

TECHNICAL NOTE

천식 환자 가정 내 굽기조리 활동에 의한 실내 미세먼지(PM_{2.5}) 농도 수준의 변화

박수정 · 박춘식¹⁾ · 임대현²⁾ · 이상운 · 장소영 · 유슬 · 김성렬*

순천향대학교 환경보건학과, ¹⁾순천향대 부천병원 호흡기 알레르기내과, ²⁾인하대학교 소아청소년과,

Impact of Indoor Pan-frying Cooking Activity on Change of Indoor PM_{2.5} Concentration Level in Asthmatics' Homes

Su Jung Park, Choon sik Park¹⁾, Dae hyun Lim²⁾, Sang woon Lee, So young Jang, Sol Yu, Sung Roul Kim*

Department of Environmental of Health Sciences, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

¹⁾*Department of Internal Medicine, Soonchunhyang Bucheon Hospital, Bucheon 14584, Korea*

²⁾*Department of Pediatrics and Environmental Health Center for Allergic Diseases, Inha University hospital, Incheon 22212, Korea*

Abstract

Asthmatics are more susceptible to fine particulate matters (PM_{2.5}), compared to the general population. It has been reported that indoor PM_{2.5} is mainly generated by combustion of fossil fuels, meat or fish. In particular, asthmatics are known to be more susceptible to indoor PM_{2.5} because 65 ~ 95% of child or adult asthmatics stay inside the house. Thus, understanding the association between indoor activity patterns and variations in indoor PM_{2.5} levels is important. The purpose of this study is to determine the distribution of hourly indoor PM_{2.5} concentrations in asthmatics' homes, and to evaluate its association with pan-frying cooking activity patterns, the most common PM_{2.5} emission related activity. From November 2017 to February 2018, real-time PM_{2.5} concentrations were measured in the living room of each asthmatic's house (n = 35) for three weeks at 1 minute intervals. At the same time, self-reported daily activity patterns, hourly proportion (%) of cooking activities, were also recorded every hour over three weeks for each patient. In this study, we provided quantitative evidence that the distribution patterns of indoor hourly PM_{2.5} concentrations were associated with indoor cooking activities, especially in the homes of adult asthmatics. In addition, we observed that PM_{2.5} emitted by pan-frying could maintain even over up to 2 hour lagtime.

Key words : Indoor, Activity pattern, PM_{2.5} Asthmatic's home

Received 7 October, 2019; Revised 10 January, 2020;

Accepted 28 January, 2020

*Corresponding author: Sung-Roul Kim, Department of Environmental of Health Sciences, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

Phone : +82-41-530-1249

E-mail : sungroul.kim@gmail.com

© 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.

1. 서론

PM_{2.5}는 여러 가지 대기 오염 물질 중 건강 유해 영향에 가장 밀접하게 관련되어 있으며(Pope and Dockery, 2006). 또한, 특히 심혈관계 질환(cardiovascular disease, CVD)과 호흡기계 질환(Respiratory Disease, RD)에 공기 역학적인 직경이 10 mm와 2.5 mm 미만인 입자(PM₁₀과 PM_{2.5})의 영향에 대한 증거가 증가하고 있다(Donaldson et al., 2000; Eder et al., 2006; Lepeule et al., 2012). PM_{2.5}는 2013년 세계 보건기구(World Health Organization, WHO)에 의해 1급 발암물질(group 1)로 지정되었다(WHO, 2013).

천식증세의 악화는 미세먼지(Particulate Matter, PM)의 노출과 관련 있다고 알려져 있다(Hansbro et al., 2008; Lepeule et al., 2012; Jang 2015). 미국에서 시행된 연구 결과에 따르면 1999년부터 2005년까지의 기간 동안 Medicare 환자의 입원 자료를 분석한 결과, PM₁₀이 아닌, PM_{2.5}가 호흡기와 심혈관계로 인한 입원과 유의한 연관이 있는 것으로 보고되었다(Peng et al., 2008). 이러한 연구는 미세먼지가 천식 악화에 미치는 영향은 입자의 크기가 작을수록 더 크다는 것으로 해석될 수 있다. 또한, 미국, 홍콩 등에서 진행된 최근 연구에서는 미세먼지 또는 초미세먼지에 노출에 따른 천식환자의 건강 영향은 환자의 연령대에 따라 다를 수 있다고 보고된 바 있다(Ko et al., 2007; Park et al 2013; Kim et al., 2015). 또한 Schindler(2001)은 단기간의 미세먼지 농도 증가에 노출될 경우, 천식이 없는 건강한 사람에서도 폐기능을 저하시킬 수 있다고 보고한 바 있다. 따라서 천식환자는 건강한 사람보다 PM_{2.5} 노출에 민감하므로, 지속적인 모니터링과 노출저감을 위한 관리가 필요하다(Klepeis et al., 2001).

초미세먼지는 자연적 및 인위적으로 발생하는 외부 공기의 유입뿐만 아니라 발생원 실내에서의 활동, 주방에서의 조리, 청소, 흡연 등에 의해 발생되며(Abt et al., 2000), 특히 실내 PM_{2.5}는 주방에서 고체 연료를 연소시킴으로써 대부분 생성되는 것으로 보고되고 있다(Kleeman et al. 1999). 이미 국내 연구에서는 가정용 부엌에서의 굽기 요리 때문에 실내 PM_{2.5}의 수준이 상당히 높다고 보고되어 있으며(Lee et al., 2017), 해외에서 또한 조리할 때 거실과 주방에서 배경 농도보다 PM_{2.5}농도

가 각각 10배, 40배로 높게 나타남이 보고된 바 있다(Wan et al., 2011). 본 연구는 가정에서의 굽기 활동에 따른 실내 초미세먼지의 농도 변화유무를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 측정 장소 및 기간

측정 장소는 인천광역시, 경기도 부천에 거주하는 천식 환자들 중 소아 13가정, 성인 22가정에서 PM_{2.5} 측정을 실시하였다. 소아환자와 성인환자는 각각 인하대소아청소년과, 순천향 부천병원 호흡기내과를 통해 모집된 자료를 활용하여 분석하였다. 측정 대상의 PM_{2.5} 농도 측정은 모든 가정 내에서 3주동안 하루 종일 실시되었다. 본 연구는 순천향대학교 연구윤리위원회의 심의(1040 875-201608-BR-030)를 거쳐 연구를 진행하였다.

2.2. 측정 방법

미세 먼지, 온·습도, 이산화탄소 등 실내 환경 요인을 실시간으로 모니터링하는 실시간 모니터링 측정 기기인 airguard K (IAQ Station, Seoul, South Korea)를 이용하여 PM_{2.5}를 측정하였다. 측정 기기는 각 가정에 3주간 설치하여 1분 간격으로 자료가 저장되도록 하였다. 저장된 측정값은 1시간 평균값으로 전환하여 사용되었다. PM_{2.5}의 측정은 가정 내의 호흡 위치인 지상으로부터 약 1.5 m 높이에서 실시되었다. 센서 기반의 측정기가 데이터 수집을 위해 사용되기 전에는 반드시 적절한 검증 과정이 있어야 할 필요가 있으므로(Snyder et al., 2013), 본 연구에서 쓰인 측정 기기는 미국 EPA에서 제시한 지침서를 참고하여, 기준 장비를 활용하여 보정한 뒤 사용하였다(Williams et al., 2014). 동시에 각 대상자들이 자기 기입식 생활활동일지를 3주 동안, 1시간마다 매일 굽기 요리 유무를 포함하여 직접 기록하도록 하였다.

2.3. 자료 분석

1시간 평균 PM_{2.5} 농도는 대상자들이 1시간마다 직접 기록한 일일 생활활동 일지의 시간 단위와 동일하게 맞추어 결과 분석에 활용하였다. 총 35가정에서 측정된 환경 요인들의 자료와 환자들의 생활 활동 패턴에 대한 비율(%)을 도출하는 과정을 Fig. 1.에 나타내었다. 본 연구에서 취합한 자료의 기술 분석(중앙값, 사분위수 등)은 각 환자별로 3주 동안 측정된, 일별 실내공기질 측정

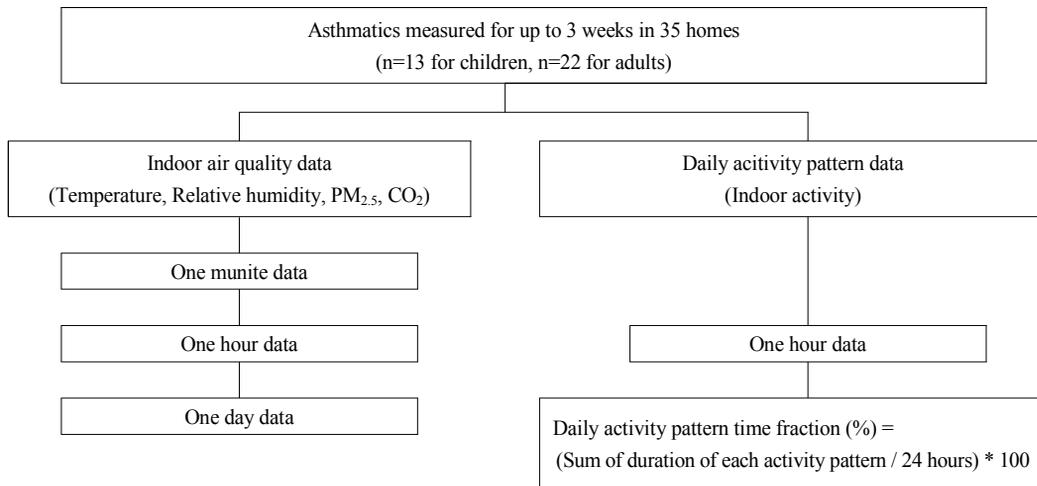


Fig. 1. Flow chart for deriving indoor environment factor concentration and time activity pattern fraction from database.

결과를 정리하기 위해 사용하였다. 한편, 굽기와 관련된 실내 활동은 상대적으로 아침보다는 저녁에 많을 것으로 추정하여, 본 연구에서 굽기 조리 활동 유무에 따른 시간별 PM_{2.5} 농도 분포 비교는 오후 4시부터 8시까지의 자료를 활용하였고, Wilcoxon test를 사용하여 비교하였다. 그리고 오후 4시부터 8시까지 천식환자 가정의 실내 PM_{2.5}와 굽기 활동 유무의 연관성 평가를 위해 다변량 회귀 분석을 진행하였다. 본 연구에서의 통계분석은 R(ver 3.4.3)과 SPSS(ver 20.0)를 사용하였다.

3. 결과

3.1. 연구대상자의 인구학적 특성

연구대상자의 성별, 연령, 가구 수입, 공기청정기 사용 유무에 관한 기술 분석을 Table 1에 나타내었다. 총 참여자는 35명으로 소아 13명, 성인 21명으로 구성되었다. 성별은 남성, 여성으로 구분하였으며, 남성 연구대상자는 14명(40.0%), 여성은 22명(60.0%)이었다. 남성 연구대상자 중 소아는 9명(69.2%), 성인 남성은 5명(22.7%)이었다. 여성 연구대상자 중 소아는 4명(30.8%), 성인은 17명(77.3%)으로 성인이 소아보다 2.5배 높아 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.01).

연령대의 중앙값인 소아 8세, 성인은 60세를 기준으로, 소아는 8세 미만과 8세 이상으로 나누었으며, 소아의

경우, 8세 미만이 2명(15.4%), 8세 이상이 11명(84.6%)으로 나타났고, 성인은 60세 미만 및 60세 이상이 각각 11명(50%)으로 나타났다. 가구수입은 가구소득의 중앙값인 400만원을 기준으로 구분했을 때 400만원 미만의 소득을 가지는 연구대상자는 26명(74.3%), 400만원 미만의 연구대상자는 소아의 경우 9명(62.9%), 성인의 경우 17명(77.3%)으로 나타났다. 또한, 공기청정기는 소아 연령대에서는 사용하지 않는 사람이 5명(38.5%), 성인에서는 사용하지 않는 사람이 14명(63.6%)으로 나타났다.

3.2. 실내 환경 요인 농도와 시간활동패턴 비율 분포 수준

소아 및 성인 천식환자들의 실내에서 측정된 온도, 습도, PM_{2.5}, CO₂ 농도 및 평일과 주말을 포함한 3주간의 일일 활동 패턴 비율 중 실내에 머무르는 비율의 분포를 Table 2에 나타냈다. 실내 온-습도 수준은 소아와 성인 천식환자 사이에 차이가 없는 것으로 나타났다(p>0.01). PM_{2.5} 중앙값(사분위수) 농도 수준은 소아 가정에서 22.3(13.1~42.4) µg/m³, 성인 가정에서 30.3(16.8~45.0) µg/m³으로 성인 가정에서 통계적으로 더 높은 농도 수준을 보였다(p=0.0023). CO₂ 수준 또한 소아환자의 가정이 성인환자 가정보다 높은 것으로 나타났으며(P<0.01), 실내에 머무는 시간의 비율은 소아환자들은 66.7(54.2~75.0)%, 성인 환자는 83.3(66.7~100.0)%

Table 1. Summary of characteristics of study population

	Overall (n=35)	Child (n=13)	Adult (n=22)	p-value *
	N (%)	N (%)	N (%)	
Gender				
Male	14 (40.0)	9 (69.2)	5 (22.7)	0.007
Female	21 (60.0)	4 (30.8)	17 (77.3)	
Age (years)				
< 8	2 (5.7)	2 (15.4)	NA	<0.001
≥ 8	11 (31.4)	11 (84.6)	NA	
< 60	11 (31.4)	NA	11 (50.0)	
≥ 60	11 (31.4)	NA	11 (50.0)	
Household income (ten thousand won)				
< 400	26 (74.3)	9 (69.2)	17 (77.3)	0.599
≥ 400	9 (25.7)	4 (30.8)	5 (22.7)	
Use of air cleaner (Yes/No)				
No	19 (54.3)	5 (38.5)	14 (63.6)	0.149
Yes	16 (45.7)	8 (61.5)	8 (36.4)	

* p-value from Chi-square test

으로 소아보다는 성인 환자들이 실내에 더 많이 머무는 것으로 나타났다(P<0.01).

3.3. 주중, 주말 굽기 활동 분율과 PM_{2.5} 농도 분포 비교

굽기 활동 분율에 따른 PM_{2.5}의 농도 수준 변화를 알아보기 위해 16시에서 20시까지 연령구분 없이 전체 천식 환자 35가정에서 측정된 굽기 조리 활동 분율과

PM_{2.5} 농도 차이를 주중과 주말로 나누어 비교한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 각 가정의 16시부터 20시까지 굽기 조리 활동 분율의 중앙값(사분위수) 수준을 비교한 결과, 주중에는 17시에 가장 굽기조리를 많이 하는 것으로 나타났다. PM_{2.5}의 중앙값(사분위수) 농도 결과는 주중에 가장 굽기 조리를 많이 하는 것으로 기록된 17시에는

Table 2. Distribution of daily indoor temperature, relative humidity, PM_{2.5}, or CO₂, levels (Median (Interquartile range)) and proportion (%) of daily time spent at home (indoor) over three weeks among child and adult asthmatics

	Overall (n=35)	Children (n=13)	Adult (n=22)	p-value *
# of Observation (days)	634	218	416	-
Temperature (°C)	21.7 (20.4~22.9)	21.9 (19.9~23.4)	21.6 (20.5~22.5)	0.0751
Relative Humidity (%)	35.0 (30.0~42.0)	36.0 (31.0~44.4)	35.0 (29.0~40.5)	0.0533
PM _{2.5} (µg/m ³)	27.0 (15.1~44.0)	22.3 (13.1~42.4)	30.3 (16.8~45.0)	0.0023
CO ₂ (ppm)	1039.4 (815.6~1382.3)	1126.0 (893.8~1566.5)	1002.5 (777.9~1305.8)	<0.001
Daily indoor activity (%)	79.2 (62.5~95.8)	66.7 (54.2~75.0)	83.3 (66.7~100.0)	<0.001

* p-value from Mann-Whitney test

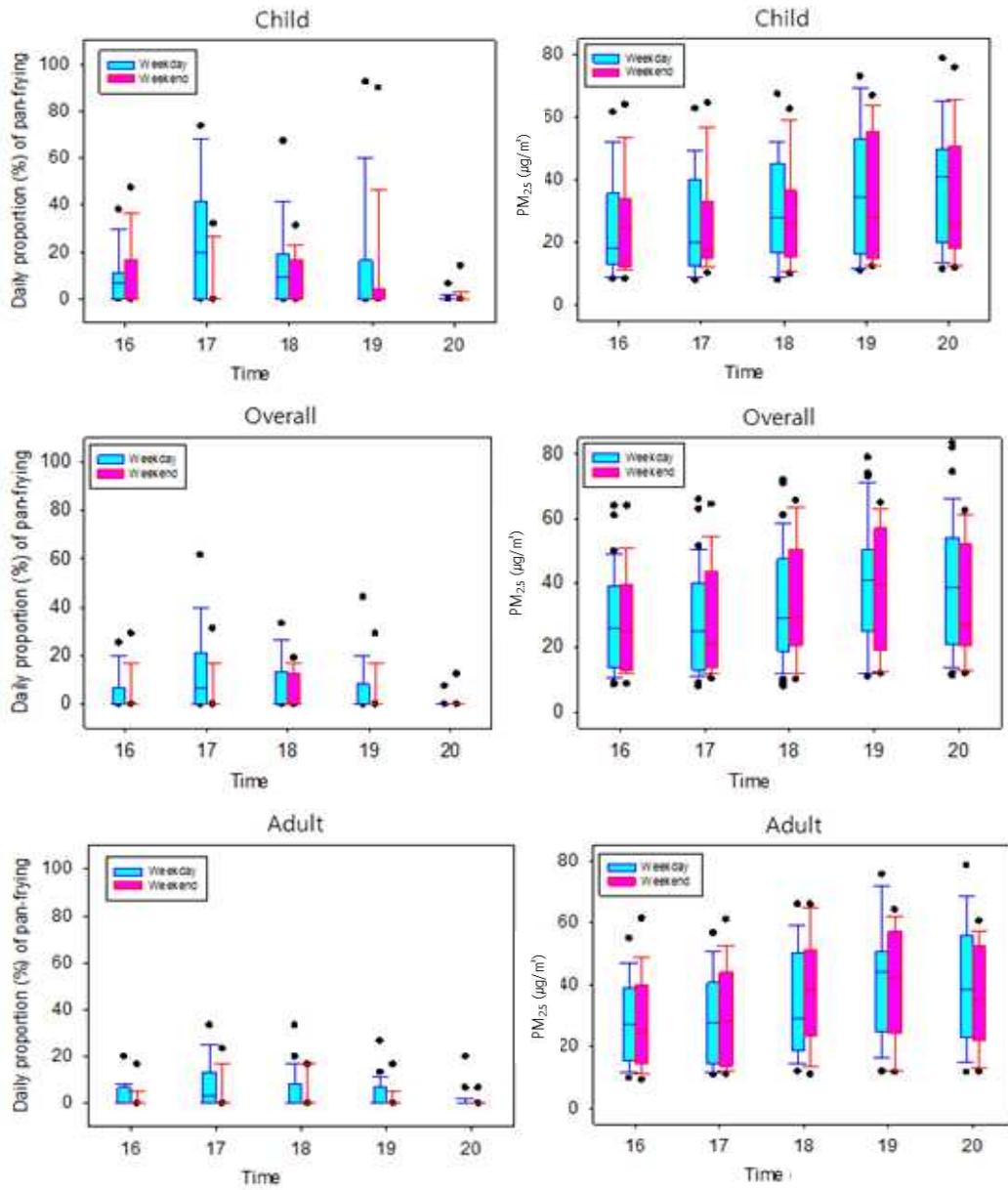


Fig. 2. Hourly proportion of indoor pan-frying cooking activity and indoor PM_{2.5} concentrations measured at asthmatics' home.

Table 3. Distribution (median(IQR)) of levels of indoor temperature, humidity, PM_{2.5}, and CO₂ and percentages of pan-frying activity patterns over three weeks among child and adult asthmatics.

	Overall (n=35)			Children (n=13)			Adult (n=22)		
	Pan-frying:		p-value	Pan-frying:		p-value	Pan-frying:		p-value
	Yes	No		Yes	No		Yes	No	
# of Observation @ 17 O'clock	75	603		47	192		28	411	
Temperature (°C)	21.7 (20.1~22.6)	21.4 (20.2~22.6)	0.869	21.8 (20.5~22.7)	21.2 (19.6~23.1)	0.425	21.4 (19.8~22.6)	21.5 (20.4~22.5)	0.427
Relative Humidity (%)	36.5 (30.0~45.0)	35.0 (29.5~41.0)	0.049	36.0 (29.0~45.0)	36.0 (30.0~44.0)	0.780	39.5 (32.0~47.5)	34.0 (29.0~40.0)	0.007
PM _{2.5} (µg/m ³)	26.8 (12.6~42.0)	25.0 (13.0~45.0)	0.966	23.0 (12.0~41.0)	24.0 (13.0~43.0)	0.247	39.0 (25.5~53.0)	26.0 (13.0~46.0)	0.029
CO ₂ (ppm)	1016.5 (754.4~1358.9)	886.0 (684.0~1189.0)	0.015	937.0 (690.0~1343.5)	935.5 (715.8~1147.5)	0.615	1056.5 (806.3~1366.3)	872.0 (666.3~1201.3)	0.009

p-value from Mann-Whitney test

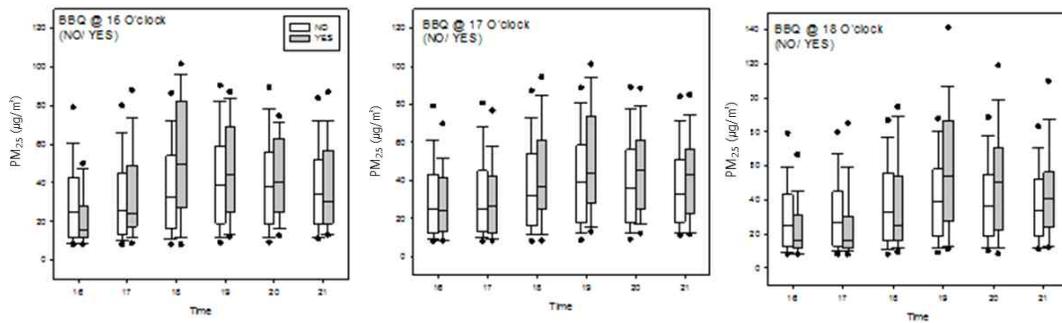


Fig. 3. Distribution of hourly concentration of PM_{2.5} over time according to the difference (yes/no) of cooking activities at each time (from 16 to 21 pm).

25.0(13.0~40.6) µg/m³로 나타났으나, 19시에 41.0 (24.5~50.8) µg/m³로 가장 높은 농도를 보였다(Fig. 2).

3.4. 굽기조리 활동 유무에 따른 실내 온도, 습도, PM_{2.5} 및 CO₂ 농도 분포 비교

소아와 성인 천식 가정에서 모두 굽기 조리 활동이 많이 이루어지는 시간으로 나타난 17시에 굽기 조리활동의 유무에 따른 실내 온도, 습도, PM_{2.5} 및 CO₂ 수준의 분포를 비교하여 Table 3에 나타내었다. 성인 천식 환자 가정에서 17시에 굽기 조리를 했을 때의 습도, PM_{2.5}, CO₂ 수준은 소아 가정에서 측정된 농도 결과와 비교했을 때

다 모두 높은 수준을 보였다. 이는 두 그룹간 공기정정기 사용 비율의 차이에 근거하여 볼 때, 성인환자 가정에서 보다 소아 천식환자 가정에서 굽기조리 활동 중 실내공기질을 개선하기 위한 활동이 더 많았을 것으로 추정되나, 추가 연구가 필요한 부분이다.

3.5. 각 시간별 조리 활동 유무에 따른 PM_{2.5} 농도 분포

앞서 3.4에서 평가한 내용을 확대하여, 16, 17, 18시에 굽기 조리 활동 유무에 따른 시간대별(16~21시) PM_{2.5}농도의 분포를 Fig. 3에 나타냈다. 본 연구의 1분 측정 자료에 의하면, 굽기가 시작되면 즉시 PM_{2.5}의 농도

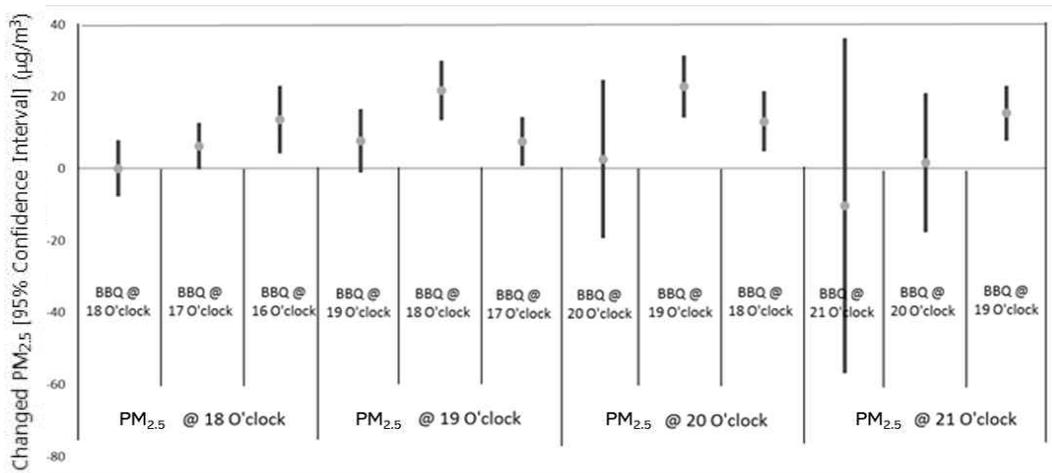


Fig. 4. Associations of change of hourly PM_{2.5} concentrations with cooking activity (yes versus no), after adjusting for levels of indoor temperature, relative humidity, and CO₂, age, use of air cleaner.

가 증가하는 것으로 관측되었으나, 1시간 간격으로 조사된 시간활동패턴 기록과 비교하기 위해, 시간별 측정값의 연관성을 평가한 결과, 16시, 17시에 굽기 조리를 했다고 응답한 환자가 가정에서는 각각 17, 18시 또는 18, 19시 증가된 PM_{2.5} 농도를 보이다가 이후 감소하는 경향이 관측되었다. 18시에 굽기 조리를 했다고 응답한 가정은 19시간까지 증가된 PM_{2.5} 농도 패턴이 나타났고, 이후에는 감소하는 경향을 보였다.

3.6. 시간별 PM_{2.5} 농도 변화와 굽기조리 활동 유무의 연관성

다변량 회귀분석법을 이용하여, 각 시간대별 실내 온도, 습도 및 이산화탄소 농도 수준을 보정한 후, 시간별 PM_{2.5} 중앙값 농도와 굽기 요리 유무의 연관성을 평가하여 Fig. 4에 나타내었다. 각 시간대에 측정된 PM_{2.5}의 농도 분포는 온도, 습도의 영향을 고려하더라도, 1, 2시간 전의 굽기 요리 활동에 의해서 지속적으로 영향을 받는 것으로 나타났고, 특히 18, 19, 20시의 굽기 요리가 있을 때, 약 10-20 µg/m³의 농도 상승이 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 통해, 연구에 참가한 환자가 가정의 실내에서는 굽기 활동 후 최대 약 2시간 정도의 시간까지 PM_{2.5} 농도의 상승 현상이 있었던 것으로 추정되었다.

4. 고 찰

과거 연구들에서, 대부분의 사람들이 지내는 실내에서 굽기 활동 시 높은 PM_{2.5} 농도 수준에 노출될 수 있다는 것은 설명되고 있지만(Lee et al., 2017), 굽기 활동에 따른 실내 PM_{2.5} 농도 변화에 관한 정량적 평가는 많지 않았다. 본 연구에서는 민감집단인 천식 환자의 가정에서 PM_{2.5}의 농도 수준을 평가하였고, 시간별 활동 패턴 중 특히 굽기 활동과 PM_{2.5} 농도 분포의 연관성을 평가하였다. 특히, 이 연구는 소아 및 성인 천식 환자의 가정에서 굽기 조리를 했을 때의 굽기 활동과 PM_{2.5} 농도 사이의 연관성에 대한 정량적 정보를 얻을 수 있다는 점에 의의가 있다.

본 연구에 참가한 소아 천식환자 가정의 PM_{2.5} 농도 분포는 22.3 (13.1~42.4) µg/m³, 성인 가정에서는 30.3 (16.8~45.0) µg/m³으로 성인 가정에서 통계적으로 더 높은 농도 수준을 보였다(p<0.01). 이러한 결과는 소아 환자가 가정 중에는 61.5%가, 성인 가정 중에서는 36.4%가 공기청정기를 사용하는 것과 연관이 있을 것으로 추정되나, 추후 연구를 통해 확인할 필요가 있다. 실내 주방에서 굽기 요리 활동이 PM_{2.5}의 농도에 상당한 영향을 미치는 것은 널리 알려져 있지만, 실내에서 환기를 더 많이 할수록 PM_{2.5} 농도가 감소하는 사실 또한 알려져 있으며, 환기

조건 및 주택 유형 등에 의한 다양한 혼란 요인을 확인, 보정하여 향후 추가 연구가 필요하다 여겨진다. 또한, 시간 활동 패턴이 연령별로 차이가 확연하게 보이는 것으로 나타났기 때문에 추후 더 많은 수의 참여자를 대상으로 각 연령별 집단에 대한 연구가 더 진행되어야 한다고 여겨지며, 더 나아가 오랜 기간동안 연구를 실시하여 계절 간의 시간활동 패턴 차이와 실내 환경요인과의 분포 차이에 대해 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 천식 환자들을 대상으로 3주 동안 지속적으로 측정하고, 그에 따른 소아와 성인 가정에서 굽기 조리 활동을 했을 때의 실질적인 데이터를 확보하여 굽기 활동과 $PM_{2.5}$ 농도 사이의 연관성에 대한 정량적 정보를 얻을 수 있었다. 특히, 실내 굽기 조리 활동의 존재가 $PM_{2.5}$ 농도의 분포에 영향을 미치며, 시간당 $PM_{2.5}$ 농도의 분포 패턴이 다를 가능성이 있음을 발견했다. 또한, 굽기 활동 후 최대 약 2시간 정도의 시간까지 $PM_{2.5}$ 농도에 영향을 받는 것을 볼 수 있었는데, 천식 환자들은 $PM_{2.5}$ 에 더욱 민감할 수 있는 계층이므로, 실내 $PM_{2.5}$ 농도 수준이 낮아질 수 있도록 관리가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 생활공감 환경보건기술 개발사업(2016001360002)의 연구비를 지원받아 수행되었다.

REFERENCES

- Abt, E., Suh, H., Allen, G., Koutrakis, P., 2000, Characterization of indoor particle sources: A study conducted in the metropolitan Boston area, *Environmental Health Perspectives*, 108, 35-44.
- Donaldson, K., Gilmour, M. L., MacNee, W., 2000, Asthma and PM_{10} , *Respiratory Research*, 1, 12-15.
- Eder, W., Ege, M. J., von Mutius, E., 2006, The asthma epidemic, *New England Journal of Medicine*, 355(21), 2226-2235.
- Hansbro, N. G., Horvat, J. C., Wark, P. A., Hansbro, P. M., 2008, Understanding the mechanism of viral induced asthma: New therapeutics directions, *Pharmacology and Therapeutics*, 117, 313-353.
- Jang, A., 2015, Particulate Matter and Bronchial Asthma, *Korean Journal of Medicine*, 88, 150-155.
- Kim, S. H., Yang, H. J., Jang, A. S., Kim, S. H., Song, W. J., Kim, T. B., Ye, Y. M., Yoo, Y., Yu, J., Yoon, J. S., Jee, H. M., Suh, D. I., Kim, C. W., 2015, Effects of particulate matter in ambient air on the development and control of asthma, *Allergy, Asthma and Respiratory Disease*, 3, 313-319.
- Kleeman, M., Schauer, J., Cass, G., 1999, Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling and cigarettes, *Environmental Science and Technology*, 33, 3516-3523.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., Engelmann, W. H., 2001, The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11, 231-252.
- Ko, F. W., Tam, W., Wong, T. W., Lai, C. K., Wong, G. W., Leung, T. F., Ng, S. S., Hui, D. S., 2007, Effects of air pollution on asthma hospitalization rates in different age groups in Hong Kong, *Clinical and Experimental Allergy*, 37, 1312-1319.
- Lee, S., Yu, S., Kim, S., 2017, Evaluation of Potential Average Daily Doses (ADDs) of $PM_{2.5}$ for Home-makers Conducting Pan-Frying Inside Ordinary Homes under Four Ventilation, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, doi:10.3390/ijerph14010078.
- Lepeule, J., Laden, F., Dockery, D., Schwartz, J., 2012, Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009, *Environmental Health Perspectives*, 120, 965-970.
- Park, M. J., Luo, S., Kwon, J. M., Stock, T. H., Delclos, G., Kim, H., Hong, Y. C., 2013, Effects of air pollution on asthma hospitalization rates in different age groups in metropolitan cities of Korea, *Air Quality, Atmosphere, and Health*, 6, doi: 10.1007/s11869-013-0195-x.
- Peng, R. D., Chang, H. H., Bell, M. L., McDermott, A.,

- Zeger, S. L., Samet, J. M., Dominici, F., 2008, Coarse particulate matter air pollution and hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases among Medicare patients, *Journal of the American Medical Association*, 299, 2172-2179.
- Pope, C. A., Dockery, D. W., 2006, Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56, 709-742.
- Schindler, C., Kunzli, N., Bongard, J. P., Leuenberger, P., Karrer, W., Rapp, R., Monn, C., Ackermann-liebrich, U., 2001, Short-term variation in air pollution and in average lung function among never-smokers. The Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA), *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 163, 356-361.
- Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S. W., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J., Preuss, P. W., 2013, The changing paradigm of air pollution monitoring, *Environmental Science and Technology*, 47, 11369-11377.
- Wan, M. P., Wu, C. L., Sze, T. G. N., Chan, T. C., Chao, C. Y. H., 2011, Ultrafine particles, and PM_{2.5} generated from cooking in homes, *Atmos. Environ.*, 45, 6141-6148.
- WHO, 2013 Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP Project, Copenhagen, Denmark.
- Williams, R., Kilaru, V., Snyder, E., Kaufman, A., Dye, T., Rutter, A., Russell, A., Hafner, H., 2014, *Air Sensor Guidebook*, Report 14, EPA publication No. 600-159, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
-
- Researcher. Su-Jung Park
Department of Environmental of Health Sciences,
Soonchunhyang University
psj57732398@gmail.com
 - Doctor & Professor. Choon-Sik Park
Department of Internal Medicine, Soonchunhyang Bucheon Hospital
mdcspark@hanmail.net
 - Doctor & Professor. Dae-Hyun Lim
Department of Pediatrics and Environmental Health Center for Allergic Diseases, Inha University hospital
dhnlim@naver.com
 - Researcher. Sang-Woon Lee
Department of Environmental of Health Sciences,
Soonchunhyang University
andrea0903@naver.com
 - Undergraduate research assisstant. So-young Jang
Department of Environmental of Health Sciences,
Soonchunhyang University
soyoung22914@naver.com
 - Researcher. Sol Yu
Department of Environmental of Health Sciences,
Soonchunhyang University
sol0914@korea.kr
 - Professor. Sung-Roul Kim
Department of Environmental of Health Sciences,
Soonchunhyang University
sungroul.kim@gmail.com