Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 33, No. 4, August 2017, pp. 361-369
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.4.361
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

고등어 조리 시 발생하는 미세먼지의 입경 분석

Diameters Analyses of Fine Particles Emitted When Mackerels Cooked

김성미[1),2),*] · 이임학[2)] · 이경빈[2)] · 김진식[3)] · 권명희[1)]
[1)]국립환경과학원, [2)]서울시립대학교 환경공학과, [3)]서울시립대학교 도시과학연구원

(2017년 7월 7일 접수, 2017년 8월 21일 수정, 2017년 8월 25일 채택)

Seong Mi Kim[1),2),*], Im Hack Lee[2)], Kyoung Bin Lee[2)], Jin Sik Kim[3)] and Myung Hee Kwon[1)]
[1)]*National Institute of Environmental Research*
[2)]*Department of Environmental Engineering, University of Seoul*
[3)]*Institute of Urban Sciences, University of Seoul*

(Received 7 July 2017, revised 21 August 2017, accepted 25 August 2017)

Abstract

In this study, the characteristics of the dust emission according to the presence or absence of operation of the gas stove were analyzed by particle size analysis and density estimation while the mackerel was cooked while the fan was placed on the gas stove used in the home. The experiment was carried out using 20 mackerel of normal size at home. Commercially available canola oil was used as edible oil. In order to understand the characteristics such as particle size distribution of fine dust, light scattering measurement method which can be measured at intervals of several seconds was used. Particles generated by combustion of gas stove, particles formed by heating cooking oil, and particles generated by heating mackerel fish meat are judged to be nano size particles smaller than 1 μm. Therefore, it is necessary to use precise measurement method rather than the measurement method using the filter which is currently being measured in the measurement of the particles discharged from the fuel combustion or food cooking in the future. Analyzing the particle size and density of the dust emitted from the cooking stove is expected to contribute technically to the reduction of dust emissions from the cooking process of gas and fuel facilities at home and commercial facilities.

Key words : Cooking, Dust, Emission, Diameter, Density

1. 서 론

Lee *et al.*(2012)은 지역별 도시대기 중 PM_{10} 농도의 입경별 점유율을 분석한 결과 지역에 관계없이 점유율이 가장 높은 구간은 입경 0.3 μm 부근이었으며, 다음으로 2.5 μm 부근과 5.0 μm 부근에서 높게 나타난다고 보고하였다.

일반 대기 중 입자의 밀도를 추정하는 방법은 OPS (Optical Particle Sizer)로 측정된 0.3 μm~0.4 μm와 1.5 μm~2.0 μm 등 두 모드로 나타낸다. 0.3 μm 이하의 입

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-8303, E-mail : ksmlotte@naver.com

경 범위에서는 분진 부피농도를 관측할 수 없고, 대기 중 부피 및 질량 농도의 모드는 0.2 μm~0.4 μm 사이에서 나타나는 것으로 알려져 있다(Ham *et al*., 2011; Hand *et al*., 2002). 이 때문에 입경 0.3 μm 이하에서는 가우시안 분포로 가정하여, 모델 부피 농도를 산정하고 이를 중량법으로 분석된 질량 농도를 고려하여 밀도를 계산하는 방법이 보고되고 있다(Bae *et al*., 2016).

그런데, 일반 대기 중 입자 입경분포 특성과 달리 연소 활동에 의하여 발생한 입자의 입경분포와 밀도 특성은 일반대기 중의 것들과는 다를 수 있을 것이다.

일 예로 Park (2015)은 EURO 4와 EURO 5의 차량의 평균차속에 대한 입자상 물질(PM) 분석 연구를 수행하였다. 차속도별 나노입자 분포를 log-normal 형태로 나타낸 결과, 저속(4.2 km/h) 운행 시 100 nm 이상의 나노입자 배출이 높았으나 차속이 증가할수록 EURO 4와 EURO 5 모두 입경 50 nm (0.05 μm) 영역에서 배출이 증가하는 경향을 보고하였다.

더구나, 최근에 Gong *et al*. (2016)은 석탄, 중유, 경유 등 기존에 먼지 배출원이라고 규정해 왔던 연료들 외에 도시가스에서도 무시할 수 없을 만큼의 먼지($PM_{2.5}$)가 배출된다고 보고하고 있으므로, 기체 연료를 사용하는 시설에서의 먼지 관리방안 수립 마련이 심각하게 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 도시가스는 우리나라 조리 시설에서 범용적으로 사용하는 연료이므로, 도시가스를 연료로 가동되는 조리시설에서 발생하는 먼지의 배출 특성을 분석할 필요성이 매우 높다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 가정에서 사용되고 있는 도시가스 렌지에 팬을 올려놓고 기름을 두르고, 고등어를 조리하면서 실험하였다. 가스렌지의 배기장치 가동유무에 따른 먼지 배출 특성을 입경별 분석을 통하여 파악하고자 하였다. 가스렌지 조리과정에서 배출되는 먼지의 입경을 분석하면 가정 및 상업시설의 가스연료 설비의 조리과정에서 배출되는 먼지의 저감방안을 수립하는 데 기술적으로 기여할 것으로 기대한다.

2. 연구 방법

본 연구방법의 흐름을 설명하면 다음과 같다.

실험은 가정에서 시중에서 많이 판매하는 일반적인 크기의 고등어를 대상으로 하였으며, 무게 약 218 g~272 g인 고등어 20마리의 자료를 사용하였으며, 식용유는 시판되는 카놀라유(유채씨유)를 사용하였다.

예비 실험을 통해 먹기 좋은 상태로 구워지는 시간을 확인하여, 실험시간을 설정하였다. 시료포집 장소 및 기기 설치 현황을 그림 1에 나타내었다.

가스렌지를 켜고 5분 후 식용유 5 mL를 프라이팬에 두르고, 기름이 약간 가열된 후인 1분 후에 고등어를 굽기 시작했다. 본 실험 처음에 기존 사용하던 팬이 아니라 새로 구매한 팬을 이용하였다. 사전 실험을 실시했을 때 5 mL의 식용유를 사용하여도 고등어가 먹기 좋은 상태로 적절하게 구워졌다. 굽기 시작한 후 5분 간격으로 두번 뒤집어 주고, 이후 2분 후인 실험시작 18분 후에 가스렌지를 껐다. 가스렌지를 끈 후, 고등어는 프라이팬에서 꺼냈다. 실험은 32평형 아파트에서 실시하였으며, 실험 시에는 출입문과 창문 등 외부로 통하는 문을 닫아둔 상태 즉 환기를 하지 않은 상태에서 고등어를 구웠다. 1번에서 13번까지 고등어를 구울 때는 2시간 동안 환기를 하지 않고 측정을 하였으며, 이후 30분간 환기를 실시하였다(그림 2). 실험 시 일정하게 가스를 조정하지 못해 고등어가 타는 등의 자료가 있어 이를 제외하고 7개의 자료를 이용하였다. 14번에서 20번까지 고등어구이를 할 때는 가스렌지 상부에 설치되어 있는 후드장치를 켠 후 실험을 하였다. 실험 시작 후 30분간은 창문과 출입문을 닫아두었으며, 이후 창문과 현관문을 열어 30분간 환기를 하였다. 모든 실험의 환기가 끝날 때까지 측정을 실시하였다(그림 3). 후드는 일반 가정에 일반적으로 사용되는 제품이었

Fig. 1. The figure of the sampling site and instruments.

Fig. 2. Test flow chart (hood off).

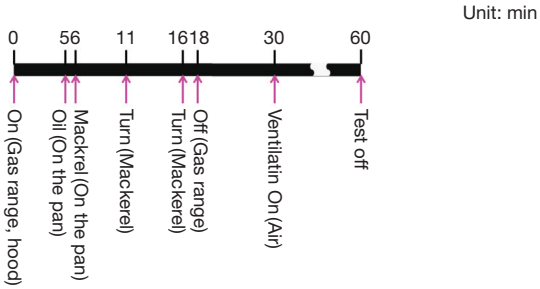

Fig. 3. Test flow chart (hood on).

다(송백산업 SS600: 전류 0.23 A, 풍량 2.5 m^3/min).

미세먼지의 입경분포 등을 파악하기 위하여, 수 초 간격으로 측정이 가능하고 특성파악이 용이한 광산란 측정법을 사용하였다. 측정장비는 Portable Aerosol Spectrometer (Grimm 1.109, Grimm Aerosol Techniq, Germany)를 사용하였다. 이 장비는 0.25 μm~32 μm의 먼지의 개수를 측정하는 31개의 channels을 가진 장비이다. 측정 후 자료 분석 시에는 2.5 μm 이하의 단(stage)을 대상으로 자료를 분석하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

고등어를 기름으로 조리할 때, 발생하는 미세 먼지의 입경별 특성을 분석하기 위해서는 먼지 발생 요소를 구분하여 발생특성을 알아볼 필요가 있어, 조리과정에서 발생하는 먼지의 peak 입경을 표 1에 나타내었다.

Fan and Zhang (2001)은 nephelometric particulate monitor를 사용하여 촛불, 등유 램프 및 히터, 기름 램프, 가스렌지 등의 연소 기구에서 발생하는 미세먼지를 측정한 결과, 촛불 끌 때를 제외하면 먼지 분포의 peak 입경을 모두 0.1 μm로 보고하였다. 이는 사용기기의 최소 검출한계가 0.1 μm이었기 때문일 것으로 추정되었다.

본 연구를 수행하면서 주목할 수 있는 또 다른 한 가지 점은 조리용 연료의 단독 연소뿐만 아니라 조리용 기름이나 심지어 음식을 조리할 때 발생하는 먼지의 입경 분포가 대부분 1 μm보다 작은 크기의 입자였다는 것이다.

Wallace *et al.* (2008)은 10분 동안 가스버너를 연소시킨 후 발생한 먼지를 불을 끈 후 5분~37.5분까지 SMPS 기기로 분석하여 peak 입경이 0.005 μm~0.010 μm (5 nm~10 nm)로 나타났다고 보고하였다. 이 실험은 불을 끈 후 시간이 지나면서 관측되는 먼지의 입경이 커지고 있음을 의미한다.

L'Orange *et al.* (2012)은 Wood Pellet Cook Stove으로부터 배출되는 먼지를 cascade impactor로 측정하여 먼지의 peak 입경이 0.22 μm~0.33 μm로 나타났다고 보고하였다.

이는 바이오매스를 연료로 사용하는 조리기구로부터 발생하는 먼지는 가스 기구로부터 발생하는 먼지 입경보다는 수십 배 크다는 것을 의미한다.

Abt *et al.* (2000)은 Gas Oven을 사용하여 요리할 때, SMPS를 사용하여 peak 입경을 조사한 결과 0.02 μm~0.06 μm로 나타났다고 보고하였다.

Tiwari *et al.* (2014)은 Condensation Particle Counter를 사용하여 연료별 먼지의 peak 입경을 산정한 결과 장작불이 0.123 μm, 석탄이 0.048 μm, 우분 케이크가 0.152 μm, 등유가 0.062 μm, LPG가 0.052 μm로 나타났다고 보고하였다.

Li *et al.* (2017)은 팬 위에 유채씨유, 해바라기씨유, 콩기름, 옥수수기름 등을 두르고, 액화가스를 연료로 하여 가열한 후 발생먼지의 입경을 Electrical Low Pressure Impactor를 사용하여 측정하였다.

그 결과 유채씨유 사용 시 0.2 μm, 해바라기씨유 사용 시 0.1 μm~0.2 μm, 콩기름 사용 시 0.03 μm~0.20 μm, 옥수수기름 사용 시 0.1 μm~0.2 μm에서 peak 입경 값을 나타낸 것으로 보고하였다

Buonanno *et al.* (2009)은 SMPS/APS (TSI)와 Con-

Table 1. Peak diameter of particles emitted by various combustion and cooking activities.

Researcher	Detecting device	Detecting range (μm)	Combustion device (Fuel)	Food	Peak diameter (μm)
Fan *et al*. (USA, 2001)	Nephelometric particulate monitor (PDM-3)	0.1∼10	Candle	−	0.1 (burning) 0.6 (extinguishing)
			Kerosene lamp	−	0.1
			Oil lamp	−	0.1
			Kerosene heater	−	0.1
			Gas range	−	0.1
Wallace *et al*. (USA, 2008)	SMPS (TSI-3936)	0.002∼0.064	Gas burner	−	0.005∼0.010
L'Orange *et al*. (USA, 2012)	Cascade impactor (NanoMOUDI 125-R, MSP Corp.)	0.01∼10	Wood pellet cook stove	−	0.22∼0.33
Tiwari *et al*. (India, 2014)	Condensation particle counter	0.011∼1.083	Fire wood	−	0.123
			Coal	−	0.048
			Dung cake	−	0.152
			Kerosene	−	0.062
			LPG	−	0.052
Li *et al*. (China, 2017)	Electrical low pressure impactor	0.03∼10	Liquid gas	Rapeseed oil	0.2
				Sunflower oil	0.1∼0.2
				Soybean oil	0.03∼0.2
				Corn oil	0.1∼0.2
Abt *et al*. (USA, 2000)	SMPS (TSI-3934)	0.02∼0.6	Gas oven	Oven cooking	0.02∼0.06
Buonanno *et al*. (Australia, 2009)	SMPS/APS (TSI), Condensation particle counter (CPC 3775 TSI)	0.01∼10	Gas stove	Cheese grilling	0.041
				Pork meat grilling	0.043
				Bacon grilling	0.049
				Vegetable grilling	0.029
				Olive oil + Chip	0.061
				Peanut oil + Chip	0.049
				Sunflower oil + Chip	0.049
Lee (Korea, 2012)	OPC (Grimm 1.10)	0.3∼20	Char	Beaf	0.35
				Pork	0.35

densation Particle Counter (CPC 3775 TSI) 기기를 사용하여 가스스토브 조리과정에서 발생하는 먼지의 입경을 분석하였다. 그 결과 Cheese grilling에서는 0.041 μm, pork meat grilling에서는 0.043 μm, bacon grilling에서는 0.049 μm, vegetable grilling에서는 0.029 μm에서 peak 값이 나타났다고 보고하였다.

Lee (2012)는 OPC (Optical Particle Counter)를 활용하여 쇠고기와 돼지고기를 숯불에서 직화로 조리할 때 발생하는 미세먼지를 입경별로 측정했는데, 0.35 μm에서 peak 농도를 나타낸 것으로 보고하였다.

상기 나열한 데이터에 근거하여 조리 시 발생하는 입자의 peak 입경을 도식화하여 나타내면 그림 4와 같다. 그래프에서 가로축은 로그 스케일의 입자의 입경을 나타내며, 세로축은 총 먼지 중 해당 입경 범위의 개수 비율(%)을 의미한다.

본 연구의 입경 측정 시간은 가스렌지 가동 20분 경과했을 때의 먼지 개수 농도의 입경별 분포를 나타낸 것이다. 다만, 세로축의 입경 비율(%)은 본 연구 결과인 'This study hood off' (2017)와 'This study hood on' (2017)에만 적용되며, 그 외 다른 경우에는 적용되지 않는다.

Wallace *et al*. (2008)와 Abt *et al*. (2000)의 연구에 의하면, 가스 연료만 연소했을 경우에 먼지의 peak 입경은 0.005 μm∼0.060 μm (5 nm∼60 nm) 범위로 나타났

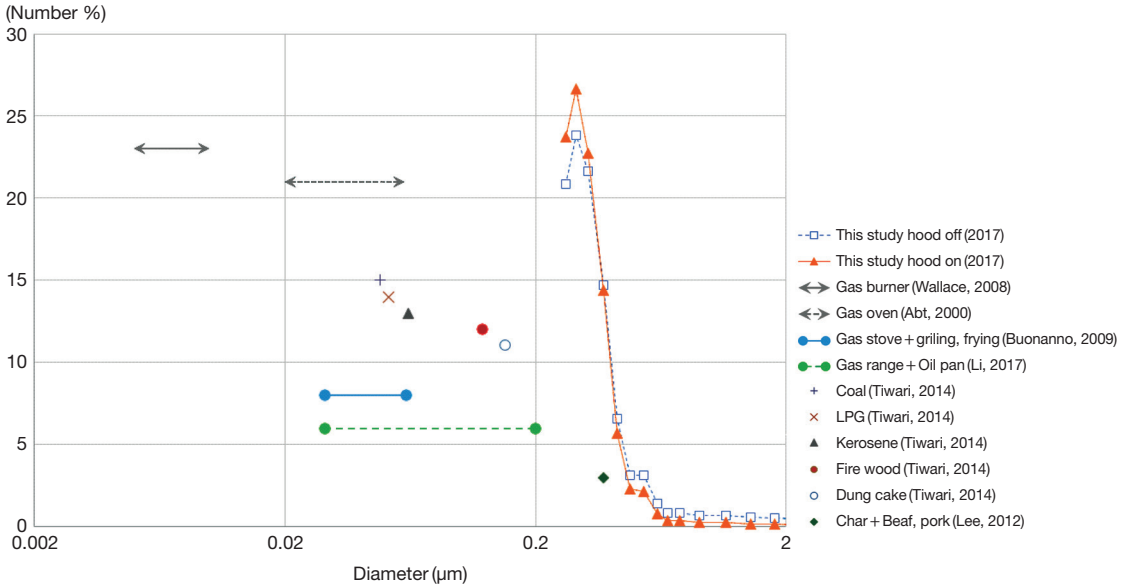

Fig. 4. Various peak diameters of particulate matters emitted in cooking activities.

다. Tiwari *et al.*(2014)의 연구에 의하면 석탄, LPG, 등유 연소 시 발생하는 먼지 입경은 0.048 nm~0.062 μm (48 nm~62 nm)로 나타났고, 땔감나무나 우분 덩어리 연소 시에는 0.123 μm~0.152 μm (123 nm~152 nm)로 나타나서, 다른 조리 연료보다 상대적으로 높은 입경에서 peak를 나타냈다.

이와 같이, 기체연료를 사용하여, 조리기구 위에 팬을 올려놓고 기름만을 두르고 가열했을 경우에 peak 입경이 0.03 μm~0.20 μm (30 nm~200 nm)로 나타나는 것으로 Li *et al.*(2017)은 보고하였다. 기체연료를 사용하는 조리기구 위에 팬을 올려놓고 기름과 음식을 가열했을 경우에는 peak 입경이 0.029~0.061 μm (29 nm~61 nm)로 나타나는 것으로 Buonanno *et al.*(2009)은 보고하였다. 이것으로 보아 기체연료만을 연소했을 때 발생하는 먼지 입자의 peak 입경보다, 기름을 사용하여 조리할 경우에는 peak 입경이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 이는 팬 위의 기름이 가열되어 발생하는 유적에 의한 먼지의 영향으로 사료된다.

Lee (2012)는 고체연료인 숯불 위에서 쇠고기와 돼지고기를 직화로 구울 때 발생하는 먼지의 peak 입경은 0.35 μm (350 nm)인 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 먼지 개수 peak 입경이 후드를 가동하지 않았을 때와 가동했을 때 모두 0.28 μm로 나타났다. 이로 보아 고등어를 팬 위에 올려놓고 기름에 조리할 때 발생하는 입경 peak 값은 고기(육류)를 숯불에 직화로 구울 때 보다는 작지만 가스렌지 단독으로 연소할 때 보다는 큰 것으로 나타났다. 이것은 가스렌지를 사용하여 팬 위에 기름을 두르고 고등어를 구울 때 발생하는 먼지는 주로 기름의 가열에 의한 유적과, 고등어가 구워질 때 고등어의 어육의 일부가 산화되면서(타면서) 발생하는 탄화수소의 영향 때문이라고 사료된다. 이러한 현상은 본 연구 결과인 그림 5와 그림 6에서도 그대로 나타났다.

그림 5는 후드를 가동하지 않은 상태에서 조리시간대별 입자의 입경별 기여도를 나타낸 것이고 그림 6은 후드를 가동한 상태에서 조리시간대별 입자의 입경별 기여도를 나타낸 것이다.

조리시간 초기인 5~10분까지는 두 경우 모두 0.265 μm 입경의 입자 비율이 제일 많았다. 그러나 후드를 가동하지 않았을 경우에는 15분 이후, 후드를 가동할 경우에는 20분 이후부터 0.290 μm 입경의 입자 비율이 가장 높게 나타났다. 시간 경과에 따른 먼지의 입경 분포 변화는 추후 심도 있는 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

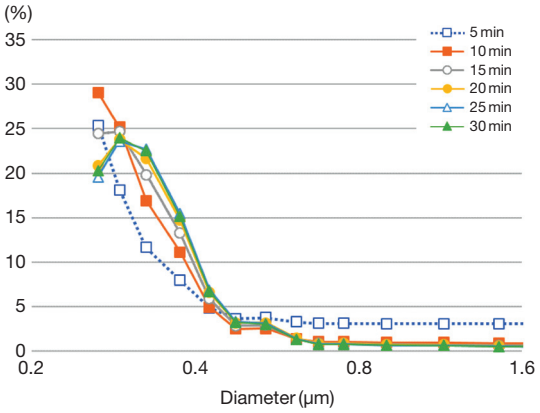

Fig. 5. Diameter ratios by cooking times (hood off).

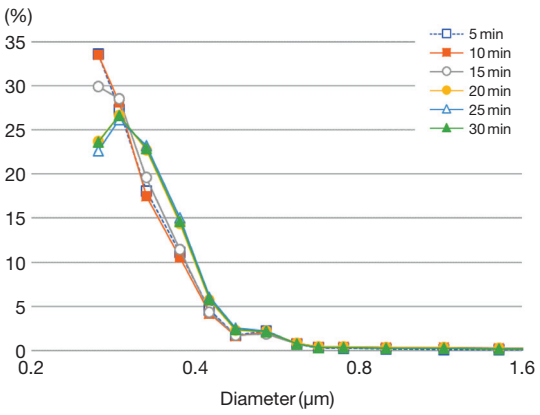

Fig. 6. Diameter ratios by cooking times (hood on).

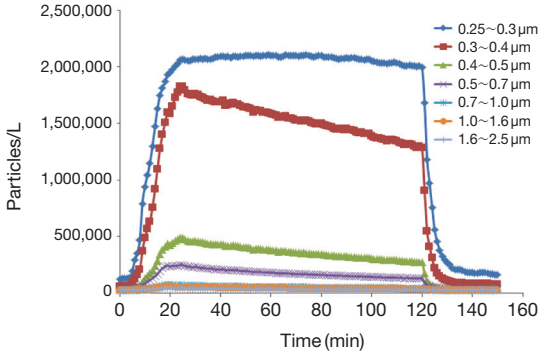

Fig. 7. Particle number concentration by cooking times (hood off).

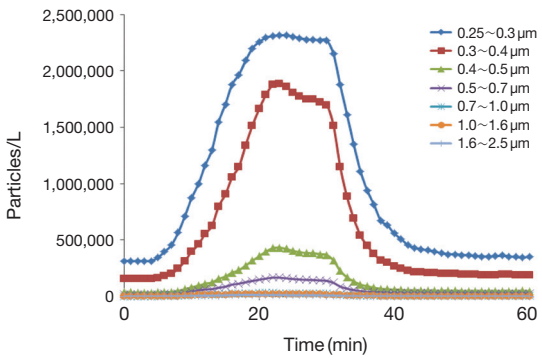

Fig. 8. Particle number concentration by cooking times (hood on).

경과시간에 따른 입경별 개수농도는 후드를 가동하지 않은 상태와 가동상태로 구분하여 각각 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 가스 불을 끈 후 약 3분 후에 개수농도 peak 값을 나타내었다. 후드를 가동하지 않은 상태에서 실내 온도는 24.3°C±0.6°C (22.4°C~26.1°C)였고, 습도는 22.8%±9.2% (7%~36%)로 조사되었다. 후드 가동 상태에서 실내 온도는 26.7°C±0.6°C (24.9°C~28.1°C), 습도는 22.2%±5.5% (11%~35%)였다. 이는 후드를 가동한 상태의 실험을 더 나중에 진행했고, 실험 시기가 5월 초로 기온이 점차 상승하는 시기였기 때문인 것으로 판단된다.

Cyrs *et al.* (2010)은 membrane filter를 이용하여 pore size에 따른 입자의 포집효율을 산정하였다. Pore size 0.8 μm (P/N F0825, Nuclepores) 필터를 18 nm~32 nm, 32 nm~56 nm, 56 nm~100 nm, 100 nm~178 nm, 178 nm~316 nm 등의 5등급의 입자를 통과(5 Lpm)시킨 것을 SMPS와 FE-SEM (Sirion 400, FEI Company)로 측정 분석한 결과, 10 nm 이하의 입자는 100%에 가까운 포집 효율을 보였으나, 20 nm 입자는 약 80%, 30 nm 입자는 약 70%, 40 nm 입자는 약 60%, 50 nm 입자는 약 50%, 60 nm, 90 nm의 입경에서의 포집효율은 50% 이하를 보였다. 그리고 100 nm 입경에서 약 50%, 200 nm 입경에서 약 75%, 300 nm 입경에서 약 85%의 포집효율을 보여, 300 nm 보다 작은 nano size 입자에서의 포집효율이 만족스럽지 못함을 보였다. 특히 연료의 연소에 의하여 발생하는 입자의 입경인 약 50 nm~100 nm 영역에서의 포집효율이 50% 이하로 보고되었다. 이는 향후, 연료 연소나 음식 조리가 이루어지

는 공간에서 발생하는 먼지의 배출량 산정에 사용되는 입자 측정 시에 위와 같은 사항을 고려하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

더구나, 현재 우리나라 일반 대기(ambient) 중 측정에 사용하는 중량법을 비롯한 여지를 사용하는 먼지 측정기(베타레이 측정기 등)에 사용하는 여지의 pore size는 일반적으로 약 1 μm 내외 정도로 알려져 있어 50 nm~100 nm의 먼지가 주로 발생하는 연소 먼지에 대해서는 신뢰할 수 있는 데이터를 얻기에 어느 정도 한계가 있을 것으로 추정된다.

특히, 우리나라 대도시에서 범용적으로 사용하는 조리시설의 연료인 기체상 연료(LNG)의 연소에서 발생하는 먼지의 크기는 유적이나 검댕 등의 그것에 비하여 상대적으로 수 분의 일~수십 분의 일 정도로 작다고 보고(Li *et al*., 2017; Tiwari *et al*., 2014; Lee, 2012; Buonanno *et al*., 2009; Wallace *et al*., 2008; Abt *et al*., 2000)되고 있으므로 연소 시 발생 먼지에 대한 측정법과 관리방안 수립이 시급하다고 판단되었다.

그림 4는 0.265 μm~2.000 μm 입경 구간에서 후드 가동 유무에 따라 고등어 조리 시 발생하는 입자의 입경별 기여율을 나타내었다. 사각형 모양의 도형에 점선이 후드를 가동하지 않았을 때의 입자 입경 분포 기여율이고, 삼각형 모양의 도형에 실선이 후드를 가동했을 때 발생하는 입자의 입경별 기여율이다. 0.265 μm~0.325 μm 구간에서는 후드 가동 시의 입경 비율이 후드를 가동하지 않았을 때의 입경 비율보다 높게 나타났으나, 이후 0.375 μm~2.000 μm 구간에서는 후드를 가동하지 않았을 때의 입경 비율이 후드 가동 시의 입경 비율보다 높게 나타났다.

후드 가동 효과를 분석하기 위하여, 그림 9에는 주방에서 조리 시작 후 20분 경과 후 측정한 입경별 먼지 농도를 통계 분석하여 나타내었다(후드 작동 유무로 구분). 그림 9의 a와 b에 의하면 후드에 의한 먼지 저감 효율은 평균값 기준으로 0.265 μm에서 1.65% 오히려 늘어났고(1,044,781 개/L→1,062,008 개/L), 0.29 μm에서 0.26% (1,195,816 개/L→1,192,680 개/L), 0.325 μm

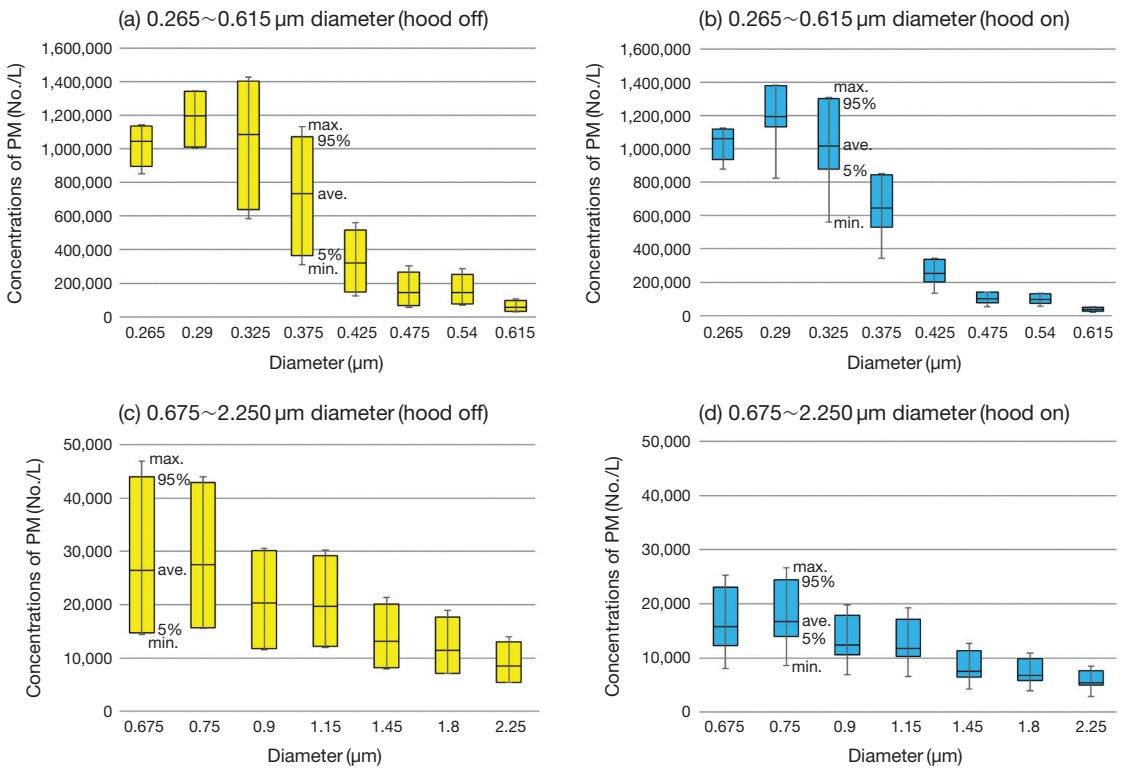

Fig. 9. Statistic analyses of PM concentrations by diameters in this study.

에서 6.25% (1,085,309 개/L → 1,017,519 개/L), 0.375 μm에서 12.05% (732,967 개/L → 644,622 개/L)로 나타났다.

0.425 μm에서 20.70% (319,953 개/L → 253,738 개/L), 0.475 μm에서 29.46% (145,072 개/L → 102,328 개/L), 0.540 μm에서 33.47% (144,420 개/L → 96,081 개/L), 0.615 μm에서 38.68% (57,076 개/L → 35,002 개/L), 0.675 μm에서 40.33% (26,408 개/L → 15,758 개/L), 0.750 μm에서 39.15% (27,499 개/L → 16,734 개/L), 0.900 μm에서 39.09% (20,285 개/L → 12,355 개/L), 1.150 μm에서 40.38% (19,710 개/L → 11,750 개/L), 1.450 μm에서 42.67% (13,109 개/L → 7,515 개/L), 1.800 μm에서 40.60% (11,406 개/L → 6,775 개/L), 2.250 μm에서는 36.13% (8,496 개/L → 5,426 개/L)로 나타났다.

4. 결 론

우리나라 도시의 일반 주택 주방에 설치된 가스렌지 위에 팬을 올려놓고 기름을 두르고 고등어를 조리할 때, 후드 가동 유무에 따라 발생하는 입자의 입경을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

기존의 관련 연구와 본 연구 결과를 종합하여 분석한 결과, 가스렌지 연소에 의하여 발생한 입자, 조리용 기름의 가열에 의한 입자, 그리고 고등어 어육의 가열에 의하여 발생한 입자 모두 1 μm 미만의 nano size 입자라고 판단되었다. 이는 향후 연료 연소나 음식 조리 시 배출되는 입자의 측정에 있어서는 현재 일반적으로 측정하고 있는 filter를 이용한 측정 · 분석법 보다는 정밀한 측정 · 분석법을 연구하고 제안하는 것이 필요할 것으로 사료되었다. 또한, 향후에는 측정 · 분석방법에 따른 심도 있는 조사 자료를 바탕으로 연소 배출 미세먼지에 대한 관리 방안 개선이 필요하다고 사료된다.

후드 가동 효과를 분석하기 위하여, 후드 작동 유무에 따른 주방에서 조리 시작 후 20분 경과 후 측정한 입경별 먼지 농도를 분석한 결과, 상대적으로 작은 입경(0.265 μm~0.375 μm) 구간에서는 저감이 되지 않았거나 낮은 저감효율(−1.65%~12.05%)을 보이고 있었고, 상대적으로 큰 입경(0.425 μm~2.250 μm) 구간에서는 비교적 높은 저감효율(20.70%~40.60%)을 보이고 있어, 주방 조리시설에서 발생하는 먼지 저감 시설은 작은 입경(0.375 μm 이하)의 먼지 제거 개선 작업이 필요한 것으로 판단하였다.

References

Abt, E., H.H. Suh, G. Allen, and P. Koutrakis (2000) Characterization of indoor particle sources: A study conducted in the metropolitan Boston area, Environmental Health Perspectives, 108, 35-44.

Bae, M.S., D.J. Park, J.H. Lee, J.Y. Ahn, and Y.J. Lee (2016) Source Analysis of Size Distribution and Density Estimation in PM 2.5-Part II, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 32(2), 158-166. (in Korean with English abstract)

Buonanno, G., L. Morawska, and L. Stabile (2009) Particle emission factors during cooking activities, Atmospheric Environment, 43, 3235-3242.

Cyrs, W.D., D.A. Boysen, G. Casuccio, T. Lersch, and T.M. Peters (2010) Nanoparticle collection efficiency of capillary pore membrane filters, Journal of Aerosol Science, 41, 655-664.

Fan, C.W. and J.J. Zhang (2001) Characterization of emissions from portable household combustion devices: particle size distributions, emission rates and factors, and potential exposures, Atmospheric Environment, 35, 1281-1290.

Gong, B.J., J.H. Kim, H.R. Kim, S.B. Lee, H.C. Kim, J.H. Jo, J.H. Kim, D.I. Gang, J.M. Park, and J.H. Hong (2016) A Study on the Characteristics of Condensable Fine Particles in Flue Gas, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 32(5), 501-512. (in Korean with English abstract)

Lee, J.B. (2012) A Study on Characteristics of Particulate Matter Generated from the Under-fired Char broiling of Meat. A doctor's Thesis, Department of Environmental Engineering Graduate School, University of Seoul. (in Korean with English abstract)

Lee, Y.K., K.J. Lee, J.S. Lee, and E.S. Shin (2012) Regional Characteristics of Particle Size Distribution of PM_{10}, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 28(6), 666-674. (in Korean with English abstract)

Li, S., J. Gao, Y. He, L. Cao, A. Li, S. Mo, Y. Chen, and Y. Cao (2017) Determination of time-and size-dependent fine particle emission with varied oil heating

in an experimental kitchen, Journal of Environmental Sciences, 51, 157-164.

L'Orange, C., J. Volckens, and M. DeFoort (2012) Influence of stove type and cooking pot temperature on particulate matter emissions from biomass cook stoves, Energy for Sustainable Development, 16, 448-455.

Park, G.T. (2015) Characteristics of Nano-Particle Exhausted from Korean Medium-duty truck in EURO 4 and EURO 5. A master's Thesis, Department of Environmental Engineering Graduate School, University of Seoul. (in Korean with English abstract)

Tiwari, M., S.K. Sahu, R.C. Bhangare, A. Yousaf, and G.G. Pandit (2014) Particle size distributions of ultrafine combustion aerosols generated from household fuels, Atmospheric Pollution Research, 5, 145-150.

Wallace, L., F. Wang, C. Howard-Reed, and A. Persily (2008). Contribution of gas and electric stoves to residential ultrafine particle concentrations between 2 and 64 nm: size distributions and emission and coagulation rates, Environmental Science & Technology, 42(23), 8641-8647.