

ISSN 1738-8716(Print)

ISSN 2287-8130(Online)

Particle and Aerosol Research

Part. Aerosol Res. Vol. 16, No. 1: March 2020 pp. 9-17

<http://dx.doi.org/10.11629/jpaar.2020.16.1.009>

조리과정에서 생성된 미세먼지의 크기분포 특성

주 상 우¹⁾ · 지 준 호¹⁾*

¹⁾(주)에코픽처스

(2020년 3월 16일 투고, 2020년 3월 23일 수정, 2020년 3월 27일 게재확정)

Size Distribution Characteristics of Particulate Matter Emitted from Cooking

Sang-Woo Joo¹⁾ · Jun-Ho Ji¹⁾*

¹⁾*EcoPictures Co., Ltd., Seoul, Korea*

(Received Mar 16 2020; Revised Mar 23 2020; Accepted Mar 27 2020)

Abstract

The characteristics of particulate matter made from daily cooking at a Korean residential apartment house with three dwellers had been investigated for about 3 months. All data were recorded by an optical particle counter every minute at the kitchen. Types of cooking such as boiling, frying, and grilling that performed in the house were listed. Boiling only was used in 32% cases among total 234 meals. Frying and grilling were 14% and 11%, respectively. From an initial indoor particulate matter smaller than 10 μm in diameter, the increases due to cooking are reported by size. In case of boiling, PM at 1-10 μm size and under 1 μm size little increased. Normally, particles from oil or combustion in a process of frying or grilling increased indoor PM. In a case of grilling, particle mass concentration in a region of 1-10 μm in diameter increased as much as 295 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mass concentration of particles smaller than 1 μm increased as much as 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keywords: Cooking, Particulate matter, Particle size distribution, Fine particle, Coarse particle

*Corresponding author.

Tel : 02-6959-5899

Email : caputjun@gmail.com

1. 서론

전세계적으로 공기 오염에 의한 사망자는 2017년을 기준으로 하여 490만명이며 그 중 458만명이 2.5 μm 이하의 직경을 가진 미세먼지(PM_{2.5})에 대한 노출에 의한 것으로 추산된다(GBD 2017 Risk Factor Collaborators, 2018). 한국 사람들은 하루 중 21시간 이상을 실내에서 보내고, 그 중 주택에 체류하는 시간은 15-17시간인 것으로 보고되었다(Yoon et al., 2017). 주택 내 미세먼지의 농도는 실외에서 침기에 의해 유입되는 미세먼지에 내부에서 실내 활동에서 의해 발생하는 미세먼지가 더해져 결정된다. 창과 문이 잘 닫혀있는 상태라도 대기 PM_{2.5}는 외기 풍속에 따라 40-70% 범위에서 실내로 유입될 수 있음이 보고된 바 있다(Joo and Ji, 2019). 실외에서 유입되는 미세먼지는 실내 미세먼지의 주요 원인으로 사람의 활동과 크게 관계가 없다. 반면 흡연, 조리, 청소, 사람의 움직임 등은 사람의 활동에 의한 것으로 실내 미세먼지를 증가시킬 수 있다. 이 중 조리는 실내에서 미세먼지를 가장 고농도로 발생시킬 가능성이 있어 인체 영향이 염려되는 실내 활동이다. 조리 과정 중에 발생하는 PM_{2.5}에 대한 노출로 사망하는 사람은 164만명에 이른다는 보고가 있다(GBD 2017 Risk Factor Collaborators, 2018).

조리 과정에서 생성되는 미세먼지에 관한 연구는 다양하게 진행되었다. Li et al. (1993)은 대만의 22.5 m³ 공동주택에서 스크램블 에그, 닭튀김, 스프를 조리했을 때 발생하는 입자의 크기분포 및 시간에 따른 농도변화를 조사했다. Buonanno et al. (2009)은 실험실에서 조리재료와 조리법에 따른 발생입자의 특성을 조사하기 위해 여러가지 재료를 굽거나 기름에 튀겨서 발생하는 입자의 입경분포를 보고하였다. He et al. (2004)은 호주의 주거용 주택 14채에서 48시간 동안 실내 미세먼지를 관측하여 볶음, 구이, 가스 스토브 사용 등에 의해 증가되는 농도를 보고하였다. 이와 같은 해외의 연구결과는 국내와 조리방법과 종류가 다르기 때문에, 국내의 조리 관련 연구가 필요하다. 국내에서 조리에 의해 발생하는 미세먼지의 특성을 심층적으로 분석하거나, 실제 일상생활에서 일어나는 다양한 조리가 실내 공기질에 미

치는 영향을 정량화하여 평가한 경우를 찾기 어려웠다.

본 연구에서는 조리 과정에서 발생된 미세먼지의 크기분포 특성을 국내 아파트에서 측정하였다. 3인 가구가 일상적으로 생활하는 3달 동안 미세먼지를 측정하여 분석하였다. 3인 가구의 식사종류를 ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’, 혹은 가스레인지 사용하지 않고 조리를 했거나 식사를 거른 경우로 구분했고, 조리가 발생하는 빈도와 각 조리사례들로 인해 실내 미세먼지 농도가 증가된 정도를 정량적으로 제시하였다. 일부 조리사례에 대해서는 상세하게 입경분포를 분석하여 조리사례별 특성을 확인하였다. 조리 과정에서 미세먼지가 고농도로 발생된 경우에 대해 시간 경과에 따른 미세먼지 실내 농도의 변화를 미세먼지의 크기 범위를 나누어 노출의 특성을 분석하였다. 조리와 환기를 비롯해 주택에서 일어난 사건에 대한 정보는 거주자들이 분단위로 기록하였고, 조리 종류와 조리를 할 때 가스 레인지를 사용한 시점과 종료한 시점을 모두 기록지에 적었기 때문에, 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있었다.

2. 실험 방법

실내 미세먼지의 측정은 경기도 용인시에 있는 2004년 완공된 아파트에서 진행되었다. 측정 세대는 3인으로 구성된 가구로 20층 아파트의 20층에 거주하며 주택의 전용면적은 84.9 m²이다. 하나의 공간으로 구성된 거실과 주방의 면적은 40.3 m²이었다. 대상주택은 아파트로 국내 가장 많은 가구가 거주하는 유형의 주택이며, 면적 역시 많은 가구가 거주하는 면적대이다(Joo and Ji, 2019). 주택의 구조와 측정 장치의 위치는 그림 1에 나타났다. 측정은 2019년 4월 1일부터 5월 31일, 10월 1일부터 21일까지 약 3개월 동안 진행하였다. 미세먼지의 농도와 크기분포를 실시간으로 측정할 수 있는 OPC (Optical particle counter, Model 11A, Grimm, Germany)를 이용하여 1분 단위로 미세먼지를 연속 측정하였다. 주방에서 재질자가 식탁에 앉았을 때의 호흡기 높이를 고려하여 바닥으로부터 약 1.0 m 높이

에서 미세먼지의 측정이 이루어졌다. 레인지 후드의 풍량은 총 4단계로 조절 가능했다. 레인지 후드의 정격풍량은 4단으로 11.3 m³/min이었지만, 풍속계(VelociCalc air velocity meter, Model 9515, TSI, USA)를 이용한 간이 측정 결과, 설치된 주방 후드의 실제 풍량은 정격 풍량에 비해 40% 이하였다. 이것은 레인지 후드가 실제 주택에 설치되었을 때, 내부 공기를 밖으로 배출하는 과정에서 압력손실이 걸리며 팬모터의 성능이 감소하여 풍량이 감소한 것으로 생각된다. 레인지 후드는 보통 수동으로 2단이나 3단의 풍량을 지정하여 운전하다가 가스 레인지 사용을 종료하면서 자동 모드로 바뀌었다. 자동 모드는 주로 2단 풍량으로 운전되었고 5분에서 15분 정도 작동하다가 멈추었다. 2단의 경우 정격 풍량의 약 20% 수준이었다. 4단 풍량은 소음과 진동으로 사용하지 않았다. 침기의 영향을 고려하기 위해 측정 결과 분석에 사용했던 외기 풍속은 대상 주택으로부터 약 12 km 떨어진 수원 기상대의 값을 참고했다.

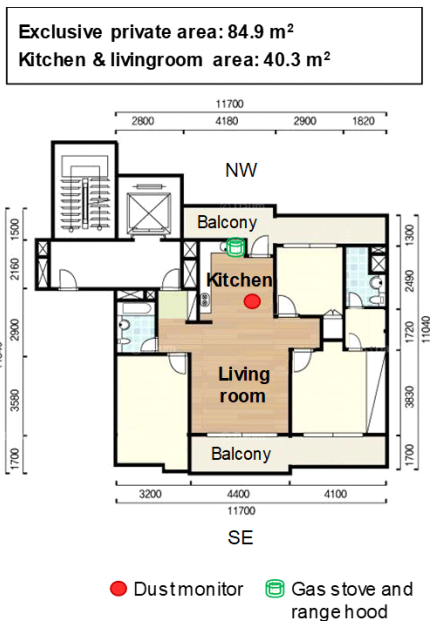


Figure 1. A project of an apartment house where indoor particulate matter had been observed and an arrangement of the optical particle counter and the other appliances.

3. 결과 및 고찰

3.1. 3인 가구에서의 조리 특성

3인 가구에서 78일 간 관측된 조리사례를 통계 분석한 결과를 표 1에 나타냈다. 아침, 점심, 저녁으로 하루에 3번 식사를 했다고 할 때, 가스 레인지 사용을 기준으로 조리 종류를 나누어 각각의 비율을 분석하였다. 식사를 하지 않았거나 가스 레인지를 사용하지 않은 조리, ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’로 구분하였는데, 식사를 준비하기 위해서 ‘끓이기’와 ‘볶기’, ‘굽기’를 모두 사용하여 조리한 경우 ‘굽기’로 나타냈다. 미세먼지의 발생량과 크기 분포를 분석한 결과 세 가지의 조리법 중 ‘굽기’의 미세먼지 발생량이 가장 많았기 때문이다. 마찬가지로 ‘볶기’와 ‘끓이기’를 통해 조리한 경우는 ‘볶기’로 나타냈다. 분석 결과, 하루 3번 식사를 한다고 가정하면, 78일 간 총 234번의 식사가 가능했다. 이 중 32%의 조리방법은 ‘끓이기’였다. 식사를 위한 ‘끓이기’는 면류를 삶을 때, 야채를 데칠 때, 국, 찌개, 죽을 끓일 때, 고구마나 계란을 삶을 때, 누룽지에 물을 붓고 끓일 때, 식은 음식을 데울 때 등에 관측됐다. 나머지 조리 방법 중 ‘볶기’는 14%, ‘굽기’가 11%였다. ‘볶기’로는 새우볶음밥, 돼지고기김치볶음, 동그랑땡, 스크램블에그, 스펀야채볶음 등의 조리가 관측됐다. 북어국의 경우는 조리 시 북어를 끓이기 전에 참기름에 미리 볶았다는 기록이 있어 ‘끓이기’가 아닌 ‘볶기’에 포함시켰다. ‘구이’로는 갈치구이, 돼지목살구이, 햄구이 등의 조리가 포함되었다. 나머지 경우는 식사를 거르거나, 조리에 가스 레인지를 사용하지 않은 경우로 약 43%였다. 주먹밥 같이 가스 레인지가 필요 없는 조리를 하거나, 냉장고에 보관해둔 음식을 전자레인지에 데워 먹었다. 배달음식을 이용하거나 외식을 한 경우도 포함된다.

3.2. 조리로 인한 주택 내 미세먼지의 크기 분포 특성

가스 레인지를 사용하지 않고 조리를 하거나 식사를 거른 경우 실내 미세먼지 농도에 영향이 없었기 때문에, 나머지 ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’ 등의 조리에 의한 미세먼지 농도 증가 특성을 상세히 분석하였다. 채실자는 분석한 모든 조리사례에서 레인지 후드를 사용했다. 조리사례의 상세 내용은

Table 1. Frequency of occurrence according to types of cooking when preparing a meal during 78 days.

Types of cooking	Frequency of occurrence (counts)	(%)
Total	234	100
Preparing meals without gas stove or skipping meals	100	43
Boiling only	75	32
Frying	33	14
Grilling	26	11

표 2에 표시했다. 미세먼지를 발생원에 따라 분석하기 위해 1-10 μm 크기의 미세먼지(PM₁₀₋₁)와 1 μm 이하 크기의 입자(PM₁)의 변화를 분석하였다. OPC로 기름 입자의 측정 결과를 분석하는 경우 크기분포의 추정에 주의해야 한다. OPC의 크기분포의 원시자료는 표준입자인 Polystyrene latex sphere (PSL) 입자의 광학적 특성을 기준으로 한다. 측정되는 입자의 광학적 특성이 PSL 입자의 크기와 같으면 실제로는 크기가 다르더라도 같은 직경으로 인식한다. 즉, OPC에 측정되는 물질은 광학적 특성에 따라, 물

리적인 기하학적 크기나 공기역학경과 다른 크기로 인식될 수 있다. Sang-Nourpor and Olfert (2019)는 OPC와 공기역학 에어로졸 분류기(Aerodynamic aerosol classifier, AAC)를 사용하여 시험입자의 광학등가입경과 공기역학경의 상관성을 확인하였는데, 기름 입자의 경우 OPC에 의해 측정된 광학등가입경이 실제 기름 입자의 공기역학경에 비해 작게 측정되었다. 즉, 실내에서 OPC를 사용한 입자의 주성분이 주방에서 생성된 기름인 경우 측정 결과는 실제 무게농도의 크기분포를 추정하는 공기역학경과 다르기 때문에 결과가 다소 왜곡될 수 있다. 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 측정 입자의 크기를 광학등가입경으로 표현하였다.

조리를 시작하기 전에 일정하게 유지되던 실내 미세먼지 농도는 조리 과정에서 미세먼지가 생성되는 순간 급격히 증가하였고, 조리가 끝나는 순간 거의 최대 농도를 형성한 후 지속적으로 감소하는 특성을 나타냈다. 이 때, 조리 시작 후 측정된 최대 농도와 조리 시작 전 배경 농도의 차이를 실내 미세먼지의 최대 증가량으로 나타냈다. 그림 2는 ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’ 조리과정에서 발생한 미세먼지의 발생량을 미세먼

Table 2. Detail information of cooking cases.

Way to cook	Meals	Date (YYYY-MM-DD)	Gas stove operation time (min)	Range hood intake level
Boiling	Boiled sweet potato	2019-10-10	40	2
	Instant noodle (Ramyon) 1	2019-04-09	18	2
	Instant noodle 2	2019-05-21	9	2
	Instant noodle 3	2019-10-10	7	2
	Noodle soup (Udon) 1	2019-04-21	18	2
	Noodle soup 2	2019-10-18	9	2
	Spicy sausage stew (Budae-jjigae)	2019-04-28	14	2
	Chicken porridge	2019-05-20	16	2
	Scorched rice (Nurungji) 1	2019-04-03	19	2
	Scorched rice 2	2019-04-27	17	2
Braised rice cake (Tteokbokki)	2019-10-07	14	2	
Frying	Pork kimchi stir-fry	2019-04-14	26	3
	Stir-fried rice with shrimp and sausage	2019-10-07	17	2
	Korean flat meatball (dong-geulangttaeng) and spam	2019-04-27	16	2
	Dried pollack stir-fry 1	2019-04-08	36	2
	Dried pollack stir-fry 2	2019-04-08	7	2
Fish cake and dried pollack stir-fry	2019-04-28	27	2	
Grilling	Grilled hairtail 1	2019-04-25	19	3
	Grilled hairtail 2	2019-10-03	45	3
	Grill of raw pork neck 1	2019-04-26	19	3
	Grill of raw pork neck 2	2019-04-26	9	3
	Grill of raw pork neck 3	2019-04-28	16	3
	Grill of raw pork neck 4	2019-05-18	26	3
	Grill of raw pork neck 5	2019-05-19	10	3
	Grilled ham	2019-10-07	6	2
	Korean style egg roll and grilled spam	2019-10-03	41	2
	Korean style sausage egg roll and grilled spam	2019-10-05	37	2

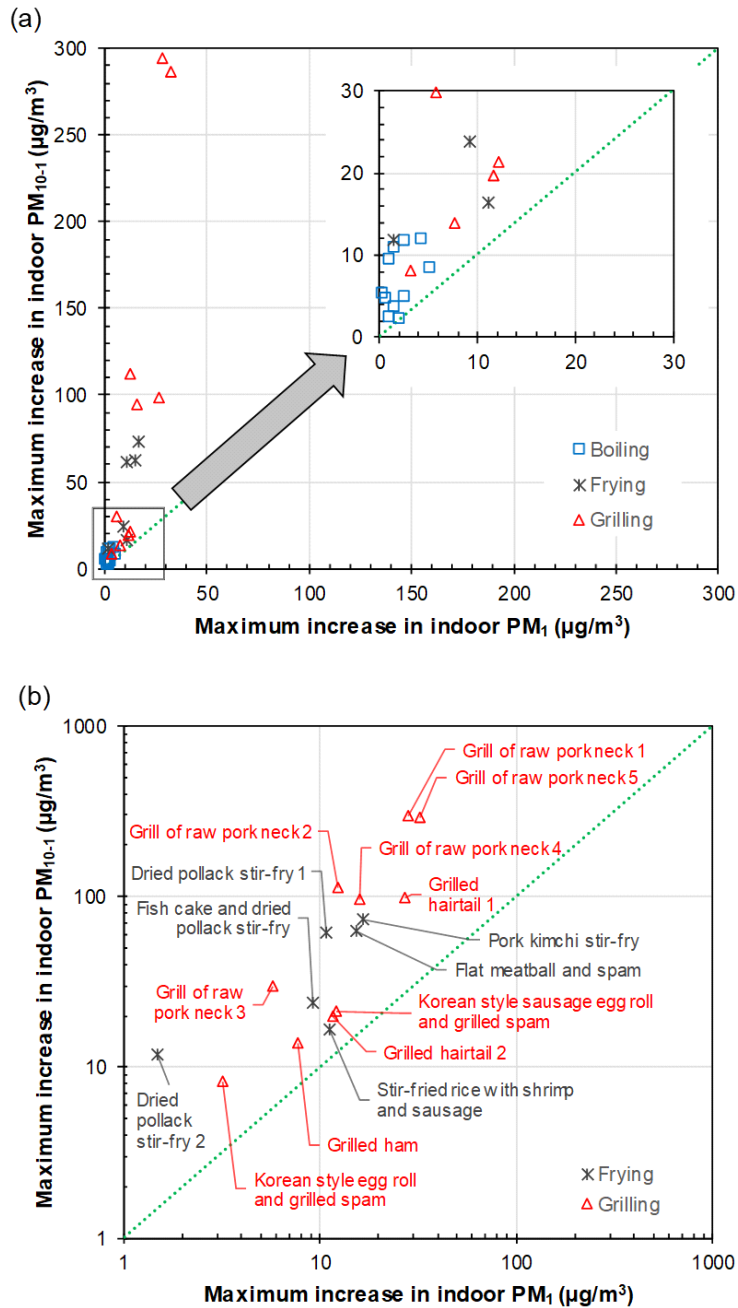


Figure 2. Increases in indoor concentration of particulate matter according to types of cooking (a), and the detailed distribution of frying and grilling in a logarithmic scale (b).

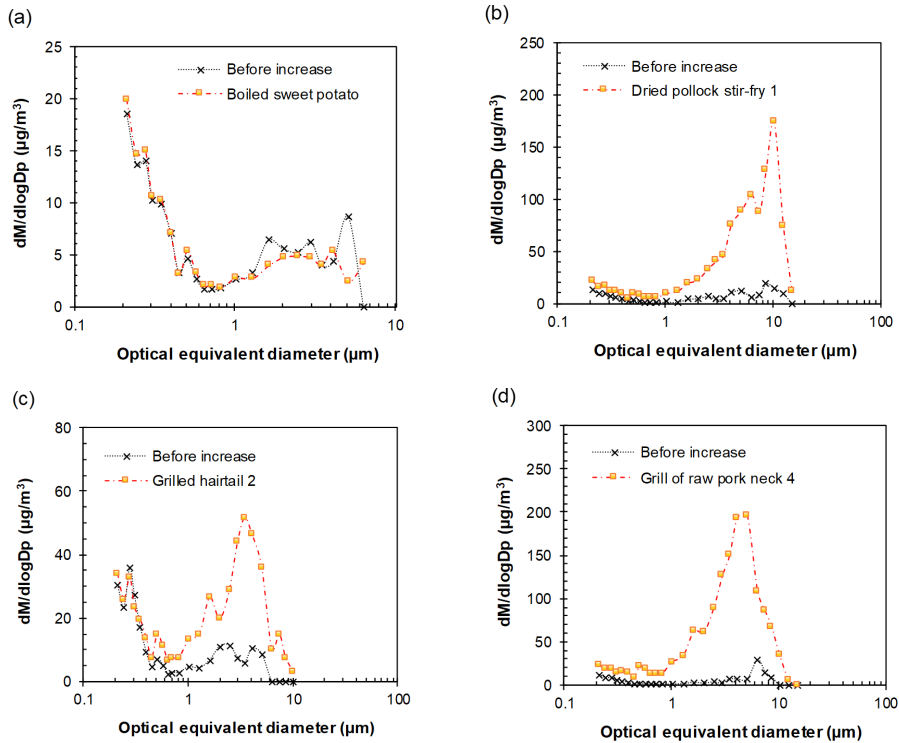


Figure 3. Particle size distributions of boiling (a), frying (b), and grilling (c and d) before and after indoor particulate matter increased due to cooking.

지의 크기 범위에 따라 나타난 것이다. 미세먼지가 가장 높은 농도까지 상승했던 조리 방법은 ‘굽기’였다. 돼지목살을 구울 때 실내 PM_{10-1} 과 PM_1 의 최대 농도 증가량은 각각 $286, 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. ‘볶기’ 조리 중 미세먼지 농도가 가장 많이 증가한 경우는 돼지김치볶음으로 PM_{10-1} 과 PM_1 이 각각 $73, 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가했다. 무게농도 기준으로 조리과정에서 PM_{10-1} 이 PM_1 보다 많이 발생했는데, ‘굽기’와 ‘볶기’ 중에 미세먼지가 기름 입자로부터 다량 발생했기 때문으로 생각된다. ‘굽기’나 ‘볶기’로 인해 발생하는 미세먼지의 증가량은 동일한 음식을 준비하더라도 다양한데, 이것은 재료의 양과 재료에서 나오는 기름의 양이나 볶는 조리에서 사용하는 식용유의 양, 조리시간 등에 따라 달라지는 것으로 보인다. ‘끓이기’로 인한 미세먼지의 실내 무게농도 증가하는 거의 없었다. PM_{10-1} 이 일부 증가한 것은, 입경분포 분석 결과 조리 과정에서 재실자의

움직임의 영향에 의한 것으로 확인되었다. 주로 측정기 주위에서 재실자가 움직일 때 순간적으로 농도가 변한 것이 분석 결과에 나타났다. 누룽지와 떡볶이를 조리할 때도 미세먼지의 발생량이 크지 않았는데, 누룽지를 조리할 때는 압력밥솥에서 밥을 바삭하게 만든 후에 물을 붓고 끓였다. 중간에 밥을 가열하는 과정이 있지만 조리 중에 밥이 타지 않도록 조심했다. 떡볶이를 조리할 때도 떡을 기름에 튀기지 않았고 재료를 기름에 볶는 대신 국물에 끓여서 미세먼지 발생량이 낮은 것으로 생각된다.

그림 3은 각각 ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’ 조리에 의한 실내 미세먼지 농도의 상승 전후의 크기 분포를 광학등가입경 기준으로 나타낸 것이다. 조리 전의 미세먼지의 입경분포와 조리가 진행된 후 미세먼지 농도가 가장 높았던 시점의 입자의 크기 분포를 비교했다. 그림 3(a)는 고구마 삶기로 일반적인 ‘끓이기’ 조리과정을 대표하여 보여준다. 조리 과

정에서 기름이 튀거나 타는 등의 발생원이 없기 때문에, 고구마를 삶기 전과 후의 입경분포는 변화가 거의 없었다. 1-10 μm 영역에서는 미세먼지의 크기가 커질수록 OPC에 측정되는 미세먼지의 수가 조금만 변해도 무게농도는 크게 변하는 것으로 나타난다. 그림에서 미세먼지의 농도가 소폭 변동되는 것은 재실자의 움직임으로 인해 1-10 μm 영역에서 측정되는 미세먼지의 수에 변동이 생겼기 때문으로 파악되었다. 그림 3(b)는 ‘볶기’를 대표하는 경우로 볶어를 볶는 조리과정을 나타낸다. 조리 과정에서 미세먼지의 농도는 1-20 μm 영역에서 크게 증가한 것으로 나타났다. 1 μm 이하 입자의 경우도 7에서 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였는데, 볶는 과정에서 일부 볶어 재료나 기름이 타서 나타난 것으로 보인다. 그림 3(c)는 갈치구이의 크기분포 변화를 나타낸 것이다. 1-10 μm 사이영역에서 농도가 크게 증가했으며 3.5 μm 부근에서 최고농도를 보였다. 갈치구이의 경우는 그림 3(b)나 그림 3(d)에 비해서 0.45 μm 이하의 입자의 농도가 변화하지 않았는데, 조리하는 과정에서 태우지 않고 조리가 된 것으로 보인다. 미세먼지 생성이 많았던 돼지목살구이의 경우 그림 3(d)에서 1-10 μm 크기 영역의 무게 농도가 크게 증가한 것을 확인할 수 있으며 갈치구이와 비슷한 크기분포 특성을 보였다. 1 μm 이하 영역 입자들도 전반적으로 증가했는데 고기가 타는 과정에서 생성된 입자로 보인다 (Morawska and Zhang, 2002). 상승 전 농도가 낮은 것은 대기 PM_{10} 이 9.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 깨끗한 조건이었기 때문이다. ‘볶기’와 ‘굽기’는 다량의 기름입자가 공통적으로 발생했지만, 음식을 태우지 않으면 1 μm 이하 영역 입자의 발생이 크지 않았다.

그림 4는 돼지목살구이 조리 과정에서 시간 경과에 따른 크기 범위별 미세먼지 농도 변화를 나타낸 것으로, 그림 3(d)에 크기분포를 나타냈다. 자연 환기가 이루어지는 동안의 실내 미세먼지 농도를 대기 농도로 추정할 결과 대기 미세먼지의 농도는 PM_{10-1} 이 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, PM_1 이 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 이 10.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 낮았다. 조리 과정에서 가스 레인지의 후드를 26분간 사용했는데 처음에는 다른 찬을 준비하다가 14분 정도부터 고기를 굽기 시작했다. 레인지 후드는 고기를 굽기 전에 수동으로 3

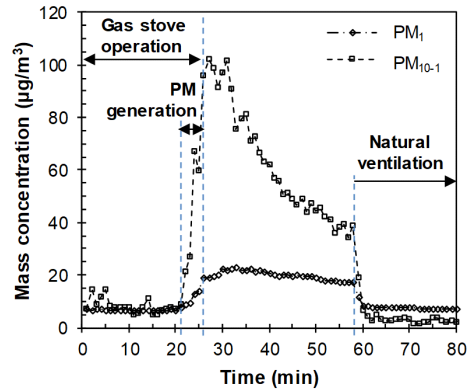


Figure 4. Mass concentration change of particles during grilling a raw pork neck for a meal.

단 풍량으로 작동하다가 가스 레인지 사용을 멈추면서 자동 운전으로 전환했다. 고기를 구운지 6-7분 경부터 미세먼지 발생량은 급격히 늘어났다. 1-10 μm 사이 영역의 입자는 돼지고기에서 나오는 기름이 팬에서 가열되어 공기 중으로 튀어 확산된 것으로 보인다. 1 μm 이하 크기의 입자들도 증가했는데, 고기를 굽는 과정에서 일부가 타서 생성된 것으로 추정된다. 가스 레인지의 사용을 종료한 후에 실내 미세먼지의 농도가 최고로 높아져서, PM_{10-1} 은 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 높아졌다. PM_1 도 PM_{10-1} 과 비슷한 시점부터 농도가 증가하기 시작하여 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였다. 가스 레인지의 작동을 멈추면서 팬과 고기의 온도가 감소하면 미세먼지의 발생원이 사라지므로, 실내 농도는 최고 농도에서 일정시간 유지하는 현상을 보인 후 감소했다. 농도가 감소한 이유는 외기로부터 미세먼지가 실내로 유입되는 침기가 주요 원인인 것으로 판단된다. 레인지 후드가 일정 시간 자동으로 운전된 것 외에도, 조리 과정 중 외부 풍속은 평균 약 3.7 m/s로 침기가 활발한 조건이었다. 바깥의 미세먼지 농도가 낮았고 PM_{10-1} 은 실내로 거의 유입되지 못하기 때문에 실내 농도가 급격히 낮아진다. 반면, 침기 과정에서 외기의 먼지 중 대부분 창틈이나 문틈에서 걸러지지 않고 유입되는 PM_1 은 실내 농도와 차이가 크지 않기 때문에, 실내 농도가 천천히 감소했던 것으로 판단된다(Joo and Ji, 2019). 실내 농도는 약 35분이 경과하여도 원래 조리 전의 수준으로 떨어

지지 않았고, 거주자가 창문을 열어 자연환기를 하면서 미세먼지 농도가 낮은 바깥 공기에 의해 희석되어 짧은 시간에 농도가 감소하였다. 만약 ‘굽기’ 조리를 시작하고, 고기를 올리기 전에 맞통풍 자연환기를 시작했다면 미세먼지 노출을 효과적으로 감소시킬 수 있었을 것이다. 조리로 인해 미세먼지 농도가 증가된 19분부터 61분 사이 실내 미세먼지 농도의 평균값은 PM_{10-1} 이 $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_1 이 $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 대기 미세먼지의 PM_{10-1} 이 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_1 이 $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유지되었다면 43분 동안 PM_{10-1} 에는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼, PM_1 에는 $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 노출을 감소시킬 수 있었다. 조리로 인한 미세먼지의 발생량이 많을수록 자연환기의 효과는 커지며, 해당 조리 사례에서는 자연환기를 일찍 하였을수록 미세먼지에 대한 노출은 감소했을 것이다. 그렇지만, 대기의 미세먼지 농도가 높을 경우에는 자연환기에 의한 미세먼지 노출 감소의 영향이 낮아질 수 있다. 특히, 미세먼지 주의보나 초미세먼지 주의보가 발령된 경우, 자연환기보다는 공기청정기를 적절하게 사용하는 것이 노출 저감 측면에서는 더 효과적일 수도 있다. 그렇지만, 조리 중에 발생한 기름 입자 등의 인체영향과 대기 미세먼지의 인체영향 중 기름입자의 인체영향이 좀 더 크다고 판단되면, 조리과정 중에 자연환기를 하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 이와 관련해서 외기 미세먼지의 농도가 높은 경우와 공기청정기의 영향에 대해서는 후속 연구에서 정리할 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 조리 과정에서 발생한 미세먼지의 크기분포 특성을 국내 아파트에서 측정하였다. 3인 가구가 일상적으로 생활하는 3달 동안의 실증 데이터를 분석하였다. 통계 분석을 위해 조리를 4가지로 구분하였다. 식사를 거르는 경우나 가스레인지 사용하지 않은 조리, ‘끓이기’, ‘볶기’, ‘굽기’로 구분하였고, 조리가 발생하는 빈도와 각 조리사례들로 인해 실내 미세먼지 농도가 증가된 정도를 정량적으로 제시하였다. 조리와 환기를 비롯해 주택에서 일어난 사건에 대한 정보는 거주자들

이 분 단위로 기록하였고, 조리 종류와 조리에 가스 레인지를 사용한 시점과 종료한 시점을 모두 기록지에 적었기 때문에, 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있었다. 실주택에서 측정한 78일의 데이터를 분석한 결과 식사를 하지 않거나 가스레인지를 사용하지 않고 조리하는 경우가 43%였고, 가스레인을 사용하여 조리한 식사는 전체의 57%였고, 32%는 ‘끓이기’, 14%는 ‘볶기’, 11%는 ‘굽기’였다. ‘끓이기’의 경우 실내 미세먼지의 변화가 거의 없었기 때문에, 조리 과정에서 미세먼지의 노출을 제어할 필요가 있는 조리는 ‘굽기’와 ‘볶기’로 전체 식사 중 약 25%에 해당했다.

조리 종류별로 미세먼지의 크기분포를 분석한 결과, 주로 기름을 사용한 ‘볶기’와 ‘굽기’를 할 때 기름 입자의 발생과 재료의 연소 때문에 비교적 다량의 미세먼지가 발생하였다. 특히, $1 \mu\text{m}$ 을 기준으로 $1 \mu\text{m}$ 보다 작은 입자와 $1-10 \mu\text{m}$ 영역의 입자의 농도 변화가 발생원에 따라 달리 나타났다. 기름 입자가 생성된 경우에는 $1-10 \mu\text{m}$ 영역의 무게농도가 비교적 크게 증가하였고, 재료가 일부 타는 경우 $1 \mu\text{m}$ 보다 작은 영역에서 입자의 무게농도가 증가한 것을 확인할 수 있었다. ‘굽기’의 경우 $1-10 \mu\text{m}$ 영역 입자가 최대 $295 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가하였고, $1 \mu\text{m}$ 이하 영역의 입자가 $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가하였다. 보통 기름입자의 발생 때문에 증가하는 $1-10 \mu\text{m}$ 영역 입자의 무게 농도가 재료를 태워서 증가하는 $1 \mu\text{m}$ 이하 영역 입자의 무게 농도보다 높았다.

이와 같이 조리과정에서 연기가 나거나 기름이 튀는 정도의 고농도 미세먼지가 생성되는 조리일 경우는 자연환기를 진행하는 것이 도움이 될 것으로 생각된다. 본 연구에서는 대기 기준인 미세먼지의 무게농도 관점에서 분석이 이루어졌는데, 실제 실내 조리과정에서 음식이 타거나 도시가스를 사용하는 가스레인지의 불꽃에서 발생하는 입자는 나노입자의 형태로 나타나므로 무게농도보다는 개수농도의 분석이 필요할 수 있다. 또한, OPC로 측정하는 과정에서 기름 입자의 측정 결과에 오차가 발생할 수 있는 한계가 있기 때문에, 연구에서 분석 제시한 크기분포나 농도의 정확성에 대해서는 논란이 있을 수 있다. 본 연구는 실제 주택에서 진

행한 실증 측정 결과이며, 상세한 조리 과정의 기록을 바탕으로 분석한 연구로, 국내의 조리 특성이나 조리 과정에서 발생하는 미세먼지를 이해하는데 기초적인 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 보건복지부)의 재원으로 한국연구재단-미세먼지 국가전략프로젝트사업(과제번호:2017M3D8A1091924)의 지원을 받아 수행함.

참고 문헌

- Buonanno, G., Stabile, L., and Morawska, L. (2009). Particle emission factors during cooking activities, *Atmospheric Environment*, 43(20), 3235-3242.
- GBD 2017 Risk Factor Collaborators (2018). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioral, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017, *Lancet*, 392, 1923-1994.
- He, C., Morawska, L., Hitchins, J., and Gilbert, D. (2004). Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmospheric Environment*, 38(21), 3405-3415.
- Joo, S. W., and Ji, J. H. (2019). Characteristics of indoor particulate matter concentrations by size at an apartment house during dusty-day, *Particle and Aerosol Research*, 15(1), 37-44.
- Joo, S. W., and Ji, J. H. (2019). Infiltration characteristics of particulate matter at a Korean apartment house, *Particle and Aerosol Research*, 15(4), 149-157.
- Li, C. S., Lin, W. H., and Jenq, F. T. (1993). Size distributions of submicrometer aerosols from cooking, *Environment International*, 19, 147-154.
- Morawska, L., and Zhang, J. (2002). Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures, *Chemosphere*, 49(9), 1045-1058.
- Sang-Nourpour, N., and Olfert, J. S. (2019). Calibration of optical particle counters with an aerodynamic aerosol classifier, *Journal of Aerosol Science*, 138, 105452.
- Yoon, H. J., Shuai, J. F., Kim T. S., Seo J. K., Jung D. Y., Ryu, H. S., and Yang W. H. (2017). Microenvironmental time-activity patterns of weekday and weekend on Korean adults, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 16(2), 182-186.