

## 거리 가판대에서의 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)와 블랙 카본(BC)의 농도평가: 조리 가판대를 중심으로

김민정<sup>1</sup> , 신지윤<sup>1</sup> , 정지원<sup>2</sup> , 최수은<sup>1</sup> , 이기영<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 보건대학원 환경보건학과, <sup>2</sup>서울대학교 건설환경공학부, <sup>3</sup>서울대학교 보건환경연구소

## Assessment of PM<sub>2.5</sub> and Black Carbon Concentrations among Street Vendors: Focusing on Cooking Stalls

Minjung Kim<sup>1</sup>, Jiyun Shin<sup>1</sup>, Jiwon Jeong<sup>2</sup>, Sueun Choi<sup>1</sup>, and Kiyoung Lee<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University;

<sup>2</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University; <sup>3</sup>Institute of Health and Environment, Seoul National University

### ABSTRACT

**Background:** PM<sub>2.5</sub> and black carbon (BC) can be generated from cooking and from vehicle operation. Street vendors may be exposed to PM<sub>2.5</sub> and BC due to their proximity both to roads and to cooking activities.

**Objectives:** The objectives of this study were to evaluate the PM<sub>2.5</sub> and BC concentrations in cooking stalls and to determine the effects of cooking activity and of types of cooking.

**Methods:** Indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> and BC concentrations, temperature, and relative humidity were measured in 32 stalls in April and May 2022. Behavioral factors such as the presence of cooking activity and types of cooking were observed. Student's T-test was performed using the difference of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> and BC concentrations to compare the effects of cooking activity and to compare types of cooking.

**Results:** One-hour averages of the difference in indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations for cooking stalls and non-cooking stalls were 9.7±15.7 µg/m<sup>3</sup> (n=22) and -0.5±0.4 µg/m<sup>3</sup> (n=10), respectively. The difference in indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations in cooking stalls was significantly higher than in non-cooking stalls (p<0.05). The indoor PM<sub>2.5</sub> concentration for stalls for Chinese pancakes and teokbokki exceeded the standards for indoor air quality in South Korea (50 µg/m<sup>3</sup>). The indoor PM<sub>2.5</sub> concentration for Korean pancake stalls exceeded the standards for outdoor air quality in South Korea (35 µg/m<sup>3</sup> for 24 hours).

**Conclusions:** The PM<sub>2.5</sub> concentrations in stalls with cooking activity was significantly higher than those in stalls without cooking activity. Some stalls with certain types of foods exceeded standards for indoor and outdoor air quality in South Korea. Better management of indoor air quality in stalls with cooking activities is necessary.

**Key words:** PM<sub>2.5</sub>, BC, vendors, cooking stalls, food carts

**Received** November 24, 2022

**Revised** December 6, 2022

**Accepted** December 9, 2022

### Highlights:

- Cooking activities significantly increased the concentration of PM<sub>2.5</sub> at street food stalls.
- Indoor PM<sub>2.5</sub> at stalls for Chinese pancakes and Teokbokki exceeded the indoor air quality standard (AQS) in Korea (50 µg/m<sup>3</sup>).
- Indoor PM<sub>2.5</sub> at stalls for Korean pancakes exceeded the outdoor AQS in Korea (35 µg/m<sup>3</sup> for 24 hours).
- Better management of indoor air quality in stalls with cooking activities is necessary.

### \*Corresponding author:

Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea  
Tel: +82-2-880-2735  
Fax: +82-2-762-2888  
E-mail: cleanair@snu.ac.kr

## I. 서 론

접근성과 편리함으로 많은 시민들이 이용하고 있는 대부분의 거리 가판대는 주로 유동인구가 많은 지하철역 근처 도보에 위치하고 있으며, 주 판매 상품은 음식이다.<sup>1)</sup> 이는 음식을 현장에서 직접 조리하여 판매하는 형식으로, 소비자에게 있어서 추가적인 가공 및 조리과정 없이 소비 가능한 이점이 있다.<sup>2-4)</sup> 그러나 거리 가판대에서 음식 조리 시 일반 실내 음식점과 마찬가지로 조리과정 중 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>), 블랙 카본(black carbon, BC), 휘발성 유기화합물(VOCs), 일산화탄소(CO) 등 다양한 물질이 발생할 수 있는 문제점이 있다.<sup>5,6)</sup> 뿐만 아니라, 거리 가판대는 구조물의 반 정도가 개방된 형태의 특징을 가지고 있기에 조리과정에서 발생하는 물질 외에도, 근접한 도로의 차량 운행에 의해 발생하는 물질의 영향을 함께 받을 수 있는 특징이 있는 장소이다. 한 연구에서는 PM<sub>2.5</sub>와 BC를 요리와 운송수단에서 발생하는 공기 중 입자상물질의 추적자(tracer)로 보기도 하였기에 요리 및 운송수단의 영향을 함께 받을 수 있는 가판대에서는 두 물질을 주의 깊게 살펴볼 필요성이 있다.<sup>7)</sup>

가판대에서 노출이 가능한 물질 중 PM<sub>2.5</sub>는 입자 직경이 2.5 μm 이하인 입자상 물질을 의미한다.<sup>8)</sup> 이는 국제 암 연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC) 분류에 따라 1급 발암성에 해당된다.<sup>9)</sup> PM<sub>10</sub>에 비해 폐포에 침적하여 호흡기에 미치는 영향이 더 큰 물질로 알려져 있다.<sup>8)</sup> 이외에도 PM<sub>2.5</sub>로의 노출은 심혈관계 질환을 일으킬 수 있는 문제점이 있다.<sup>10)</sup>

BC는 PM<sub>2.5</sub>의 주요 화학적 성분 중 하나이다. 배출된 대기 중 BC의 표면에는 황산염, 질산염을 비롯한 각종 화합물이 부착하는 특성이 있다. 이는 PM<sub>2.5</sub>의 농도 증가 요인으로도 작용한다고 알려진 바 있다.<sup>11,12)</sup> 건강영향으로는 BC로의 노출수준이 폐기능에 영향을 주는 것으로 보고된 바 있다.<sup>13)</sup> 교통관련 오염원에서 발생한 BC의 경우, 어린이의 천식과 기관지염의 위험성을 높이는 것과 연관됨이 밝혀진 바 있다.<sup>14)</sup> BC는 호흡기계를 침투하여 건강에 악영향을 끼칠 뿐만 아니라, 어린이의 사물 변별능력에도 영향을 미친다는 다수의 선행연구가 있다.<sup>15-18)</sup>

PM<sub>2.5</sub>는 조리과정 중 조리방법이나 사용되는 연료에 따라서도 발생량의 차이를 보인다. 중국의 한 도시에서 진행되었던 다양한 조리방법에 따른 PM<sub>2.5</sub> 발생량을 평가한 연구에 따르면, 조리 시에 발생한 PM<sub>2.5</sub>의 농도가 조리방법에 따라 배경농도에 비해 2.5~9.6배 높은 결과를 보인 바 있다.<sup>19)</sup> 타 조리행위를 통틀어서 튀기는 조리행위가 가장 많은 PM<sub>2.5</sub> 발생량을 보인 연구도 다수 있었으며, 동일 음식을 각각 굽고 튀기는 것을 비교할 시에는 튀기는 것이 높은 PM<sub>2.5</sub> 발생량을 보인다고 밝힌 연구도 있었다.<sup>20-24)</sup> 또한 굽기(oven cooking, toaster, stovetop cooking, grilling)가 타 조리방법에 비해 높은 PM<sub>2.5</sub>의 시간당 발생량을 보이는 연구도 존재했다.<sup>25)</sup> 특정 음식을 굽는 조리 행위

는 PM<sub>2.5</sub>의 발생량을 평상시보다 적게는 5배에서 크게는 90배까지 증가시키는 결과를 보였다.<sup>26)</sup> 조리 시 사용되는 연료의 종류와 같은 변수에 따라서도 발생물질과 발생량이 상이할 수 있다.<sup>27)</sup> 연료의 종류에서는 숯을 사용하는 미국의 거리 가판대 근처에서 PM<sub>2.5</sub>와 BC<sub>2.5</sub>의 발생량이 타 연료(프로판가스+숯, 프로판가스)에 비해 많았다. 여기서 BC<sub>2.5</sub>는 입자 직경이 2.5 μm 이하인 BC를 의미한다.<sup>5)</sup>

BC 역시 조리 시에 발생하는 특성을 보인다. 뉴욕에서 조리하는 가판대 근처에서의 프로판가스를 사용하여 조리할 경우 평균 BC<sub>2.5</sub>농도가 3.90 μg/m<sup>3</sup>였다.<sup>5)</sup> 미국의 한 쇼핑몰 푸드코트에서 발생된 BC의 평균 농도는 0.514~0.936 μg/m<sup>3</sup>였다.<sup>28)</sup> 주거환경에서 진행되었던 한 연구에서는 볶음 요리 진행 시 시간당 평균 BC 발생량이 0.5±0.4 μg/m<sup>3</sup>였다. 동일한 연구에서 토스트 조리 시 시간당 평균 BC 발생량은 0.1±0.1 μg/m<sup>3</sup>였다.<sup>29)</sup>

앞서 언급한 조리 외에도 차량운행으로 인한 차량배기가스에 의해서도 PM<sub>2.5</sub>와 BC에 노출될 수 있다. 가판대들이 다수 위치해 있는 외국 시장에서의 차도에 인접한 PM<sub>2.5</sub>의 수준은 25~664 μg/m<sup>3</sup>였다.<sup>30)</sup> 다른 선행연구에서 밝혀진 도시의 도로에서 평균 BC 농도는 9.6 μg/m<sup>3</sup>였다.<sup>31)</sup> 입심 중 거리 가판대 근무는 태아의 성장과 저체중의 위험을 결정하는 요인으로 밝혀진 바 있기에 가판대에서의 교통관련 대기오염으로의 노출도 심각한 수준임을 알 수 있다.<sup>32)</sup> 또한 거리 가판대 근무자의 장시간 야외 근무는 교통관련 대기오염과 관련된 노출의 가능성이 높은 취약한 하위 그룹 중 하나로 보았기에 주의가 필요하다.<sup>30)</sup>

도로변 가판대는 위치 특성상 자동차로 인해 발생하는 PM<sub>2.5</sub>와 BC 그리고 가판대로부터 조리과정 중 발생되어 직접적으로 노출이 가능한 PM<sub>2.5</sub>와 BC로 인하여 가판대 근무자 및 이용객에게 건강영향을 미칠 수 있다. 하지만 국내에서의 조리 가판대에서의 해당 물질의 농도수준은 아직 잘 알려져 있지 않다. 따라서, 본 연구의 목적은 거리의 조리 가판대 내의 PM<sub>2.5</sub>와 BC 농도 수준을 평가하고, 이에 조리행위 유무나 특정 조리행위가 조리 가판대 내의 PM<sub>2.5</sub>와 BC 농도 수준에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위함이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 2022년 4월 26일부터 5월 24일 사이, 주중 11일간 서울시에 위치한 조리 가판대(22곳)와 비조리 가판대(10곳)를 방문하여 실내 및 실외 공기질 측정과 가판대를 운영하는 행상인의 조리행동 관찰을 진행했다. 연구 조는 2인 1조로 이루어졌으며, 총 2개 조가 구성되었다. 각 조당 하루에 최소 2곳, 최대 4곳 가판대를 방문하여 관찰기간 동안 총 32곳 가판대를

대상으로 측정 및 관찰하였다.

### 2. 자료 수집

가판대 내 실내 공기질에 영향을 줄 것으로 예상되는 환기, 조리 여부 등의 행동 요인을 분 단위로 관찰하고, 각 가판대의 고유 특성을 확인하였다. 자료 수집은 가판대의 영업시간과 이용자 수가 많을 것으로 예상되는 시간을 고려하여 평일 18시부터 22시 30분 사이에 각 가판대 한 곳에서 1시간씩 이루어졌다. PM<sub>2.5</sub>와 BC 농도를 측정하였고, 온도나 습도가 농도에 미치는 영향을 고려하여, 온도와 습도 또한 측정을 하였다. 가판대 내 PM<sub>2.5</sub>, BC, 온도, 습도는 모두 실시간 측정기기를 사용하여 측정하였다. PM<sub>2.5</sub>의 경우, 광산란 측정 방식의 직독식 기기인 SidePak (Model AM520, TSI Inc, MN, USA)을 사용하여 1초 간격으로 측정 시작시간부터 종료시간까지 측정하였다. 매 측정 전 zero calibration과 flow calibration을 실시하였다. 측정이 진행되는 동안 유량은 1.7 L/min으로 유지하였다. BC의 경우, 광학적 흡수 방법을 이용하여 실시간으로 BC 농도를 측정하는 Aethalometer (Model AE-51, Aethlabs, CA, USA)를 사용하여 10초 간격으로 측정 시작시간부터 종료시간까지 측정하였다. 측정이 진행되는 동안 유량은 150 mL/min으로 유지하였고, 필터는 하루에 한번씩 교체하여 진행하였다. 온도와 습도의 경우, Onset HOBO Data logger (Model HOBO UX 100-003, Onset computer co, MA, USA)를 사용하여 1분 간격으로 측정 시작시간부터 종료시간까지 측정하였다. 실내에서 각각 SidePak AM520, Aethalometer AE-51, HOBO UX 100-003의 설치 위치는 대부분 지면으로부터 약 0.8 m 가량 떨어진 높이로 하였다. 내부가 협소한 가판대의 특성상 허리높이에 두기 힘들 경우, 지면으로부터 약 0.15 m 가량 떨어진 높이에 두었다. 가판대의 실내에서 측정을 진행하면서, SidePak AM520, Aethalometer AE-51, HOBO UX 100-003으로 가판대 외부에서의 측정을 동시 진행하였다. 가판대 외부의 경우, 측정 위치를 가판대에 근접한 도로에서 1 m 내외에 위치한 곳, 지면으로부터 0.5 m 이상인 곳으로 하였다. SidePak AM520은 Aethalometer AE-51과 HOBO UX 100-003 옆에 설치하여 PM<sub>2.5</sub>, BC, 온도, 습도가 동일한 위치에서 측정되게 하였다.

### 3. 자료 분석

SidePak AM520으로 측정한 PM<sub>2.5</sub> 데이터는 선행 연구에서 중량농도와의 비교실험을 통해 도출한 환산계수(0.43)를 곱한 후 질량 농도(μg/m<sup>3</sup>)로 변환하였다.<sup>33)</sup> Aethalometer AE-51로 측정한 가판대 내 BC 농도데이터의 경우, 검출한계(0.001 μg/m<sup>3</sup>) 미만 농도는 검출한계의 절반 값을 적용하여 분석하였다.<sup>34)</sup> 측정된 PM<sub>2.5</sub>, BC, 온도 및 습도 데이터는 1분 평균으로 환산하여 활용하였다. 환산한 값을 이용하여 산술평균과 기하평균 그리고 표준편차와 기하표준편차를 산출하였다. 가판

Table 1. Adjusted arithmetic and geometric mean of indoor PM<sub>2.5</sub> and BC

Group	Types of cooking	N	Indoor PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )		Outdoor PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )		Adjusted PM <sub>2.5</sub> * (μg/m <sup>3</sup> )		Indoor BC (μg/m <sup>3</sup> )		Outdoor BC (μg/m <sup>3</sup> )	
			AM±SD	GM (GSD)	AM±SD	GM (GSD)	AM±SD	GM (GSD)	AM±SD	GM (GSD)	AM±SD	GM (GSD)
Cooking stalls	Grilling or frying	16	15.0±16.5	8.0 (4.7)	5.0±5.4	3.8 (1.6)	9.4±16.0	2.1±1.1	1.8 (1.4)	0.0±0.0	0.0 (1.2)	
	Others	6	18.4±20.5	11.6 (3.0)	9.3±7.3	7.3 (1.8)	11.0±14.5	3.0±2.2	2.3 (1.9)	0.0±0.0	0.0 (1.1)	
Sub total		22	15.9±17.2	8.3 (4.1)	6.2±6.1	4.6 (1.7)	9.7±15.7	2.3±1.5	1.9 (1.5)	0.0±0.0	0.0 (1.2)	
Non cooking stalls		10	5.4±2.6	4.9 (1.3)	6.0±2.9	5.4 (1.2)	-0.5±0.4	1.6±0.6	1.5 (1.2)	0.0±0.0	0.0 (1.1)	
Total		32	12.7±15.1	7.3 (2.8)	6.1±5.2	4.8 (1.6)	6.5±13.8	2.1±1.3	1.8 (1.4)	0.0±0.0	0.0 (1.1)	

\*Adjusted PM<sub>2.5</sub> is the value of difference of indoor and outdoor concentration.

AM: arithmetic mean, SD: standard deviation, GM: geometric mean, GSD: geometric standard deviation.

대 내부에서 측정된 농도는 바탕농도에 의한 영향을 받기 때문에, 정확한 실내 농도를 산출하기 위하여 가판대 내부 측정 농도에서 가판대 외부 측정 농도를 차감하여 보정하였다. 보정한 농도의 산술평균과 표준편차를 산출하였다. Shapiro-Wilk 정규성 검정결과, 자연로그를 취한 데이터가 정규성을 따르므로, 이를 이용하여 조리 가판대와 비조리 가판대 내부의 PM<sub>2.5</sub>, BC의 각각 가판대 당 한 시간 평균 농도를 독립표본 T 검정 분석을 하였다. 조리 가판대 중에서는 타 조리행위에 비해 PM<sub>2.5</sub>의 발생량을 증가시킬 수 있는 굽기와 튀기기를 연구원이 방문한 한 시간 동안 진행했던 경우와 아닌 경우로 나누어 각각 가판대 당 한 시간 평균 농도를 독립표본 T 검정 분석을 하였다.<sup>35)</sup> 통계분석은 SPSS Statistics 25 (IBM, USA) 프로그램을 이용해 진행하였다. R 소프트웨어 v.4.0.5 (R Development Core Team, Vienna, Austria)를 이용하여 그래프를 작성하였다.

### III. 결 과

#### 1. 관찰 대상 가판대 및 실내 공기질 특성

관찰기간 동안 서울시 내 32곳의 가판대에서 측정이 진행되었다. 1시간 동안의 모니터링을 통해, 가판대의 실내 공기질과 행상인의 특정 조리행위(굽기, 튀기기)에 관한 특성을 확인하였다(Table 1). 32곳의 가판대 내부 평균 온도는 24.42±2.5°C, 평균 상대습도는 32.4±9.1%로 비교적 일정한 수준이었다. 전체 가판대에 대한 내부 PM<sub>2.5</sub> 농도는 산술평균 12.7±15.1 µg/m<sup>3</sup>, 기하평균 7.3 (기하표준편차=2.8) µg/m<sup>3</sup>, BC 농도는 산술평균 2.1±1.3 µg/m<sup>3</sup>, 기하평균 1.8 (기하표준편차=1.4) µg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 보정한 PM<sub>2.5</sub> 농도는 산술평균 6.5±13.8 µg/m<sup>3</sup>, BC 농도는 산술평균 2.0±1.3 µg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 보정된 조리 가판대의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 산술평균 9.7±15.7 µg/m<sup>3</sup>로 비조리 가

**Table 2.** Detail information of cooking stalls

Meals*	Types of cooking <sup>†</sup>	Indoor PM <sub>2.5</sub> (AM, µg/m <sup>3</sup> )	Adjusted PM <sub>2.5</sub> <sup>‡</sup> (AM, µg/m <sup>3</sup> )	Indoor BC (AM, µg/m <sup>3</sup> )
Tteokbokki, Sausage, Fried food, Soondae, Fishcake	Boiling, frying	1.6	-	1.0
Takoyaki	Grilling (with gas)	23.2	21.3	2.2
Corn, Fish-shaped pastries	Boiling	22.5	19.4	2.2
Fishcake, Chinese pancakes	Grilling (with gas)	58.3	53.7	2.0
Chicken skewers	Grilling (with charcoal)	15.0	-	2.5
Tteokbokki	Boiling	57.7	35.7	3.2
Tteokbokki, Chicken skewers, Fried food, Gimbap	Grilling (with electricity), frying	5.8	1.5	1.0
Sweet potato	Grilling (with gas)	9.5	1.2	2.1
Fish-shaped pastries	Heating	3.8	-	0.7
Chinese pancake, Doughnut	Grilling (with gas)	10.2	7.3	0.6
Sweet and sour chicken	Frying, stir-frying	1.4	-	0.9
Takoyaki, Okonomiyaki, Japanese stir-fried noodles	Grilling (with gas)	29.2	25.3	4.8
Tteokbokki, Fishcake	Boiling	14.2	0.6	3.6
Doughnut	Heating	4.1	-	1.3
Korean pancake, Fishcake	Grilling (with gas), boiling	42.2	36.9	3.8
Toast, Gimbap, Fishcake, Beverage	Grilling (with gas)	8.2	-	6.9
Tteokbokki, Fishcake, Fried food, Gimbap	Boiling, frying	6.0	0.2	2.6
Puffed rice, Jelly	Frying	8.6	4.2	3.0
Tteokbokki, Chicken skewers, Corn dog, Fishcake, Fried food, Gimbap, Eggs	Frying, boiling	23.4	18.5	1.9
Tteokbokki, Fishcake, Fried food, Gimbap, Soondae	Frying, boiling	2.1	-	1.4
Waffle, Beverages	Grilling (with electricity)	2.7	1.0	1.4
Grilled short rib patties	Grilling (with gas)	1.3	-	1.0

-: Indoor concentration was lower than outdoor concentration.

AM: arithmetic mean.

\*Meals on sale in cooking stalls.

<sup>†</sup>Types of cooking means what vendors do for cooking for 1 hour.

<sup>‡</sup>Adjusted PM<sub>2.5</sub> means the value of difference of indoor and outdoor concentration.

판대의 평균  $-0.5 \pm 0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 큰 차이를 보였다. 조리 가판대 중 특정 조리를 진행한 보정 농도는  $9.4 \pm 16.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 비 특정 조리의 경우는  $11.0 \pm 14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비 특정 조리가 조금 더 높았으나, 큰 차이는 없었다. 조리 가판대의 보정 BC 농도는 산술평균  $2.2 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비조리 가판대의 평균  $1.6 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 조금 더 높은 값을 보였다. 그러나 조리 가판대 중 특정 조리를 진행한 경우는  $2.3 \pm 1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 비 특정 조리의 경우는  $2.2 \pm 1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 특정 조리가 조금 더 높지만 큰 차이가 없는 수준임을 확인하였다.

방문하였던 32곳 가판대 중 22개 가판대는 음식을 조리하여 파는 조리 가판대였으며, 연구원이 각 조리 가판대를 방문하였을 때 가판대에서 판매 중이었던 음식의 종류와, 1시간 동안 한번이라도 진행된 조리행위, 그리고 각 조리 가판대에서의 각각 BC와 PM<sub>2.5</sub>의 보정한 농도를 Table 2에 나타내었다. 보정한 PM<sub>2.5</sub> 최대농도는  $53.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 호떡을 판매하는 가판대에서 측정되었고, 이때 측정시간 동안 진행된 조리 행위는 호떡 굽기였다. 그 다음으로 농도가 높았던 가판대는  $36.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전을 판매했으며 전 굽기와 어묵 끓이기의 조리행위가 진행되었다. BC 최대농도는  $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 토스트, 김밥 등 분식류를 판매하는 가판대에서 측정되었고, 이때 측정시간 동안 진행된 조리 행위는 토스트 굽기였다. 그 다음으로 농도가 높았던 가판대는  $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일본음식인 타코야끼를 판매했으며 타코야끼 굽기가 진행되었다.

## 2. 조리 유무에 따른 실내공기질 비교

식품 조리에 따른 보정된 PM<sub>2.5</sub> 평균 농도를 비교해 보았을 때, 비조리 가판대에서 조리 가판대보다 더 낮았다(Fig. 1). 두 집단 간의 평균 PM<sub>2.5</sub> 농도는 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).

조리 가판대( $n=22$ )의 BC 평균 농도의 경우, Table 1과 같이 산술평균 기준  $2.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 조리 유무에 따른 보정된 평균 BC 농도를 비교해보면, 조리 가판대에서의 BC농도가 비조리 가판대의 경우보다 높았다(Fig. 1). 하지만, 두 집단 간의 평균 BC 농도는 유의한 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).

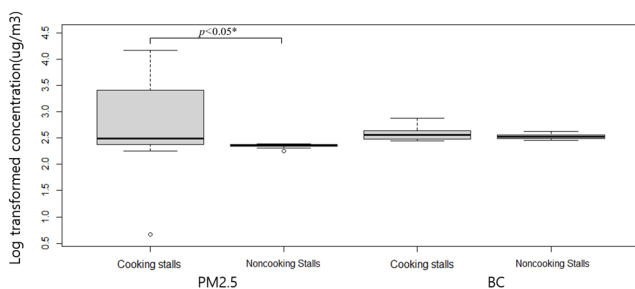


Fig. 1. Box plots of adjusted PM<sub>2.5</sub> and BC concentration by presence of cooking.

\*Independent two sample t-test.

## 3. 조리 가판대에서의 특정 조리 행위에 따른 실내공기질 비교

조리 가판대 중에서도 PM<sub>2.5</sub> 농도가 비교적 높을 것이라고 예상되는 굽기, 튀기기와 같은 특정 조리 행위에 따른 보정된 PM<sub>2.5</sub> 평균 농도를 비교하였다. 특정 조리 행위에 따른 보정된 평균 PM<sub>2.5</sub> 농도를 비교해보았을 때, 특정 조리를 진행한 조리 가판대와 비 특정 조리 가판대 간의 차이는 거의 없었다. 두 집단 간의 평균 PM<sub>2.5</sub> 농도는 통계적으로도 유의미한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

특정 조리 행위 여부에 따른 보정된 평균 BC 농도를 비교해보았을 때, 특정 조리 가판대가 비 특정 조리 가판대보다 BC 농도와 비슷하지만 몇몇 값으로 인해 조금 더 높은 결과를 보였다. 하지만, 두 집단 간의 평균 BC 농도는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

## IV. 고 찰

조리 가판대( $n=22$ ) 실내 PM<sub>2.5</sub>의 1시간 평균 농도는  $15.9 \pm 17.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 국내 실내공기질 관리법에서 규정하는 지하역사 등 다중이용시설 대상의 기준인  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 취약계층 이용시설 등 실내공기질 유지기준인  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지는 않는 수준을 보인다. 하지만, 조리 가판대 세 곳에서 해당 기준치들을 초과한 결과를 보였는데, 호떡집( $58.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 떡볶이집( $57.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 그리고 전집( $42.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었다. 조리 가판대 행상인의 경우, 가판대 실내에서 최소 3~4시간, 최대 8시간 넘게 상주를 하면서 가판대 내부 조리행위 등으로 인해 발생하는 PM<sub>2.5</sub>와 외부대기로부터의 PM<sub>2.5</sub> 영향을 함께 받기에 실내 PM<sub>2.5</sub> 농도를 통해 간접적으로 행상인의 직업적 노출 농도 수준을 가늠할 수 있다. 하지만, 본 연구는 1시간 평균농도를 사용하였으며 앞서 비교하였던 다중이용시설의 PM<sub>2.5</sub> 농도의 경우, 24시간 평균 농도로 차이가 있으며 일반 대중이 사용하는 공간 자체의 농도이기에 기준과 비교 해석 시 주의가 필요하다. 법적 기준치가 따로 없는 BC의 경우, 조리 가판대( $n=22$ ) 실내 BC의 1시간 평균 농도는  $2.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유럽과 미국 시골지역 대기 중 BC 농도 범위인  $0.1 \sim 0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 수준을 보인다.<sup>36)</sup> 뉴욕 길거리에서 진행된 food cart 연구결과와 비교 시, 숯을 사용하는 곳의 평균 BC<sub>2.5</sub> 농도인  $5.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교하였을 때 낮은 수치이나, 프로판가스를 연료로 사용한 food cart 범위인  $1.68 \sim 5.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당하는 수치를 보였다.<sup>5)</sup>

실내농도에서 실외농도를 빼서 보정한 PM<sub>2.5</sub>의 1시간 평균 농도를 조리행위 유무에 따라 비교 시, 평균 농도 범위의 최댓값이 조리 가판대의 경우  $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 0보다 유의하게 높았으며, 비조리 가판대의 경우 실내와 실외의 평균 농도 차이가 없는 수준이었다. 이를 통해 연구원이 방문한 1시간 동안은 평균적으로 조리 가판대에서 비조리 가판대에 비해 유의한 오염원

이 있었음을 알 수 있으며, 이는 조리행위가 기인한 것으로 보인다.

특정조리행위를 진행한 곳 중 보정된 1시간 평균 농도가 높았던 가판대는 굽기를 진행하였던 호떡집(53.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 전집(36.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었다. 해당 가판대의 경우, 기름을 다량 사용하여 고농도의  $\text{PM}_{2.5}$ 가 발생한 것으로 판단된다. 전 굽기를 진행한 가판대의 경우, 실내공기질 관리법에서 규정하는 취약계층 이용시설 등 실내공기질 유지기준인 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 수준을 보였다. 특정조리행위를 진행하며 동시에 연료로 숯을 이용하여 다량의  $\text{PM}_{2.5}$ 가 발생할 것으로 예상되었던 닭꼬치집의 경우,  $\text{PM}_{2.5}$ 의 평균농도가 실내 농도가 실외 농도에 비해 낮은 값을 보였다. 이는 가판대 내부의 선풍기가 켜져 있었기에 기류의 영향을 받은 것으로 보인다. 특정조리행위를 하지 않았던 조리 가판대 5곳 중 2곳의 보정한  $\text{PM}_{2.5}$  농도가 상대적으로 고농도였기에 특정조리행위를 진행한 곳의 보정한 평균농도가 증가하였는데, 그 중 한 곳은 끓이기를 진행한 떡볶이집(35.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었으며, 다른 한 곳은 봉어빵 데우기 및 옥수수 찌기를 진행한 곳(19.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었다. 데우기 및 찌기 이외에 추가 조리가 없었음에도 불구하고 고농도가 나온 것에 대해서는 향후 추가 연구가 필요하다. 특정조리행위(굽기, 튀기기) 유무로 비교하여 보정한 BC의 1시간 평균 농도를 살펴보았을 때 특정 조리행위인 굽기와 튀기기를 진행하였던 가판대 중 높은 농도를 보인 두 곳은 모두 굽기를 진행하였으며, 각각 토스트 굽기(6.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 타코야끼 굽기(4.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 행위가 연구원이 방문하였던 시간에 진행되었다. 토스트 굽기의 경우, 선행연구에서의 프로판가스를 연료로 사용하였을 때 범위(1.68~5.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비해서는 다소 높은 수치를 보였다.<sup>5)</sup> 특정조리를 진행하지 않았던 가판대 중 상대적으로 고농도를 보였던 떡볶이 데우기(3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 진행한 곳이 있었으며, 이 역시 향후 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 통해 호떡과 전 등 일부 음식을 조리 시 기준치를 넘는 조리 음식 판매 가판대가 있음을 밝혔으나, 이것이 해당 음식을 판매하는 모든 가판대의 수치라고 판단할 수 없기에 추후 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 오랜 시간을 가판대에서 근무하며 조리를 하는 행상인의 노출을 고려하였을 때, 국소배기장치 혹은 가판대 내부공기를 외부로 이동시켜주는 Fan을 두는 등의 방안이 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 시간적 제약으로 인하여 한정된 장소에서 한정된 종류의 일부 가판대를 대상으로 진행하였기에, 모든 가판대를 대표한다고 볼 수는 없다. 또한 각 가판대별 1시간씩 측정을 하였기에 측정이 진행되었던 1시간 이외의 시간을 대표한다고 볼 수 없다. SidePak AM520 측정 값을 환산계수 0.43을 이용하여 환산하였는데 해당 환산계수는 선행연구에서 SidePak AM510을 이용하여 도출한 값이었기에 기기차이로 인해 과대 혹은 과소 평가가 되었을 수 있다. 그리고 길거리 가판대의 특성상 근

거리에 좁은 간격으로 위치해 있는 특징이 있는데 이로 인해 타 가판대에서  $\text{PM}_{2.5}$ , BC 등이 발생하여 영향을 미치는 것에 대해서는 다루지 못한 한계점이 존재한다. 본 연구를 기반으로 추후 조리 가판대에 관한 추가 연구가 필요하다.

## V. 결 론

본 연구를 통해 서울시에 위치한 조리 가판대 22곳, 비조리 가판대 10곳, 총 32곳의 가판대 내/외부에서  $\text{PM}_{2.5}$ , BC 측정을 통해 조리 가판대와 아닌 곳에서의 각 물질의 발생 차이가 있는지, 가판대 중에서도 특정조리행위(굽기, 튀기기)를 한 곳에서 유의미한 발생 차이가 있는지를 보고자 하였다. 그 결과, 조리 가판대에서의  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도가 비조리 가판대에 비해 유의미하게 높은 발생량을 보였다. 본 연구의 결과는 일부 가판대에서의 일부 시간의 측정 결과로 모든 가판대 및 모든 시간대를 대표할 수 없는 점 그리고  $\text{PM}_{2.5}$ 와 BC 농도에 영향을 줄 수 있는 기타 영향을 고려하지 못한 한계점이 있으나 아직 국내에서 많이 진행되지 않은 가판대 연구를 진행하였다는 점, 관련 기초연구를 제시하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원 및 서울대학교 보건대학원 환경보건학과와 노출평가 개론 수업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(BK21 FOUR 5199990214126).

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## References

1. Ko HG, Lee JH. A study on characteristics analysis of typology of occupation with street vendors in Seoul. *Archit Inst Korea*. 2004; 24(2): 407-410.
2. Barth GA. Street Foods: Informal Sector, Food Preparation, and Marketing. Iloilo City: Equity Policy Center; 1983.
3. Powell D, Wint E, Brodber E, Campbell V. Street Foods of Kingston. Kingston: University of the West Indies, (Mona), Institute of Social and Economic Research; 1990. p.1-15.
4. Kim HI. Street food awareness and purchasing behavior affect relations with commercialize tourism research on potential. *J Hosp Tour Stud*. 2017; 19(4): 129-146.
5. Nahar K, Rahman MM, Raja A, Thurston GD, Gordon T. Exposure assessment of emissions from mobile food carts on New York City

- streets. *Environ Pollut.* 2020; 267: 115435.
6. Zhang Q, Gangupomu RH, Ramirez D, Zhu Y. Measurement of ultrafine particles and other air pollutants emitted by cooking activities. *Int J Environ Res Public Health.* 2010; 7(4): 1744-1759.
  7. Buonanno G, Stabile L, Morawska L, Russi A. Children exposure assessment to ultrafine particles and black carbon: the role of transport and cooking activities. *Atmos Environ.* 2013; 79: 53-58.
  8. Atkinson RW, Mills IC, Walton HA, Anderson HR. Fine particle components and health--a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2015; 25(2): 208-214.
  9. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs Vol. 109: Outdoor Air Pollution. Available: [https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr221\\_E.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf) [accessed 5 December 2022].
  10. Puett RC, Hart JE, Yanosky JD, Paciorek C, Schwartz J, Suh H, et al. Chronic fine and coarse particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the Nurses' Health Study. *Environ Health Perspect.* 2009; 117(11): 1697-1701.
  11. Lim K, Kim S, Kang M. A Study on the Effects of Carbon Black to Reactive Oxygen Species and Inflammation Reaction. Daejeon: Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA; 2010. p.1-95.
  12. Park J, Song I, Kim H, Lim H, Park S, Shin S, et al. The characteristics of black carbon of Seoul. *J Environ Impact Assess.* 2019; 28(2): 113-128.
  13. Laeremans M, Dons E, Avila-Palencia I, Carrasco-Turigas G, Orjuela-Mendoza JP, Anaya-Boig E, et al. Black carbon reduces the beneficial effect of physical activity on lung function. *Med Sci Sports Exerc.* 2018; 50(9): 1875-1881.
  14. Kim JJ, Smorodinsky S, Lipsett M, Singer BC, Hodgson AT, Ostro B. Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay Children's Respiratory Health Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004; 170(5): 520-526.
  15. De Miranda RM, Perez-Martinez PJ, De Fatima Andrade M, Ribeiro FND. Relationship between black carbon (BC) and heavy traffic in São Paulo, Brazil. *Transp Res D Transp Environ.* 2019; 68: 84-98.
  16. Jansen KL, Larson TV, Koenig JQ, Mar TF, Fields C, Stewart J, et al. Associations between health effects and particulate matter and black carbon in subjects with respiratory disease. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(12): 1741-1746.
  17. Janssen NA, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, van Bree L, ten Brink H, et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect.* 2011; 119(12): 1691-1699.
  18. Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet.* 2012; 380(9859): 2224-2260.
  19. Li YC, Shu M, Ho SSH, Wang C, Cao JJ, Wang GH, et al. Characteristics of PM2.5 emitted from different cooking activities in China. *Atmos Res.* 2015; 166: 83-91.
  20. Jung CC, Su HJ. Chemical and stable isotopic characteristics of PM<sub>2.5</sub> emitted from Chinese cooking. *Environ Pollut.* 2020; 267: 115577.
  21. Lu F, Shen B, Yuan P, Li S, Sun Y, Mei X. The emission of PM<sub>2.5</sub> in respiratory zone from Chinese family cooking and its health effect. *Sci Total Environ.* 2019; 654: 671-677.
  22. See SW, Balasubramanian R. Physical characteristics of ultrafine particles emitted from different gas cooking methods. *Aerosol Air Qual Res.* 2006; 6(1): 82-92.
  23. Buonanno G, Johnson G, Morawska L, Stabile L. Volatility characterization of cooking-generated aerosol particles. *Aerosol Sci Technol.* 2011; 45(9): 1069-1077.
  24. See SW, Balasubramanian R. Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmos Environ.* 2008; 42: 8852-8862.
  25. Olson DA, Burke JM. Distributions of PM2.5 source strengths for cooking from the Research Triangle Park particulate matter panel study. *Environ Sci Technol.* 2006; 40(1): 163-169.
  26. He C, Morawska L, Hitchins J, Gilbert D. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmos Environ.* 2004; 38: 3405-3415.
  27. Cho KS. Emission property of odorous particulate matter from cooking activity. *J Odor Indoor Environ.* 2021; 20(3): 179-201.
  28. Paras KD. Measurements of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>, and black carbon in cooking and non-cooking environments inside California Shopping Malls [dissertation]. [San Diego]: San Diego State University; 2018.
  29. Sankhyan S, Patel S, Katz EF, DeCarlo PF, Farmer DK, Nazaroff WW, et al. Indoor black carbon and brown carbon concentrations from cooking and outdoor penetration: insights from the HOMEChem study. *Environ Sci Process Impacts.* 2021; 23(10): 1476-1487.
  30. Noomnuan S, Shendell DG. Risk of adult street vendor exposure to traffic-related air pollution in Bangkok, Thailand. *Hum Ecol Risk Assess Int J.* 2017; 23(2): 340-349.
  31. Dons E, Temmerman P, Van Poppel M, Bellemans T, Wets G, Int Panis L. Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon. *Sci Total Environ.* 2013; 447: 72-79.
  32. Amegah AK, Jaakkola JJ. Work as a street vendor, associated traffic-related air pollution exposures and risk of adverse pregnancy outcomes in Accra, Ghana. *Int J Hyg Environ Health.* 2014; 217(2-3): 354-362.
  33. Yun D, Kim M, Lee J, Kim B, Lee D, Lee S, et al. Correction factors for outdoor concentrations of PM2.5 measured with portable real-time monitors compared with gravimetric methods: results from South Korea. *J Environ Sci Int.* 2015; 24(12): 1559-1567.
  34. AethLabs. microAeth®/Software & Firmware. Available: <https://aethlabs.com/microaeth/software/> [accessed 31 May 2022].
  35. Joo S, Ji J. Size distribution characteristics of particulate matter emitted from cooking. *Part Aerosol Res.* 2020; 16(1): 9-17.
  36. Sasser E, Dawson J, Rao V, Hemby J, Frank N, Rice J, et al. Report to Congress on Black Carbon. Triangle Park: EPA; 2012. p.1-388.

#### 〈저자정보〉

김민정(박사과정), 신지윤(석사과정), 정지원(박사과정), 최수은(박사과정), 이기영(교수)