자료로 삼고자 한다.

2. 자료 및 분석방법

2.1. 다단 임팩터 Nanosampler

Fig. 1에는 본 연구에서 사용한 다단 임팩트인 Nano-sampler(Kanomax사 Model 3180, Japan)를 나타냈으며, 입구로부터 유입된 에어로졸입자를 1~4단의 분리단(1단 : >10 μm, 2단 : 2.5~10 μm, 3단 : 1.0~2.5 μm, 4단 : 0.5~1.0 μm), 관성필터(inertial filter) 카트리지(5단 : 0.1~0.5 μm) 및 back-up 필터(< 0.1 μm)를 통해 분리 포집되어, 총부유먼지(total suspended particles, TSP)를 포함한 $PM_{10}/PM_{2.5}/PM_1/PM_{0.5}/PM_{0.1}$의 입경별 농도분포를 파악 할 수 있다(Eryu et al., 2009; Furuuchi et al., 2010). 한편, 본 연구에서는 임팩터의 전체 농도를 총부유먼지(TSP) 그리고 공기역학적 입경 1 μm 전후로 구분한 1단~3단을 조대입자(coarse particles) 및 4단~back-up을 미세입자(fine particles) 영역 농도로 구분하였다.

본 임팩터의 포집원리는 1~4단 분리단의 경우 일반적인 임팩터의 포집원리와 동일하게 유입된 에어로졸입자는 낮은 압력손실(약 5.4 kPa)하에서 분리단에 충돌되고 관성력에 의해 포집되어진다. 반면, 관성필터 카트리지의 경우 직경 4 mm, 길이 8 mm의 테프론 카트리지에 입경 8 μm의 공극률이 큰 SUS미세섬유를 약 9.8 mg 충진(충진율 약 0.01) 시킴으로써 압력손실이 기존 저압 임팩터의 1/10 정도로 낮아 에어로졸입자를 고속기류로 통과시키면 관성포집 효율은 증가되고 확산포집 효율은 억제됨으로써 입경 0.1 μm이하의 UFP입자도 큰 손실 없이 분급포집이 가능하다(Otani 등, 2007). 또한, 포집유량은 대기 중 미량 농도인 UFP입자를 효율적으로 신속하게 포집할 수 있도록 통상 임팩터들의 유량(20~30 L/min)보다 비교적 큰 40 L/min으로 설계되어있다.

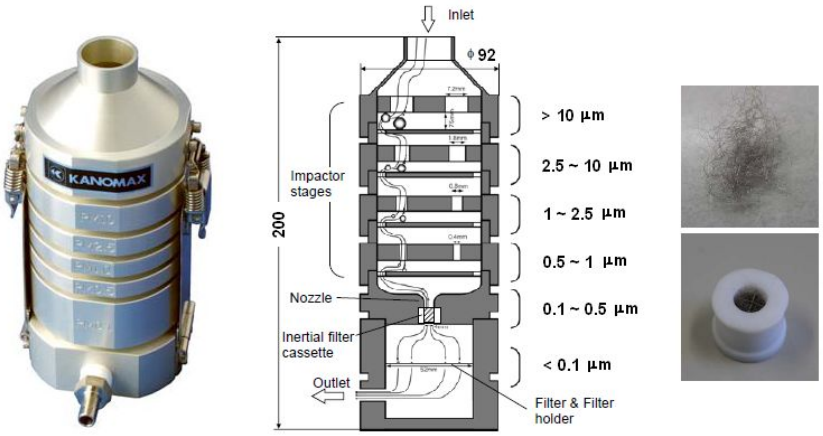

Fig. 1. Schematic drawing and picture of the Nanosampler and inertial filter cassette along with SUS fiber.

2.2. 시료채취 방법

시료채취에 사용된 여재는 각 분리단과 back-up 필터는 직경 55 mm의 석영필터(Pallflex사 2500QAT-UP 및 ADVANTEC사 QR-100)를 사용하였으며, 관성필터의 경우 본 임팩터 제조회사인 Kanomax사가 제공하는 직경 8 μm의 SUS섬유를 원형 테프론 카트리지에 약 9.8 mg 충진 후 시료채취에 사용하였다.

시료채취 장소는 경남 진주시 소재 경남과학기술대학교(GNTECH) 공동실험실습관 4층 옥상에서 실시하였으며, 본 측정지점은 도심지역의 중심에 위치한 주거지역으로 간선도로에서 약 100 m 떨어져 있어 자동차 등 주요 대기오염물질 배출원의 직접적인 영향이 없는 곳이다. Table 1에는 시료채취 기간 및 기상상태를 나타냈으며, 시료채취는 임팩터 포집유량 40 L/min로 2014년 1월부터 1년간 매월 2~3일간 연속으로 12회의 대기에어로졸입자 시료를 채취하였다. 또한, 포집전후의 필터 무게를 칭량하기 위해 시료채취 전후 24시간 이상 데시게이트에서 항온, 항습한 후 무게 0.01 mg까지 칭량가능한

Table 1. Sampling periods and meteorological conditions

	Periods (days)	Sampling flow(m^3)	Meteorological conditions			
			Temp.(℃)	RH(%)[a]	WS(m/s)[b]	RF(mm)[c]
Jan. 6~9	3	172.8	1.2±4.4	51±23	1.4±1.4	4.5
Feb. 19~22	3	172.8	1.3±5.4	55±24	0.8±0.9	0.0
Mar. 26~29	3	172.8	13.4±4.8	74±26	0.8±0.8	6.5
Apr. 21~24	3	172.8	15.5±5.9	53±28	0.9±0.9	0.0
May 21~24	3	172.8	19.5±4.5	65±0.9	1.3±0.9	0.0
June 24~27	3	172.8	21.8±3.0	81±19	1.0±0.6	16.5
July 21~24	3	172.8	27.1±2.6	79±15	1.6±0.6	0.0
Aug. 27~29	2.3	129.6	21.6±2.0	87±15	0.9±0.7	1.5
Sep. 16~19	3	172.8	20.5±3.0	79±18	0.8±0.7	20.0
Oct. 6~8	2	115.2	15.0±5.2	71±25	0.7±0.7	0.0
Nov. 17~20	3	172.8	5.1±5.3	62±25	0.9±0.9	0.0
Dec. 22~24	2	115.2	-0.3±4.0	74±23	0.6±0.7	0.0

[a]RH(%): relative humidity, [b]WS(m/s): wind speed, [c]RF(mm): rainfall amount

전자저울(AT201, METTLER, USA)을 이용하여 측정 전후의 필터 중량을 칭량하고 질량 농도를 산정하였다.

2.3. 대수정규분포의 작성

통상 임팩터에 의해 포집된 대기 에어로졸입자의 입경별 농도분포는 넓은 범위의 입경 폭을 대수(logarithm)로 변환시켜 대수정규분포(log-normal distribution)로 나타내면 데이터 해석이 편리하다. 또한, 대수정규분포의 특성은 전체 질량농도의 50% 절단입경인 공기역학적 질량중앙경(mass median aerodynamic diameter, MMAD) 및 기하표준편차(geometric standard deviation, σ_g)의 변수로 설명할 수 있다. 한편, MMAD 및 σ_g는 입경분포 특성을 표시하는 중요한 인자로서 일반적으로 대수확률(log-probability) 그래프용지에서 각 분리단의 50% 절단입경($d_{50\%}$)에 해당하는 농도 누적 퍼센트와의 교차점들을 수작업으로 최적 직선(best-fit line)을 긋어 구할 수 있다(Hinds, 1982). 그러나 수작업으로 직선식을 긋는 방식은 다소의 오차가 발생될 수 있으며, 본 연구에서는 엑셀 프로그램(MS Excel)상에서 대수확률 그래프용지를 작성하고 각 분리단의 농도 누적 퍼센트를 통해 선형회귀선의 y 절편 및 기울기를 구하는 최소자승회귀분석(least-squares linear regression)으로 직선방정식을 긋는 Probit method를 이용하여 각각의 MMAD과 σ_g를 구하였다(O'Shaughnessy 와 Raabe, 2003).

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 분리단의 농도 특성

2014년 1월부터 1년간 매월 임팩터로 대기에어로졸 입자의 시료를 채취한 결과 각 분리단의 입경범위별 농도, 입경 1 μm 전후로 한 1~3단까지의 조대입자(coarse particles) 및 4단~back-up까지의 미세입자(fine particles) 영역 농도 그리고 총부유먼지(TSP)의 농도 추이를 Table 2에 나타냈다.

각 분리단의 농도는 월별 다소의 차이가 있지만, 전반적으로 연평균 농도는 3단(1.0~2.5 μm) 13.4 μg/m^3 > 4단(0.5~1.0 μm) 9.8 μg/m^3 > 2단(2.5~10 μm) 8.9 μg/m^3 > 5단(0.1~0.5 μm) 5.2 μg/m^3 > 1단(>10 μm) 3.7 μg/m^3 > back-up(0.1 μm) 3.0 μg/m^{3}의 순으로 높았다. 또한, TSP 농도에 대한 기여율은 3단 29.1% > 4단 22.0% > 2단 21.2% > 5단 11.8% > 1단 8.6% > back-up 7.4%의 순으로 높게 나타났다.

Table 2. PM mass concentration for each size fraction during January~December, 2014

	Size fraction(μg/m^3)						Coarse* (μg/m^3)	Fine** (μg/m^3)	TSP (μg/m^3)
	1 (> 10μm)	2 (2.5~10μm)	3 (1.0~2.5μm)	4 (0.5~1.0μm)	5 (0.1~0.5μm)	back-up (< 0.1μm)			
Jan.	3.2	9.7	15.8	13.6	6.6	3.0	28.8	23.1	51.9
Feb.	2.3	2.6	19.4	21.8	7.4	1.4	24.3	30.6	54.9
Mar.	5.9	13.0	15.8	11.3	4.9	2.2	34.7	18.3	53.1
Apr.	8.6	13.7	10.6	11.6	10.6	4.0	32.8	26.2	59.0
May	4.3	8.9	17.3	7.6	5.2	5.5	30.6	18.4	49.0
June	2.6	8.9	24.0	8.3	4.4	3.1	35.5	15.9	51.4
July	3.0	8.7	24.0	8.3	4.7	3.0	35.7	16.0	51.7
Aug.	3.3	11.7	7.1	4.8	2.4	2.0	22.1	9.2	31.3
Sep.	1.0	7.1	9.1	6.3	2.8	2.4	17.2	11.6	28.8
Oct.	2.7	5.1	2.7	5.1	3.0	3.1	10.5	11.3	21.8
Nov.	2.9	7.0	7.5	9.5	5.1	3.1	17.4	17.7	35.0
Dec.	4.9	10.3	7.5	9.0	5.4	3.4	22.7	17.8	40.5
Ave.	3.7	8.9	13.4	9.8	5.2	3.0	26.0	18.0	44.0
SD	2.0	3.2	7.0	4.6	2.2	1.0	8.3	6.2	12.1

* Coarse fraction : diameter > 1 μm , ** Fine fraction : diameter < 1 μm

조대입자 및 미세입자 영역의 농도는 연평균 26 μg/m^3, 18.0 μg/m^{3}로 각각 나타났으며, TSP 농도에 대한 기여도는 조대 0.588 : 미세 0.412로 전반적으로 조대입자 영역이 다소 높았다. 그러나, 2월, 10월, 11월의 경우 미세입자 영역의 기여도가 더 높은 등 월별 농도 차이가 나타났다.

TSP의 농도는 월별 21.8~59.0 μg/m^{3}의 농도 분포로 특히, 농도가 가장 높았던 4월이 가장 낮았던 10월에 비해 약 2.7배 높게 나타나는 등 월별 농도 특성을 보였고 연평균 농도는 44.0 μg/m^{3}으로 과거 TSP 연간 대기환경기준(150 μg/m^3 이하)보다 낮은 농도 수준을 보였다.

한편, 임팩터를 사용한 기존 연구들과의 비교에서는 각 연구들에서 사용된 임팩터 각 분리단의 50% 절단입경이 다르므로 입경별 농도 특성을 상대적으로 비교하기 어렵지만, TSP 농도는 도심지역의 경우 Lee 등(2008)은 천안지역 61.7 μg/m^3, Oh 등(2009)은 수원지역 63.8 μg/m^3 그리고 배경지역의 경우 Kim 등(1999)은 제주도 고산지역 19.8~25.6 μg/m^{3}로 보고하고 있는 등 지역별 농도 수준 차이를 비교할 수 있었다.

3.2. 대수정규분포 특성

Table 2에는 월별 대기에어로졸입자의 질량농도의 대수정규분포($\Delta M/\Delta Log(D_p)$)와 질량중앙경(MMAD) 및 기하표준편차(σ_g)를 나타냈다.

본 연구에서 사용된 Nanosampler 임팩터에 의한 대수정규분포는 대부분 3단(1.0~2.5 μm) 또는 4단(0.5~1.0 μm)에서 peak를 나타내는 단일형분포(unimodal)의 형태로 나타났다. 특히 겨울철(1월, 2월, 12월) 및 가을철(10월, 11월)의 경우 4단에서 봄철(3월, 5월) 및 여름철(6월, 7월)의 경우 3단에서 상대적으로 높은 농도 peak를 보이는 등 월별, 계절별 다양한 분포 특성을 보이고 있었다.

한편, 대기에어로졸입자 시료채취에 널리 사용되는 8단, 11단, 12단형 등 다단 임팩터의 경우 대수정규분포는 입경 약 1 μm를 경계로 조대입자 및 미세입자 영역에서 각 peak가 나타나는 이산형분포(bimodal)의 일반적인 형태와는 상이하였는데(Park 등, 1997), 이는 각 임팩터 마다의 분리단의 수, 50% 절단입경, 포집되는 입경범위 등의 특성이 다르기 때문이라 판단된다.

넓은 입경범위를 가진 대기에어로졸입자의 대표 입경을 표시하는 방법 중의 하나인 MMAD는 연평균 1.36 μm으로 나타났으며, 월별 특성은 2월 0.83 μm로 가장 작았고 8월 2.68 μm으로 가장 큰 것으로 나타났다. 또한, 대기에어로졸입자의 입경 범위 폭을 가늠할 수 있는 σ_g는 연평균 4.93로 나타났으며, 월별로는 2월 2.53로 가장 작았고 10월 8.06으로 가장 큰 것으로 나타났다.

한편, MMAD 관련 기존 연구들에서는 청정지역인 제주도 해안가 1.8 μm 그리고 국가배경지역인 강화 2.07 μm 및 고산 3.92 μm 등으로 보고되고 있다(Lee 등, 2003; Kim, 2007).

3.3. TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$의 농도 분포 특성

본 연구에서 사용된 Nanosampler는 일반적으로 널리 사용되는 임팩터와 달리 각 분리단의 50% 절단입경이 PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$의 입경별 농도분포로 정확히 구분 할 수 있다는 특징이 있다. Table 3에는 연평균 및 겨울(1월, 2월, 12월), 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 등 계절별 TSP 및 입경별 농도 특성을 나타냈다.

전반적으로 TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$의 농도는 연평균 44.0 μg/m^3, 40.3 μg/m^3, 31.4 μg/m^3, 18.0 μg/m^3, 8.2 μg/m^3, 3.0 μg/m^{3}등으로 각각 나타났으며, 계절별로는 TSP 및 PM_{10}의 경우 봄 > 겨울 > 여름 > 가을의 순으로 $PM_{2.5}$ 및 PM_1는 겨울 > 봄 > 여름 > 가을의 순으로 그리고 $PM_{0.5}$ 및 $PM_{0.1}$의 경우 계절별 큰 농도 차이는 나타나지 않았다. 특히, 본 연구에서 PM_{10} 및 $PM_{2.5}$의 농도 수준은 PM_{10}의 경우 대기환경기준을 만족하지만, $PM_{2.5}$의 경우 24시간 기준(50 μg/m^3)이하이지만 연평균 기준(25 μg/m^3)을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 최근 연구결과와 비교해 보면 진주지역 PM_{10} 32.7 μg/m^3 및 $PM_{2.5}$ 22.6 μg/m^3 그리고 부산지역 PM_{10} 31.4~60.2 μg/m^3 및 $PM_{2.5}$ 17.1~38.7 μg/m^{3}의 농도범위와 유사한 경향으로 나타났다(Jeon과 Hwang, 2014; Park 등, 2014).

대기에어로졸입자의 입경분포에서 미세입자 영역으로 구분되는 PM_1 농도는 겨울 23.8 μg/m^{3}로 여름 13.7 μg/m^3 및 가을 13.5 μg/m^{3}에 비해 약 1.7배 높은 것으로 나타났다.

UFP입자인 $PM_{0.1}$의 농도는 연평균 3.0 μg/m^{3}으로 월별 큰 농도차이가 없었다. UFP는 각종 유해물질이 많이

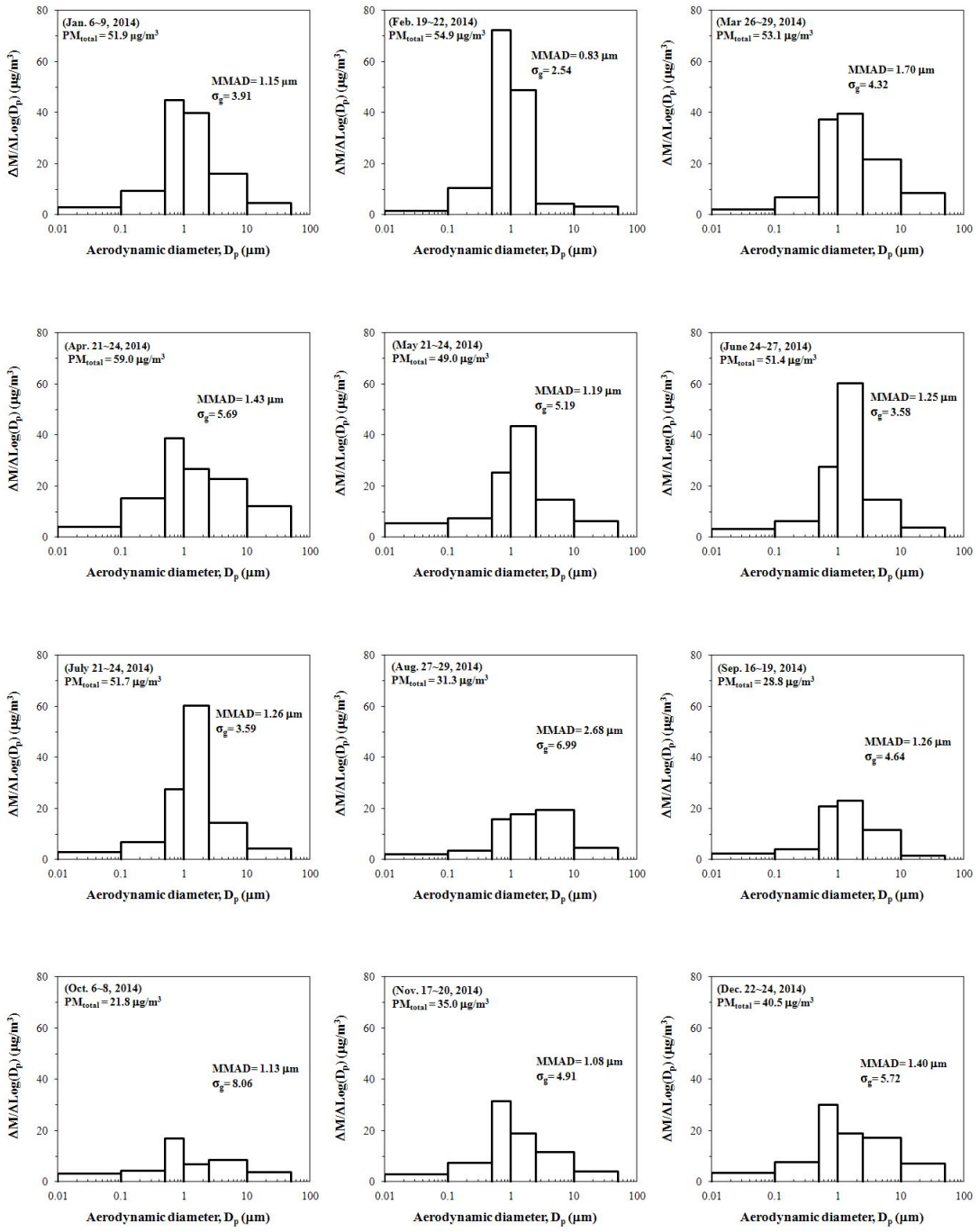

Fig. 2. The log-normal mass size distribution during January~December, 2014.

Table 3. PM concentration and percentage of mass size fractions

Measurement ($\mu g/m^3$)	Annual	Winter	Spring	Summer	Autumn
TSP	44.0±12.1	49.1±7.6	53.7±5.1	44.8±11.7	28.5±6.6
PM_{10}	40.3±11.2	45.6±8.9	47.4±2.9	41.9±12.0	26.3±6.6
$PM_{2.5}$	31.4±11.0	38.1±12.4	35.6±1.3	32.1±13.7	19.9±5.6
PM_1	18.0±6.2	23.8±0.54	21.0±4.5	13.7±3.9	13.5±3.6
$PM_{0.5}$	8.2±2.7	9.1±0.5	10.8±3.7	6.6±1.9	6.5±1.5
$PM_{0.1}$	3.0±1.0	2.6±1.0	3.9±1.7	2.7±0.6	2.9±0.4
Rations(-)					
PM_{10}/TSP	0.91±0.04	0.92±0.04	0.98±0.11	0.84±0.13	0.56±0.22
$PM_{2.5}$/TSP	0.70±0.10	0.76±0.14	0.74±0.13	0.63±0.20	0.42±0.18
PM_1/TSP	0.41±0.09	0.48±0.07	0.43±0.07	0.27±0.04	0.29±0.13
$PM_{0.5}$/TSP	0.19±0.05	0.19±0.03	0.22±0.07	0.13±0.02	0.14±0.05
$PM_{0.1}$/TSP	0.07±0.03	0.06±0.03	0.08±0.05	0.05±0.01	0.06±0.01
$PM_{2.5}/PM_{10}$	0.77±0.09	0.82±0.12	0.75±0.04	0.74±0.14	0.75±0.03

함유되어 건강상 독성영향이 크며, 대기에어로졸입자 중 질량농도 기여율이 1~20% 정도인 것으로 알려져 있다(Eryu 등, 2009; HEI, 2013). 또한 Pakkanen 등(2001)은 헬싱키 도심지역 0.49 $\mu g/m^3$ 및 시골지역 0.52 $\mu g/m^3$ 그리고 Filippo 등(2014)은 로마 도심지역 1.2~1.3 $\mu g/m^3$로 PM_{10} 농도에 대한 기여율이 5% 수준으로 보고하고 있는 등 본 연구지역이 다소 높은 것으로 나타났다.

TSP 농도에 대한 입경범위별 기여도는 연평균 PM_{10} 0.91, $PM_{2.5}$ 0.70, PM_1 0.41, $PM_{0.5}$ 0.19 $PM_{0.1}$ 0.07로 각각 나타났으며, PM_{10}의 기여도는 봄 > 겨울 > 여름 > 가을의 순으로 $PM_{2.5}$ 및 PM_1는 겨울 > 봄 > 여름 ≒ 가을의 순으로 그리고 $PM_{0.5}$ 및 $PM_{0.1}$의 경우 계절별 큰 농도 차이는 나타나지 않았다.

또한, $PM_{2.5}/PM_{10}$의 농도비는 연평균 0.77로 겨울이 다소 높지만 계절별 큰 차이는 나타나지 않았다. $PM_{2.5}/M_{10}$의 농도비는 지역별 발생원의 영향 특성과 시기에 따른 큰 차이를 보일 수 있는데, Park 등(2014)의 진주지역 0.70 그리고 NIER(2009)의 경기 포천지역 0.71과는 유사하였지만, 부산지역 약 0.55 보다는 다소 높은 것으로 나타났다(Jeon과 Hwang, 2014).

4. 결론

연구에서는 지역 대기에어로졸입자의 입경별 농도분포 특성을 상세히 파악하기 위해 각 분리단의 입경별 분급 특성이 TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$등으로 채취 가능한 Nanosampler를 이용하여 시료를 채취한 결과, 대수정규분포는 3단(1.0~2.5 μm) 또는 4단(0.5~1.0 μm)에서 peak를 나타내는 단일형분포의 형태로 연평균 MMAD는 1.36 μm, σ_g는 4.93로 나타났다.

TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1/$PM_{0.5}$/$PM_{0.1}$의 연평균 농도는 44.0 $\mu g/m^3$, 40.3 $\mu g/m^3$, 31.4 $\mu g/m^3$, 18.0 $\mu g/m^3$, 8.2 $\mu g/m^3$, 3.0 $\mu g/m^3$ 등으로 나타났으며, TSP 농도에 대한 입경범위별 기여도는 PM_{10} 0.91, $PM_{2.5}$ 0.70, PM_1 0.41, $PM_{0.5}$ 0.19 $PM_{0.1}$ 0.07로 각각 나타났다.

PM_{10}의 농도 수준은 대기환경기준을 만족하지만, $PM_{2.5}$의 경우 연평균 기준을 초과하는 것으로 나타났고 특히, $PM_{0.1}$의 농도 수준은 연평균 3.0 $\mu g/m^3$으로 외국의 측정결과와 비교하여 다소 높은 농도 수준인 것으로 나타났다.

이러한 지역 대기에어로졸입자의 입경별 농도 수준 파악을 통해 향후 발생원 추적을 통해 보다 상세한 지역

대기환경에 미치는 영향 특성의 규명 등 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 경남과학기술대학교 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

REFERENCE

Delfino, R. J., Sioutas, C., Malik, S., 2005, Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health, Environ. Health Perspect., 113, 934-946.

Donaldson, K., Li, X. Y,, MacNee, W., 1998, Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury, Journal of Aerosol Science, 29(5/6), 553-560.

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 $PM_{0.1}$, Earozory Kenkyu, 24, 24-29.

Filippo, P. D., Pomata, D., Riccardi, C., Buiarelli, F., Gallo, V., Quaranta, A., 2014, Free and combined amino acids in size-segregated atmospheric aerosol samples, Atmospheric Environment, 98, 179-189.

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.

Health Effects Institute(HEI), 2013, Understanding the health effects of ambient ultrafine particles, HEI Perspectives 3, Boston, USA.

Hering, S.V., Appel, B.R., Cheng, W., Salaymeh, F., Cadle Mulawa, S.H.P.A., Cahill, T.A., Eldred, A., Surovik, M., Fitz, D., Howes, J.E., Knapp, K.T., Stockburger, L., Turpin, B.J., Huntzicker, J.J., Zhang, X.-Q., McMurry, P.H., 1990, Comparison of sampling methods for carbonaceous aerosols in ambient air, Aerosol Science and Technology, 12(1), 200-213.

Hering, S. V., Friedlander, S. K., Collins, J. J., Richards, L. W., 1979, Design and evaluation of a new low-pressure impactor. 2, Environ. Sci. Technol., 13(2), 184 – 188.

Hillamo, R. E., Kauppinen, E. I., 1991, On the Performance of the Berner Low Pressure Impactor, Aerosol Science and Technology, 14, 33-47.

Hinds, W. C., 1982, Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, John Wiley and Sons Inc.; 120-150.

Jeon, B. I., Hwang, Y. S., 2014, Characteristics of weekday /weekend PM10 and PM2.5 concentrations at Busan, Journal of Environmental Science International, 23(7), 1241-1251.

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.

Kim, S. Y., 2007, Characteristics of size distribution and size-resolved source estimation of soluble species in background sites, Master`s degree Konkuk university.

Lee, H. B., Oh, S. E., 2008, Size-segregated mass and ion concentrations of atmospheric aerosols in Cheonan city between 2006 and 2007, Journal of the Korea Academia -Industrial cooperation Society, 9(5), 1349-1353.

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.

Marple, V. A., Willeke, K., 1976, Impactor design, Atmo -spheric Environment, 10, 891-896.

Michael, D. G., Seongheon, K., Chandan, M., Constantinos, S., Bernard, A. O., Virgil, A. M., 2002, A methodology for measuring size-dependent chemical composition of ultrafine particles, Aerosol Sci. Technol., 36, 748-762.

National Institute of Environmental Research(NIER), 2009, Study on the characteristic on physical and chemical properties of PM2.5, NIER NO. 2009-41-1097.

Oh, M. S., Lee, T. J., Kim, D. S., 2009, Characteristics of ionic components in size-resolved particulate matters in Suwon area, J. KOSAE, 25(1), 46~56

O'Shaughnessy, P. T., Raabe, O. G., 2003, A comparison of cascade impactor data reduction methods, Aerosol Sci Technol, 37, 187-200

Otani, Y., Eryu, K., Furuuchi, M., Tajima, N., Tekasakul, P. (2007) Inertial classification of Nanoparticles with fibrous filters, Aerosol and Air Quality Research, 7, 343-352.

Pakkanen, T. A., Kerminen, V., Korhonen, C. H., Hillamo, R. E., Aarnio, P., Koskentalo, T., Maenhaut, W., 2001,

Urban and rural ultrafine(PM0.1) particles in the Helsinki area, Atmospheric Environment, 35, 4593-4607.

Park, J. H., Park, G. H., Suh, J. M., 2014, Characterization of PM10 and PM2.5 mass concentrations in Jiju, Journal of Environmental Science International, 23(12), 1963-1970.

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.

Sienfeld, J. H., Pandis, S. N., 1998, Atmospheric chemistry and physics, John wiley & sons, Inc., 408-447.

Wang, H. C., John, W., 1988, Characteristics of the Berner impactor for sampling Inorganic Ions, Aerosol Science and Technology, 8, 157-172.

Willeke, K., Whitby, K. T., 1975, Atmospheric aerosols: size distribution interpretation, Journal of the Air Pollution Control Association, 25, 529-534.

Zahang, X., McMurry, P. H., 1991, Theoretical analysis of evaporative losses of adsorbed species during atmospheric aerosol sampling, Environ. Scl. Technol., 25, 456-459.