

ORIGINAL ARTICLE

## 진주시 대기중 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도 특성

박정호 · 박기형<sup>1)</sup> · 서정민<sup>2)\*</sup>

경남과학기술대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>부산광역시보건환경연구원, <sup>2)</sup>부산대학교 바이오환경에너지학과

### Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Mass Concentrations in Jinju

Jeong-Ho Park, Gee-Hyeong Park<sup>1)</sup>, Jeong-Min Suh<sup>2)\*</sup>

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

<sup>1)</sup>Busan Metropolitan city Institute of Health & Environment, Busan 616-110, Korea

<sup>2)</sup>Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

#### Abstract

Ambient particulate matters (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) were investigated at GNTECH university in Jinju city. Samples were collected using a dichotomous sampler (series 240, Andersen Corp.) and a TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) monitor period from November 2012 to October 2013. For the dichotomous sampler measurements, daily 24-h integrated PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10-2.5</sub> ambient air samples were collected at a total flow rate of 16.7 L/min. For the TEOM monitor measurements, daily 1-h integrated PM<sub>10</sub> ambient air samples were collected at a flow rate of 16.7 L/min. The annual average concentrations of PM<sub>10-2.5</sub> and PM<sub>2.5</sub> by a dichotomous sampler were 10.0±6.1 µg/m<sup>3</sup> and 22.6±9.3 µg/m<sup>3</sup>, respectively. And PM<sub>10</sub> concentration by dichotomous sampler were similar to TEOM monitor by 32.7±12.9 µg/m<sup>3</sup> and 31.7±11.3 µg/m<sup>3</sup>, respectively. And good correlation (R<sup>2</sup>=0.964) between the two methods was observed. The annual average of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio was 0.70±0.12.

**Key words** : Ambient aerosol, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Mass concentration, Jinju city

#### 1. 서론

대기 중 입자상물질(particulate matter; PM)은 입경 수 nm 에서 수십 µm까지 연속적으로 분포하고 있으며, 이중 장기간 부유하면서 인체 건강에 피해를 줄 수 있는 입경 10 µm 이하의 모든 입자상물질인 PM<sub>10</sub>은 생성과 정과 크기에 따라 초미세(ultrafine, < 0.1 µm), 축적(accumulation, 0.1~2.5 µm) 그리고 조대(coarse, 2.5~10 µm) 등 크게 3가지 모드(mode)로 분류되고 있다. 이

중 초미세와 축적 영역 즉, 입경 2.5 µm 이하의 모든 입자들을 PM<sub>2.5</sub>(fine particle)로 정의하고 있다(Whitby, 1978; Baron과 Willeke, 2001).

대기 중 PM은 다양한 발생원(source)에서 배출되고 있는데, 특히 PM<sub>2.5</sub>는 불완전 연소과정으로 발생된 가스상 물질이 대기 중에서 가스→입자 전환과정에 따라 형성된다(Seinfeld과 Pandis, 1998). 또한 많은 독성학 연구에서는 입자의 크기에 따라 미세입자(fine particle)가 조대입자(coarse particle)보다 더 강한 독성학적 약영향

Received 5 March, 2014; Revised 7 May, 2014;

Accepted 21 July, 2014

\*Corresponding author: Jeong-Min Suh, Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea  
Phone: +82-55-350-5436  
E-mail: suhjm@pusan.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 미친다고 보고되고 있다(Donaldson 등, 1998).

이러한 PM<sub>2.5</sub> 특성으로 미국 EPA(US environmental protection agency)에서는 1997년에 기존의 PM<sub>10</sub>의 환경기준에 PM<sub>2.5</sub>의 기준을 신설하였고 2006년에는 인체 유해성을 고려하여 PM<sub>10</sub>의 연평균기준(50 µg/m<sup>3</sup>)을 삭제하고 PM<sub>2.5</sub>의 24시간 기준을 35 µg/m<sup>3</sup>로 강화하였으며, 연간 산술평균농도의 3년 평균치가 15 µg/m<sup>3</sup>을 초과하지 않도록 설정하였다. 또한 WHO는 PM<sub>2.5</sub>의 24시간 및 연평균 환경기준을 각각 25 µg/m<sup>3</sup>과 10 µg/m<sup>3</sup>로 보다 엄격하게 설정하고 있다.

한편 환경부에서는 1995년부터 미세먼지(PM<sub>10</sub>)에 대한 대기환경기준을 설정한 이후 2007년부터 24시간 평균 100 µg/m<sup>3</sup>, 연평균 50 µg/m<sup>3</sup>으로 기준을 더욱 강화하였다. 그러나 PM<sub>10</sub> 농도가 기준 이하라 하더라도 건강상의 장해를 가져올 수 있고, 시정감소에 직접적인 영향을 미치는 입자의 크기는 2 µm 이하로서 빛의 산란과 흡수효율이 매우 크다는 점이 고려되어 2011년에 환경정책기본법을 개정하여 2015년부터 대기환경기준에 PM<sub>2.5</sub> 항목(24시간 평균 50 µg/m<sup>3</sup>, 연평균 25 µg/m<sup>3</sup>)을 추가하였다(NIER, 2011; NIER, 2012).

최근 우리나라에서는 중국발 스모그로 인해 전국적으로 미세먼지 농도가 치솟는 등 미세먼지에 대한 대기환경 문제가 확산되고 있으나 일부 청정지역과 대도시지역

을 중심으로 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다(Cho 등, 2003; NIER, 2009; Jeon, 2010). 따라서 각 지역별 미세먼지 특성 연구에 관한 연구보고가 필요한 실정인데, 특히 서부경남지역의 중심지인 진주시는 인구 약 33만의 도농복합도시로서 친환경도시를 표방하고 있고 지역 대기환경에 큰 악영향을 줄만한 대형배출원이 없으나 최근 고농도 오존의 빈번한 발생 등으로 청정도시 이미지 훼손과 전반적인 지역 대기질 악화 우려의 목소리가 높아지고 있다(Park, 2010).

따라서 본 연구에서는 진주시 소재 경남과학기술대학교에서 2012년 11월부터 2013년 10월까지 1년간 매일 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>의 시료를 채취하고 대기 중 거동 특성을 파악하였다. 이를 통해 지역의 대기환경 중 미세먼지 오염의 현황 문제점을 파악하고 측정자료의 축적을 통해 향후 지역 특성에 맞는 대기오염 저감대책을 제안하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료채취 지점

경상남도 진주시는 총면적 713 km<sup>2</sup>, 인구 약 33만명, 1읍, 15면, 21동의 행정구역으로 구성된 도농복합도시이며, 진양호와 시를 관통하는 남강이 흐르는 진주의 지형은 표고 100~500 m 높이의 낮은 산이 분포하고 구릉



Fig. 1. Map of Jinju and sampling site(GNTECH).

형태로 나타나고 있어 약풍 지속시 대기오염물질의 축적이 용이한 지형적 특성이 나타난다. 도심에는 상평지방 산업단지가 입지해 있고 도심 외각으로 남해 및 통영-대전간 고속도로가 관통하고 있다(Jinju, 2013).

본 연구에서 대기 중 PM의 시료채취지점은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 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 측정기간 중 기상상태를 나타내었으며, 연간 평균기온은 12.5℃, 습도 65%, 풍속은 1.3 m/sec로 나타내었으며, 풍향은 겨울철에는 북풍(N)계열 그리고 여름철에는 남풍(S)계열로 나타났다.

2.2. 시료채취 방법

본 연구에서는 진주시 대기 중 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 입자상 물질의 포집하기 위하여 중량농도 측정법인 PM<sub>10</sub> Dichotomous sampler(series 240, Andersen Corp., 이하 Dichoto)를 사용하였으며, 동시에 자동측정법인 TEOM monitor(series 1400A, Thermo Scientific, 이하 TEOM)을 이용하여 PM<sub>10</sub> 농도를 동시에 연속 측정하였다. Dichoto는 PM<sub>10</sub> 유입구(inlet)와 가상입팩터(virtual impactor)가 장착되어 있어 PM<sub>10</sub> 유입구를 통

해 공기역학적 직경 10 μm 이하의 입자상물질을 유입한 후 가상입팩터에서 유량 조절을 통해 공기역학적 직경 10~2.5 μm(coarse, PM<sub>10-2.5</sub>)과 2.5 μm 이하(fine, PM<sub>2.5</sub>)의 입자를 각각의 포집필터를 통해 분리 포집하는 시료채취 장치로서 미국 환경청(EPA)에서 공인된 장치이다(US EPA, 1999). TEOM는 기기 내부에 장착된 필터위에 미세먼지의 농도가 증가함에 따라 필터의 진동수가 변화하는 것을 측정하여 농도를 측정하는 방식으로 역시 PM<sub>10</sub>의 경우 미국 EPA의 FEM(forum on environmental measurements) 방법으로 사용되고 있다.

시료채취 기간은 2012년 11월부터 2013년 10월까지 1년간 매월 비강우시에 2~7일간 연속측정하였으며, Dichoto는 직경 47 mm의 테프론 필터와 16.7 L/min 유량으로 24시간 기준으로 PM<sub>10-2.5</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>의 시료를 각각 채취하였고 PM<sub>10</sub>(=PM<sub>10-2.5</sub> + PM<sub>2.5</sub>) 농도를 산출하였다. TEOM법은 시료채취기간 중 16.7 L/min 유량으로 1시간 간격으로 연속 측정하였다.

한편, 본 실험기간 중 보다 상세한 대기에어로졸의 입경분포 특성을 살펴보기 위하여 2013년 5월 6~7일 그리고 8월 14~16일에 걸쳐 각 1회씩 공기채취유량 30 L/min의 다단 입팩터 MOUDI(micro-orifice uniform deposit impactor, Model 110, MSP Corp.)를 사용하여 질량입경분포 특성을 조사하였다. 본 MOUDI 입팩터는 입경 0.056~18 μm 사이의 대기 중 입자를 10단으로 분

Table 1. Summery meterological conditions during sampling periods

No	Sampling Period	Dichotomous samples	Weather condition			
			Temp. (°C)	Humidity (%)	Wind speed (m/s)	Wind Direct.
Nov. `12	Nov. 20~24, `12	4	5.3	59	0.8	NE
Dec. `12	Dec. 17~21, `12	4	-0.9	51	1.3	N
Jan. `13	Jan. 22~26, `13	4	0.9	67	1.6	NNW
Feb. `13	Feb. 20~24, `13	4	1.5	45	1.2	WSW
Mar. `13	Mar. 20~23, `13	3	5.6	46	1.5	NNE
May-1 `13	May 6~9, `13	3	16.3	61	1.1	ENE
May-2 `13	May 13~18, `13	5	18.3	63	1.6	ENE
Jun. `13	Jun. 16~18, `13	2	24.4	78	1.5	SE
Jul. `13	Jul. 22~24, `13	2	26.7	84	1.8	SE
Aug. `13	Aug. 12~18, `13	5	28.3	72	1.3	S
Sep. `13	Sep. 14~19, `13	5	23.7	83	1.0	S
Oct. `13	Oct. 23~30, `13	7	11.9	66	0.9	ENE
Annual		48	12.5	65	1.3	-

리 포집하는 장치로서, 각 단의 분리입자크기(cut size)는 최초 유입구단의 18  $\mu\text{m}$ 을 비롯하여 1단 10  $\mu\text{m}$ , 2단 5.6  $\mu\text{m}$ , 3단 3.2  $\mu\text{m}$ , 4단 1.8  $\mu\text{m}$ , 5단 1.0  $\mu\text{m}$ , 6단 0.56  $\mu\text{m}$ , 7단 0.32  $\mu\text{m}$ , 8단 0.18  $\mu\text{m}$ , 9단 0.1  $\mu\text{m}$  및 10단 0.056  $\mu\text{m}$ 이며, 이후 직경 37 mm인 테플론 필터로 back-up 필터로 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 월별 $\text{PM}_{10}$ 및 $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도 특성

본 연구기간 동안 질량농도측정법인 Dichoto에 의한  $\text{PM}_{10-2.5}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  농도 및 자동농도측정법인 TEOM에 의한  $\text{PM}_{10}$  농도의 월별 추이를 Fig. 2에 나타내었다. 여기서 Dichoto의  $\text{PM}_{10}$  농도는  $\text{PM}_{10-2.5}$  및  $\text{PM}_{2.5}$  농도를 합한 값이다.

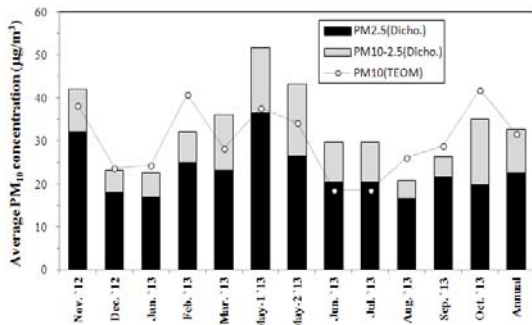


Fig. 2. Average monthly  $\text{PM}_{10}$  concentration by dichotomous and TEOM sampler in Jinju. The contributions from  $\text{PM}_{10-2.5}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  by dichotomous sampler are shown.

Dichoto에 의한  $\text{PM}_{10-2.5}$  농도분포는 4.1~16.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 농도는 10.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 5월이 가장 높고 8월이 가장 낮은 농도 특성이 나타났다.  $\text{PM}_{2.5}$  농도분포는 16.6~36.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 농도는 22.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 5월이 가장 높고 8월이 가장 낮은 농도 특성이 나타났으며, 연간  $\text{PM}_{2.5}$  대기환경기준(25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 거의 도달하는 수준으로 나타났다. 또한 월별  $\text{PM}_{10}$  농도분포는 20.7~51.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 농도는 32.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로  $\text{PM}_{2.5}$ 의 월별농도 특성과 유사하게 5월이 가장 높고 8월이 가장 낮은 농도 특성이 나타났으며, 연간  $\text{PM}_{10}$  대기환경기준(50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 만족하는 수준으로 나타났다. TEOM에

의한 월별  $\text{PM}_{10}$  농도분포는 18.5~40.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 농도는 31.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

두 측정법간 Dichoto/TEOM의  $\text{PM}_{10}$  농도비는  $1.07 \pm 0.322$ 로 질량농도측정법에 다소 높게 나타났다. 특히 Fig. 3에 나타난 Dichoto 및 TEOM에 의한  $\text{PM}_{10}$  농도의 상관관계식을 살펴보면, Dichoto에 대한 TEOM의 결정계수( $R^2$ )는 0.964로 상관성은 양호한 것으로 나타났으며, 중량농도측정법에 대한 TEOM의 기울기는 0.863으로 TEOM이 중량농도에 비해 약 13% 가량 낮게 측정되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 TEOM이나 베타선 자동측정법이 질량농도측정법에 비해 PM 질량 농도가 과소평가되고 있다는 기존 보고와 유사한 경향을 보이고 있었는데, 두 측정방법의 농도차이는 측정방법의 원리가 다르고 특히 자동측정법은 시료도입부의 가온시스템이 PM 성분 중 탄소성분 및 이온성분 등 휘발성이 강한 성분들을 휘발로 인한 loss 현상으로 질량농도가 저평가된 결과로 평가되고 있다(NIER, 2009). 또한, US EPA에서도 특히 탄소성분 및 이온성분 등의 휘발성이 강한 성분들을 구성된  $\text{PM}_{2.5}$ 의 측정방법은 중량농도법만을 측정방법으로 인정하여 사용하고 있으며, 이는 자동법이 대기상태 및 미세먼지의 조성에 따라 영향을 받는다는 연구결과가 바탕이 된 결과이다(US EPA, 2001).

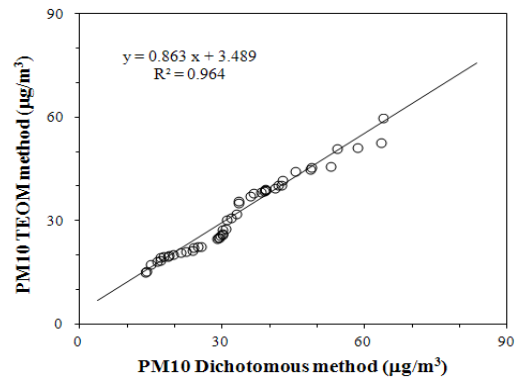


Fig. 3. Correlation of  $\text{PM}_{10}$  concentration between dichotomous and TEOM method.

한편, Table 2에는 계절별 PM농도 및  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  농도비 특성을 나타내었다. Dichoto에 의한  $\text{PM}_{10-2.5}$ 의 농도분포는 4.1~16.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 계절별로는 봄

15.2 µg/m<sup>3</sup> > 가을 10.7 µg/m<sup>3</sup> > 여름 8.0 µg/m<sup>3</sup> > 겨울 5.9 µg/m<sup>3</sup>으로 봄철이 높게 나타났다. PM<sub>2.5</sub> 농도분포는 16.6~36.4 µg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 계절별로는 봄 28.3 µg/m<sup>3</sup> > 가을 23.4 µg/m<sup>3</sup> > 겨울 20.0 µg/m<sup>3</sup> > 여름 17.8 µg/m<sup>3</sup>으로 봄철이 높게 나타났다. 또한, PM<sub>10</sub> 농도분포는 20.7~51.7 µg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 계절별로는 봄 43.5 µg/m<sup>3</sup> > 가을 34.1 µg/m<sup>3</sup> > 겨울 26.0 µg/m<sup>3</sup> > 여름 25.8 µg/m<sup>3</sup>의 순으로 봄철이 높게 나타났다. 과거 Cho 등(2003)은 Dichoto를 이용한 서울지역의 PM<sub>10-2.5</sub> 평균 농도는 20.8 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 평균농도는 24.5 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> 평균농도는 45.3 µg/m<sup>3</sup>으로 보고하고 있으며, 본 진주시역과는 PM<sub>10-2.5</sub> 농도 영역에서 서울이 다소 높게 나타났다.

또한 본 연구에서 Dichoto에 의한 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비(ratio)는 연평균 0.70±0.12으로 나타났으며, 특히 계절별로는 봄철이 0.64로 낮게 그리고 겨울철이 0.76으로 높게 나타났다. 국내에서 중량농도법으로 측정된 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 의 농도비 보고사례를 보면 인천 0.62, 경기 포천이 0.71로 보고되고 있으며(NIER, 2009), 서울의 경우 평균 0.54로 나타나고 있다(Cho 등, 2003). Chen 등(2011)은 미국 North Carolina에서 Dichoto에 의한 ratio가 평균 0.62로 보고하고 있으며, 각종 측정장비에 따라서 0.57~0.67로 다소 차이를 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 0.70은 다른 지역과 비교하여 상대적으로 다소 높은 경향으로 나타나고 있으며, 이는 PM 측정법간의 차이나 지역과 시기에 따라 차이를 보이는 것으로 판단된다.

3.2. PM의 농도분포 및 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 농도비

Fig. 4에는 Dichoto에 의한 (a) PM<sub>10-2.5</sub>, (b) PM<sub>2.5</sub>,

(c) PM<sub>10</sub> 농도범위별 분포특성과 (d) PM<sub>2.5</sub> 농도로부터 단일 회귀분석을 통한 PM<sub>10</sub> 질량농도와와의 상관관계를 나타내었다.

PM<sub>10-2.5</sub> 영역의 농도분포는 중앙값(median) 8.6 µg/m<sup>3</sup>, 평균값(average) 10.0 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 영역은 중앙값 21.3 µg/m<sup>3</sup>, 평균값 22.6 µg/m<sup>3</sup> 그리고 PM<sub>10</sub> 영역은 중앙값 30.6 µg/m<sup>3</sup>, 평균값 32.7 µg/m<sup>3</sup>로 평균값이 중앙값보다 높은 농도분포 특성이 나타났다. 따라서 각각의 농도분포는 평균값에서 다소 왼쪽으로 치우친 경향을 보이고 있었으며, 특히 PM<sub>10</sub>의 농도분포는 PM<sub>10-2.5</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>에 비해 넓게 분포하고 있었다. 이러한 농도분포 경향은 미국 플로리다에서 Dichoto를 사용하여 집중 관측한 Poor 등(2002)의 보고와도 유사하였으며, 이 보고에서는 PM<sub>10-2.5</sub>는 중앙값 11.2 µg/m<sup>3</sup>, 평균 11.9 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub>농도는 중앙값 11.7 µg/m<sup>3</sup>, 평균 13.0 µg/m<sup>3</sup> 그리고 PM<sub>10</sub> 농도는 중앙값 23.6 µg/m<sup>3</sup>, 평균 24.9 µg/m<sup>3</sup>로 보고하고 있다.

(d)에서는 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub> 농도사이의 상관성을 살펴보기 위하여, 측정된 PM<sub>2.5</sub>농도로부터 단일 회귀분석을 통해 modeled PM<sub>10</sub>농도를 산출하고 이를 측정된 PM<sub>10</sub>농도와와의 상관성을 나타내었다. 그 결과 회귀관계식은 modeled PM<sub>10</sub>=4.597PM<sub>2.5</sub>+1.240으로 나타났으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)=0.804(p<0.05)로 나타나, PM<sub>2.5</sub>로 PM<sub>10</sub>을 약 80% 수준으로 평가되어졌다. 한편, Cho et al.(2003)은 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 회귀관계식에서 modeled PM<sub>10</sub>=4.20PM<sub>2.5</sub>+9.91, R<sup>2</sup>=0.73으로 PM<sub>2.5</sub>로 PM<sub>10</sub>을 약 73% 수준으로 설명하고 있어, 본 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

Table 2. Summary statistics of seasonally PM<sub>10-2.5</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> measured in Jinju

	N	Dichotomous sampler				PM <sub>10</sub> TEOM Monitor (µg/m <sup>3</sup> )
		PM <sub>10-2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio(-)	
Spring	11	15.2±3.1	28.3±10.1	43.5±12.3	0.64±0.07	33.6±9.1
Summer	9	8.0±5.7	17.8±6.0	25.8±7.8	0.70±0.15	22.8±7.2
Fall	16	10.7±7.3	23.4±9.5	34.1±12.7	0.70±0.14	36.9±11.8
Winter	12	5.9±2.5	20.0±8.4	26.0±10.2	0.76±0.07	29.7±11.6
Average	48	10.0±6.1	22.6±9.3	32.7±12.9	0.70±0.12	31.7±11.3

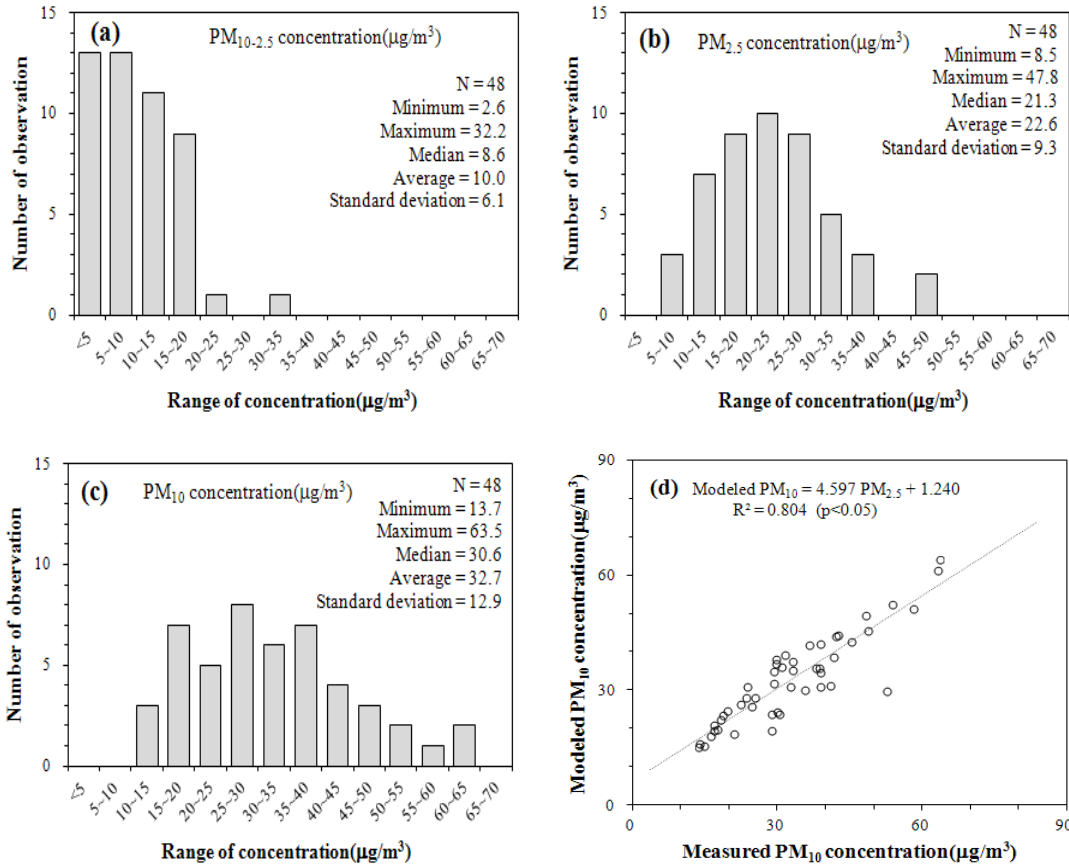


Fig. 4. Distribution of (a) PM<sub>10-2.5</sub>, (b) PM<sub>2.5</sub>, and (c) PM<sub>10</sub> concentration and (d) relationship between PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Jinju.

3.3. 입경분포 특성

본 연구에서는 진주시 대기 중 PM의 보다 상세한 입경별 농도분포 특성을 살펴보기 위하여 다단 임팩터 MOUDI를 사용하여 2013년 5월과 8월에 각각 채취된 입경별 질량농도분포와 누적분포를 Fig. 5에 나타내었다.

진주시 대기 중 입자상물질의 질량농도 입경분포는 5월과 8월 모두 입경 약 2 µm 전후를 기준으로 한 전형적인 도시 대기 중의 입경분포인 이산형분포(bimodal distribution)로 나타났으며(Park과 Choi, 1997; Whitby, 1978), 특히 초대입자 영역은 분리입경 5.6~3.2 µm(2~3단) 그리고 미세입자 영역은 분리입경 약 0.32 µm(7단)에서 peak를 나타내었다. 이는 도시 입경별 농도분포 특성 연구보고와도 유사하였다(Plaza 등, 2011).

질량중위경(MMAD, mass median aerodynamic diameter)은 5월 약 0.62 µm 그리고 8월 약 1.13 µm로 나타났으며, 인위적 오염원이 거의 없는 청정지역으로 미세입자의 대기중 농도가 매우 적고 특히 해안가에 위치하고 있어 초대입자인 해염입자의 영향이 큰 우리나라 배경지역인 고산지대에서 MMD는 약 2 µm로 보고되고 있다(Kim 등, 1999).

한편 다단 임팩터 MOUDI에서 최초 유입단(cut-off >10 µm)의 질량농도를 제외한 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비는 약 0.8 전후로 나타났으며, 앞에서 기술한 Dichoto의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>비 평균 0.70 보다 다소 높게 나타났다. 이는 두 샘플러 사이의 시료채취방법이 다른 이유도 있겠지만 PM<sub>10</sub> 농도 중 PM<sub>2.5</sub>의 농도비가 높다는 것을 반증하고 있다고 판단된다.

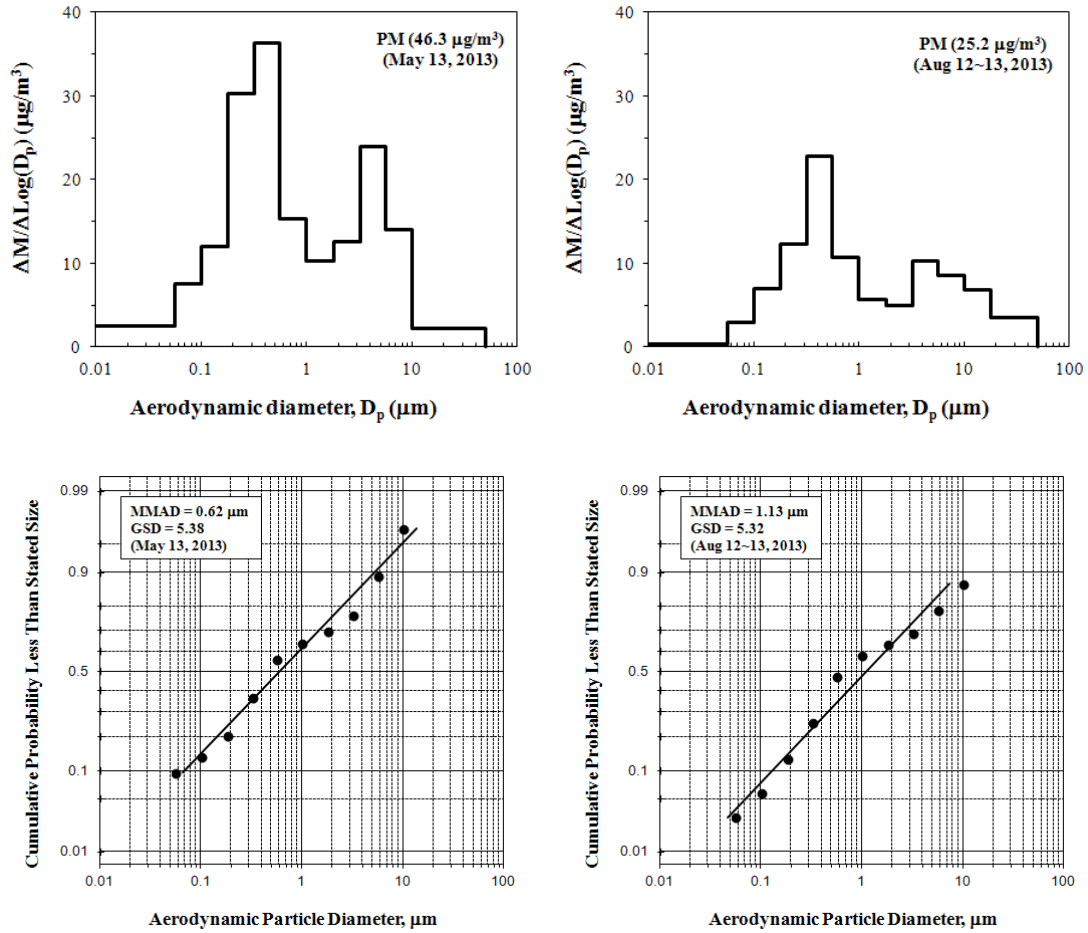


Fig. 5. Size and cumulative distributions of mass in May and August, 2013.

4. 결론

최근 우리나라에서는 중국발 미세먼지의 대기환경 문제가 사회적 이슈로 전국적으로 크게 확산되고 있으며, 2015년 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준 시행 및 미세먼지에 대한 대기오염 경보제가 전국적으로 시행을 앞두고 있는 등 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 및 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)에 대한 대기질 개선을 위한 제도적 장치 마련 및 다양한 연구가 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 진주시역의 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도 특성의 기초조사를 통해 지역 대기환경 문제를 파악하고 향후 저감대책을 모색하기 위한 기초조사 자료로 삼고자 진주시 소재 경남과학기술대학교에서 2012년

11월부터 2013년 10월까지 1년간 매일 대기 중 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>의 시료를 채취하고 그 거동 특성을 파악하였다.

진주시 PM<sub>10</sub>의 연평균 농도는 32.7 µg/m<sup>3</sup>으로 PM<sub>10</sub> 대기환경기준(연평균 50 µg/m<sup>3</sup>)을 만족하는 수준으로 나타나고 있었으나, PM<sub>2.5</sub>의 농도는 연평균 22.6 µg/m<sup>3</sup>으로 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준(연평균 25 µg/m<sup>3</sup>)에 거의 육박하는 수준이었고 특히 미국 EPA에서는 기준(PM<sub>2.5</sub> 연평균치 15 µg/m<sup>3</sup>) 및 WHO의 PM<sub>2.5</sub> 연평균 환경기준치(10 µg/m<sup>3</sup>)를 초과하는 수준으로 나타났다. 또한 진주시역의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 연평균 0.70으로 국내외의 연구보고들과 비교하면 상대적으로 PM<sub>2.5</sub>의 비중이 높은 경향으로 나타나고 있으며, 진주시역도 PM<sub>2.5</sub>로 인한

인체피해 영향 등 대기환경 문제에 있어 예외 지역이 아님을 알 수 있었다.

향후 진주지역에 대한 미세먼지의 배출특성 및 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.

### References

- Baron, P. A., Willeke, K., 2001, Aerosol measurement : principles, technology, and applications, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc.. New York, USA.
- Chen, F. L., Vanderpool, R., Williams, R., Dimmick, F., Grover, B. D., Long, R., Murdoch, R., 2011, Field evaluation of portable and central site PM samplers emphasizing additive and differential mass concentration estimates, *Atmospheric Environment*, 45, 4522-4527.
- Cho, Y. S., Lee, H. S., Kim, Y. S., Lee, J. T., 2003, A study on chemical of fine particles in the Sungdong area, Seoul, Korea, *Journal of the Environmental Sciences*, 12(6), 665-676.
- Donaldson, K., Li, X. Y., MacNee, W., 1998, Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury, *Journal of Aerosol Science*, 29(5/6), 553-560.
- Jeon, B. I., 2010, Characteristics of spacio-temporal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(8), 1013-1023.
- Jinju City homepage, 2013, <http://www.jinju.go.kr>
- 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, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 15(5), 677-685.
- Park, J. H., 2010, Temporal trends and spatial comparisons of ozone concentrations in Jinju, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(6), 761-769.
- Park, J. H., Choi, K. C., 1997, Characterization of chemical composition and size distribution of atmospheric aerosols by low-pressure impactor, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 13(6), 475-486.
- Plaza, J., Pujadas, M., Gómez-Moreno, F. J., Sánchez, M., Artñano, B., 2011, Mass size distributions of soluble sulfate, nitrate and ammonium in the Madrid urban aerosol, *Atmospheric Environment*, 45, 4966-4976.
- Poor, N., Clark, T., Nye, L., Tamanini, T., Tate, K., Stevens, R., Atkeson, T., 2002, Field performance of dichotomous sequential PM air samplers, *Atmospheric Environment*, 36, 3289-3298.
- 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), 2011, Annual report of air quality in Korea 2010.
- National Institute of Environmental Research(NIER), 2012, A study on regional concentration characteristics and formation processes of PM<sub>2.5</sub>(Ⅱ), NIER-SP 2012-0732 report.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., 1998, *Atmospheric chemistry and physics*, John Wiley & Sons Inc.. New York, p.408.
- US EPA, 1999, Sampling of ambient air for PM<sub>10</sub> using an anderden dichotomous sampler, EPA/625/R-96/010a report.
- US EPA, 2001, Environmental technology verification report - Ruppercht & Patashnick, CO. Series 1400a TEOM® Particle monitor .
- Whitby, K. T., 1978, The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmospheric Environment*, 12, 135- 159.