

소형 직화식 커피 로스터 이용 시 발생하는 미세먼지 특성 연구

유다은 · 김승원*

계명대학교 공중보건학전공

Characteristics of Particulate Matter Generated during the Operation of a Small Directly Fired Coffee Roaster

Da Eun Yu · Seung Won Kim*

Department of Public Health, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to evaluate the concentrations of particulate matter generated during coffee roasting and to study various factors affecting the concentrations.

Methods: Differences in concentration levels were investigated based on various factors to understand the emission rates of particulate matter over time and to compare the mass and number concentrations according to their size. Sampling was performed in closed laboratories without the operation of air conditioning or ventilation. Optical Particle Sizer(OPS) was used as a measuring device. An OPS measures using a light-scattering method. Sampling was performed for sixty minutes at one-minute intervals. The background concentration was measured for about 30 minutes before starting of coffee roasting. The concentrations of particulate matter generated during coffee roasting were monitored until roasted coffee beans were removed from the roaster and cooled down. Several factors affecting the concentrations of particulate matter were investigated, which includes the origins of green beans, the roasting level, and the input amount of green beans.

Results: The results of this study may be summarized as follows: 1) There was no difference in particulate matter concentration levels by the origin of the green beans, but a statistically significant difference in concentration levels by roasting level and the input amount of green beans; The higher the roasting level, the higher was the particulate matter concentration. The more green beans we put in the roaster, the higher were the concentrations; 2) The PM₁₀ mass concentrations increased over time. The average concentration after roasting was higher than the average concentration during roasting; 3) In the distribution of mass and number concentration by particle diameter, the majority of particles was below 2.5 μm .

Conclusions: Persons who work in roastery cafes can be exposed to high concentrations of particulate matter. Therefore, personal exposure and risk assessment should be conducted for roastery cafe workers.

Key words: coffee beans, coffee roasting, particulate matter, roasting level

I. 서 론

커피는 독특한 맛과 향으로 오랫동안 음용해온 기호 음료 식품으로 2017/18년 기준 전 세계의 연간 커피 소비량은 약 1조 잔으로 나타났다(Kim et al., 2013; ICO, 2019). 우리나라에서도 국민 소득 및 여가시간

증가로 커피를 접할 기회가 점차 증가하고 있으며(Jin & Ryu, 2012), 우리나라 20세 이상 성인 1인당 연간 커피 소비량은 2012년 288잔에서 2016년 377잔으로 5년간 연평균 7.0%가량 증가하였다(Korea Customs Service, 2017). 커피를 즐기는 사람들이 증가하면서 커피 문화가 대중화되었고, 이로 인해 프랜차이즈 커피

*Corresponding author: Seung Won Kim, Tel: +82-53-580-5197, E-mail: swkim@kmu.ac.kr
1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Republic of Korea
Received: June 5, 2020, Revised: June 16, 2020, Accepted: June 24, 2020

Da Eun Yu <https://orcid.org/>

Seung Won Kim <https://orcid.org/0000-0003-2960-5866>

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.

전문점이 활성화 되었다(Food Information Statistics System, 2016). 최근에는 자신의 입맛에 맞는 커피를 찾는 소비자들이 늘어나면서 직접 생두를 로스팅하여 신선한 커피를 제공하는 로스터리 커피 전문점 또한 증가하고 있는 추세이다(Lee, 2012).

커피는 배합, 로스팅, 분쇄, 추출과정을 통해 얻어지며, 그중 로스팅 단계는 생두에 열을 가하여 생두 조직을 최대한 팽창시킴으로써 생두가 지니고 있는 고유의 맛과 향을 표현해내는 것이다(Jeon, 2001; Nam et al., 2009). 커피 제조과정 중 클리닝, 이물질 제거, 로스팅, 냉각, 인스턴트 커피 건조 작업은 입자상 물질, 휘발성유기화합물, 유기산 및 연소 생성물과 같은 유해물질의 발생원이다. 그중 커피 로스팅은 일반적으로 천연 가스를 이용하여 연소하기 때문에 일산화탄소 및 이산화탄소 배출 또한 예상된다(EPA, 1995). 로스팅이 진행될 때 카라멜화 및 메일라드 반응 등 생두에 여러 화학반응이 일어나며, 이 과정을 통해 생두의 수분이 기화되고 탄산가스가 발생되며 약 800여 가지 이상의 화학물질들이 생성되기도 한다(Baik & Ko, 1996; Kim & Kim, 2017). 배치식 커피 로스터에서 배출되는 대기오염물질을 실시간으로 측정된 결과 포름알데히드 2,000 ppm, 아세트알데히드 120 ppm, 아크롤레인 10 ppm, 일산화탄소 5,207 ppm, 질소산화물 35 ppm으로 나타났다(Lim et al., 2017).

로스팅 공정에서 발생하는 화학물질로 인해 로스팅 작업자에게서 폐질환이 발생하기도 한다. 미국 텍사스의 로스팅 공정 등 커피 가공분야에서 작업하는 노동자에게 폐쇄성폐기관지염이라고 불리는 희귀하고 심각한 호흡기 질환이 발생했다는 보고가 있으며, 이 노동자는 디아세틸이라고 불리는 화학물질에 노출된 것으로 확인되었다(Aguilar et al., 2016).

2013년 국제암연구소(International Agency Research on Cancer, IARC)는 실외 미세먼지(outdoor air pollution)를 1급 발암물질로 규정하였다(IARC, 2013). 10 μm 이하의 입경을 가진 입자는 기관지와 폐포 영역에 침착되어 건강상 문제를 일으킬 수 있으며(EPA, 2008), 특히 입경이 매우 작은 입자의 경우에는 먼지의 응결성질로 인해 호흡기관뿐만 아니라 심근경색과 같은 심혈관계 질환에도 영향을 미친다(Brook et al., 2010).

미세먼지의 발생원은 자연적 발생원과 인위적 발생원으로 나뉜다. 자연적 발생원은 흙먼지, 바닷물에서 생기는 소금, 식물의 꽃가루 등이 있으며, 인위적 발생원은

화석연료 연소 시 발생하는 매연, 자동차 배기가스, 분진 발생 공정, 폐기물 소각 등이 있다(Jo et al., 2018). 실내 미세먼지의 농도에 영향을 주는 요소에는 흡연, 청소, 조리 등이 있으며, 그중 조리활동은 비흡연자 가정 내에 미세먼지 발생원의 큰 부분을 차지한다(Dennekamp et al., 2001; Hussein et al., 2006; Balasubramanian & Lee, 2007; Wallace et al., 2008; Wan et al., 2011; Massey et al., 2012). 특히, 요리과정 동안 음식 및 조리용 기름 가열에 의해 많은 입자상 물질이 발생하며, 이 때 발생한 입자의 크기는 매우 미세하다(Dennekamp et al., 2001). 직화구이 음식점에서 고기 연소 시 발생하는 먼지의 배출특성을 확인한 결과 2.0-2.5 μm 입경범위에서 가장 높은 질량농도를 보였다(Lee et al., 2009). 또한, 조리과정에서 발생한 먼지의 peak 입경을 분석한 결과, 음식을 조리할 때 발생하는 먼지의 입경 분포가 대부분 1 μm 보다 작은 크기의 입자임을 확인하였다(Kim et al., 2017). UFP(ultrafine particle, UFP)는 공기역학적 직경이 100 nm 이하의 미세한 입자이며, 이는 조대입자보다 더욱 심각한 악영향을 미친다고 알려져 있으며, 가정에서의 UFP 발생원인 또한 실내 조리 활동과 연관 있다(WHO, 2000; Wheeler et al., 2010; Kearney et al., 2011; Wallace & Ott, 2011).

미세한 입자가 인체에 해로운 영향을 미치는 것이 알려지면서, 음식 조리 시 발생하는 입자상물질에 대한 다양한 연구가 시행되었다(Fluckiger et al., 2000; Lee et al., 2009; Wan et al., 2011; Lee et al., 2016; Kim et al., 2017; Lee et al., 2017). 하지만 커피 로스팅 과정에서 발생하는 미세한 입자의 발생 농도 및 입경 분포 특성에 관한 연구는 실시된 바가 없다. 그러므로 본 연구에서는 로스팅 시 발생하는 미세먼지 발생 수준과 특성에 영향을 미칠 수 있는 관련 요인을 조사하여, 요인에 따른 농도 차이 확인 및 배출 특성을 파악하고자 하며, 이를 통해 향후 작업자를 대상으로 하는 노출평가 시 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험기기

로스팅에 사용한 기기는 스테인리스 스틸 재질의 직화식 타공 드럼이 내장되어 있는 가정용 전동식 커피 로스터이다. 로스터 전방에 바이메탈 타입의 밀폐형 온

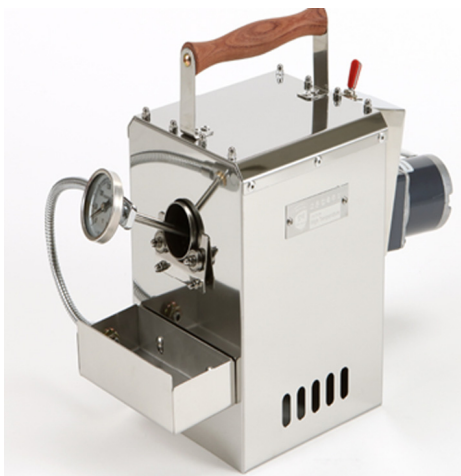


Figure 1. Coffee roaster used in experiment.

도계를 부착하여 생두의 투입 온도를 측정하였다. 작동 방식은 로스터 후방에 모터와 드럼이 연결되어 있어 전원 공급 시 자동으로 기기가 작동된다. 기기의 열원은 가스버너를 이용하였다. 로스터기의 크기는 160 mm(W) × 200 mm(D) × 300 mm(H)이며, 중량은 4.1 kg이다. 기기의 적정 투입 용량은 200 g이며, 최대 투입용량은 250 g이다. Figure 1은 실험에 사용한 로스터기이다.

2. 커피 로스팅 방법

본 실험에서 진행한 로스팅 방법은 약불로 7~9분 정도 예열을 해준 후, 투입 온도가 200℃ 도달 시 호퍼를 이용하여 생두를 투입하였다. 화력조절 방법은 초반에 약불로 가열하다가 중점 이후부터 로스팅 종료 시까지 중불로 가열하였으며, 로스팅은 평균 10분 가량 소요되었다.

3. 측정방법

1) 시료 채취 방법

본 연구는 일정한 온습도 조건을 유지하기 위해서 밀폐된 실험실에서 실시하였고, 측정 시작 시 에어컨 및 환풍기를 작동시키지 않았다. 연기 발생 시 사방으로 확산되는 것을 막기 위해 앞면을 제외한 다른 면은 박스를 이용하여 차단하였다. 미세먼지 노출보다는 발생원의 특성을 파악하기 위한 세팅이었다.

2) 시료 측정 기기

실내 공기 질 및 작업 환경 모니터링이 가능한 OPS(Optical Particle Sizer, model 3330, TSI Inc.,

USA)를 이용하여 실시간으로 농도를 측정하였다. OPS는 1.0 L/min의 유량으로 유입된 공기가 내부 HEPA 필터를 통과한 1.0 L/min의 외각 유동과 함께 먼지의 산란광을 광 검출기로 측정하는 원리로 120° 산란각에 의한 산란 광도를 측정하여 입경별 개수 농도를 산출한다. 또한, 사용자가 0.3-10 μm 입경 범위의 에어로졸을 16개의 채널로 조정 가능하다는 장점이 있다(Lee, 2019). 기기의 측정 가능한 개수 농도는 0-3,000 #/cm³이며, 측정 가능한 질량농도는 0.001-275,000 μg/m³이다. 본 연구에서는 입경 범위를 0.3-0.5, 0.5-0.7, 0.7-1.0, 1.0-1.5, 1.5-2.0, 2.0-2.5, 2.5-3.0, 3.0-4.0, 4.0-5.0, 5.0-6.0, 6.0-8.0, 8.0-10.0 μm(12 channels)으로 설정하였다. 예비실험에서 중량법과 OPS의 측정결과를 비교하여 1.09의 보정계수를 얻었고, 이를 OPS 측정결과에 적용하여 PM10 농도를 추정하였다.

측정 위치는 로스터 바로 옆에서 채취하였으며, 커피 로스팅 작업자의 호흡기 부근에서 채취하기 위해 기기 주입구에 전도성 튜브를 연결하여 높이를 조절하였다. 측정시간은 1분 간격으로 60분 동안 측정하였다. 측정 시작부터 20분간 로스팅 실행 전 미세먼지의 배경농도를 측정하였고, 그 후 약 7~9분간 로스팅 전 예열 시 농도를 측정하였으며, 나머지 시간 동안 로스팅 시 발생하는 미세먼지 농도를 측정하였다. 실제 로스팅 시 발생하는 미세먼지 농도를 측정하기 위해서 측정 시작부터 종료까지의 평균농도에서 예열을 포함한 배경농도를 빼주어 보정하였다. 측정 결과는 OPS의 전용 소프트웨어에서 데이터를 받아 엑셀 시트로 데이터를 변환 후 분석하였다.

4. 관련 요인 조사

조리 시 미세먼지 농도에 영향을 미칠 수 있는 요인에는 조리방법(튀기기, 굽기 등), 재료의 종류, 재료의 양, 조리온도, 음식의 태움 여부 등이 있다(Kwon & Lee, 2016; Lee, 2016; Lee et al., 2017). 본 실험에서는 로스팅 시 발생하는 미세먼지 농도에 영향을 미칠 수 있는 조건으로 생두의 원산지, 로스팅 레벨, 생두의 투입량을 조사하였다.

1) 측정 대상 조건

Table 1은 측정 대상의 조건을 나타낸 것이다.

총 측정 대상 개수는 58개였으며, 각 요인별로 측정

Table 1. Experimental conditions and individual settings

Variable	Origin	Level	Input(g) Mean(SD)	Temperature (°C)	N
Origin	Brazil	Full city	200.2(0.21)	200	5
	Columbia	Full city	200.6(0.34)	200	5
	Peru	Full city	200.2(0.08)	200	5
	Ethiopia	Full city	200.3(0.23)	200	5
	Honduras	Full city	200.1(0.05)	200	5
Level	Columbia	Cinnamon	200.2(0.09)	200	6
	Columbia	Medium	200.1(0.09)	200	6
	Columbia	City	200.2(0.13)	200	6
	Columbia	Full city	200.2(0.07)	200	6
Input(g)	Columbia	Full city	100.3(0.08)	200	3
	Columbia	Full city	150.1(0.09)	200	3
	Columbia	Full city	200.2(0.09)	200	3
Total					58

횃수는 동일하게 진행하였다. 생두의 원산지별 측정 횃수는 한 세트에 5번씩 총 25번, 로스팅 레벨별 측정 횃수는 한 세트에 6번씩 총 24번, 생두의 투입량별 측정 횃수는 한 세트에 3번씩 총 9번을 실시하였다.

2) 생두의 원산지

생두의 원산지마다 크기, 수분함량, 조밀도 등이 다르며 이에 따라 로스팅 시 발생하는 미세먼지 농도의 차이도 존재할 것이라 가정하였다. 생두의 선정 방법은 우리나라에서 생두(아라비카 품종) 수입량이 가장 많은 국가 1위부터 5위까지를 선택하여 해당 국가에서 재배하는 여러 생두 중 한 가지를 선정하였다(Food Information Statistics System, 2017). 생두의 원산지별 미세먼지 농도의 차이를 확인하기 위해서 생두의 투입량, 투입 온도, 로스팅 레벨은 모든 원산지에서 동일하게 실험하였으며, 그중 농도가 가장 높게 관찰되는 것을 선택하여 다음 실험을 진행하였다.

3) 로스팅 레벨

우리나라에서 주로 사용하는 로스팅 레벨은 8단계로 나눌 수 있다. 1단계에서 8단계로 갈수록 원두의 색상이 진해지며, 높은 온도를 필요로 한다. 이에 따라 로스팅 레벨별 발생하는 미세먼지의 농도의 차이가 존재할 것이라 가정하였다.

본 실험에서 사용한 로스팅 단계는 시나몬 로스트, 미디엄 로스트, 시티 로스트, 풀시티 로스트이며, 각 단

계의 구분은 크랙 소리로 하였다. 크랙(crack)은 생두 세포 내부의 수분이 열에 의해 강한 압력이 되고, 그로 인해 생두 밖으로 세포벽을 깨뜨리며 팍콘이 튀는 듯한 소리가 나는 것을 말한다(Woo & Park, 2014). 일반적으로 크랙 발생 시간과 소리의 크기로 1차 크랙과 2차 크랙으로 구분할 수 있으며 1차 크랙이 2차 크랙보다 먼저 일어나고 소리의 세기도 더 강하다. 시나몬 로스트의 경우 1차 크랙 시작 시 배출하여 냉각시켰으며 미디엄 로스트는 1차 크랙 정점 시 배출하여 냉각시켰다. 시티 로스트의 경우 2차 크랙 시작 시 배출하여 냉각시켰으며 풀시티 로스트는 2차 크랙 정점 시 배출하여 냉각시켰다. 로스팅 레벨별 미세먼지 농도 차이를 확인하기 위해서 투입량과 투입온도는 모든 로스팅 레벨에서 동일하게 진행하였다.

4) 생두 투입량

세 번째 조건은 생두의 투입량으로 투입한 생두의 양에 따라 발생하는 미세먼지 농도의 차이가 존재할 것이라 가정하였다. 투입량은 로스터의 적정 용량(200 g)을 넘지 않도록 100 g, 150 g, 200 g으로 선정하였다. 생두의 투입량별 미세먼지 농도의 차이를 확인하기 위해서 투입 온도와 로스팅 레벨은 모든 투입량에서 동일하게 진행하였다.

5. 자료처리

SPSS 25.0(SPSS Inc., Armonk, NY, USA) 통계 프

로그그램을 이용하였다. 수집된 자료에 대하여 Shapiro-Wilks test를 수행하여 정규성을 검정하였고 모두 정규 분포 하는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 생두의 원산지 간 미세먼지 농도 차이의 존재를 확인하기 위해서 일원 배치 분산분석법(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 로스팅 레벨 및 생두 투입량 간의 경향성을 확인하기 위해 Jonckheere-Terpstra test를 실시하였다. 본 연구의 통계학적인 유의성 검증은 $p < 0.05$ 을 기준으로 수행하였다.

III. 결 과

1. 관련요인 분석 결과

1) 생두의 원산지에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

Table 2는 생두의 원산지 간 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도 차이의 존재를 조사한 결과를 나타낸 것이다. PM₁₀의 평균 농도는 전체 평균 농도에서 배경농도의 평균값을 제외한 후 실질적으로 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도를 산출하였다.

생두의 원산지에 따른 PM₁₀의 농도 수준은 콜롬비아산의 평균 농도가 $1207.0 \pm 352.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 페루산의 평균 농도가 $808.2 \pm 237.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았지만 통계적으로 원산지 간 PM₁₀ 평균 농도의 유의한 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$).

Table 2. Comparison of PM₁₀ concentrations by the origins of green beans

Origin	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		p value
	Mean \pm SD	Range	
Brazil	1,110.7 \pm 348.8	545.1-1,420.9	0.188
Columbia	1,207.0 \pm 352.5	698.1-1,659.9	
Peru	808.2 \pm 237.5	456.0-1,044.6	
Ethiopia	893.6 \pm 284.4	537.8-1,210.9	
Honduras	1,136.7 \pm 212.2	946.1-1,455.8	

2) 로스팅 레벨에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

Table 3은 로스팅 레벨 간 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도 차이의 존재를 조사한 결과를 나타낸 것이다. PM₁₀의 평균 농도는 전체 평균 농도에서 배경농도의 평균값을 제외한 후 실질적으로 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도를 산출하였으며, 실험에 사용한 생두는 생두원산지에 따른 농도 비교에서 가장 높은 농도를 보인

콜롬비아산이다.

로스팅 레벨에 따른 PM₁₀의 농도 수준은 레벨이 가장 높은 풀시티 로스트의 평균 농도가 $988.4 \pm 263.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 레벨이 가장 낮은 시나몬 로스트의 평균 농도가 $242.2 \pm 45.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 통계적으로 레벨 간 크기의 순서가 존재하는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 레벨이 높아질수록 농도가 높아지는 경향성을 보였다($J-T=4.835$).

Table 3. Comparison of PM₁₀ concentrations by roasting level

Level	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		J-T ^{a)}	p value
	Mean \pm SD	Range		
Cinnamon	242.2 \pm 45.7	169.9-304.8	4.835	0.000
Medium	329.8 \pm 71.7	215.4-426.1		
City	483.1 \pm 146.3	264.9-654.3		
Full city	988.4 \pm 263.9	739.5-1391.7		

a) Jonckheere-Terpstra test

3) 생두의 투입량에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

Table 4는 생두 투입량 간 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도 차이의 존재를 조사한 결과를 나타낸 것이다. PM₁₀의 평균 농도는 전체 평균 농도에서 배경농도의 평균값을 제외한 후 실질적으로 로스팅 시 발생하는 PM₁₀ 농도를 산출하였으며, 실험에 사용한 생두는 생두원산지에 따른 농도 비교에서 가장 높은 농도를 보인 콜롬비아산이다.

생두의 투입량에 따른 PM₁₀의 농도 수준은 200 g 투입 시의 평균 농도가 $1064.2 \pm 169.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 100 g 투입 시의 평균 농도가 $482.5 \pm 86.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 통계적으로 투입량 간 크기의 순서가 존재하는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 투입량이 많아질수록 농도가 높아지는 경향성을 보였다($J-T=2.778$).

Table 4. Comparison of PM₁₀ concentrations by input amount of green beans

Input (g)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		J-T*	p value
	Mean \pm SD	Range		
100	482.5 \pm 86.4	393.5-565.9	2.778	0.005
150	735.1 \pm 172.9	581.6-922.4		
200	1,064.2 \pm 169.9	869.3-1180.3		

* Jonckheere-Terpstra test

2. 시간에 따른 요인별 PM₁₀ 질량농도 변화 양상

1) 생두 원산지

Figure 2는 시간의 흐름에 따른 생두의 원산지별 PM₁₀ 질량농도의 변화 양상을 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시(투입-배출)는 시간이 지날수록 농도가 점차 증가하는 경향이 나타났고, 로스팅 종료 후(배출 후-종료)는 배출 후 평균 8분까지 농도가 증가하며, 그 후로 감소하는 형태로 나타났다. 생두별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시는 온두라스산의 농도가 가장 높게 나타났지만 로스팅 종료 후는 콜롬비아산의 농도가 가장 높게 나타났다.

2) 로스팅 레벨

Figure 3는 시간의 흐름에 따른 로스팅 레벨별 PM₁₀ 질량농도의 변화 양상을 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시(투입-배출)는 시간이 지날수록 농도가 점차 증

가하는 경향을 보이며, 로스팅 종료 후(배출 후-종료)는 풀시티 로스트는 8분, 풀시티 로스트를 제외한 나머지 레벨에서는 평균 12분까지 농도가 증가하며, 그 후로는 감소하는 형태로 나타났다. 로스팅 레벨별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시는 시나몬 및 미디엄 로스트에 비해 시티 및 풀시티 로스트의 농도가 높으며 특히, 배출 3분 전부터 배출까지는 풀시티 로스트의 농도가 가장 높게 나타났다. 로스팅 종료 후는 풀시티 로스트의 농도가 다른 레벨에 비해 높게 나타났다.

3) 생두 투입량

Figure 4는 시간의 흐름에 따른 생두 투입량별 PM₁₀ 질량농도의 변화 양상을 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시(투입-배출)는 100 g의 경우 투입 6분 후의 농도가 가장 높고, 나머지 투입량에서는 배출 시 농도가 가장 높게 나타났다. 로스팅 종료 후(배출 후-종료)는

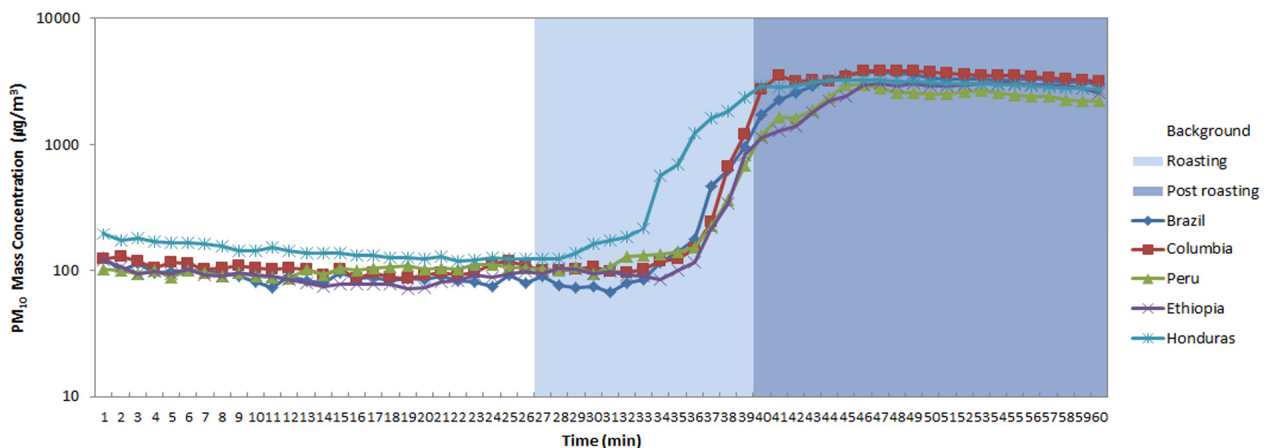


Figure 2. Changes in PM₁₀ mass concentrations over time by the origins of green beans

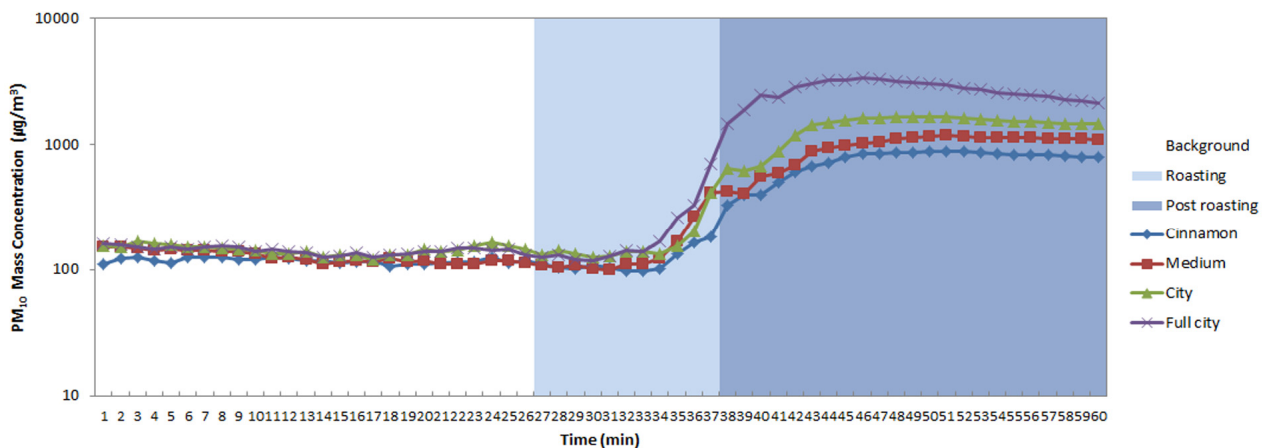


Figure 3. Changes in PM₁₀ mass concentrations over time by roasting level

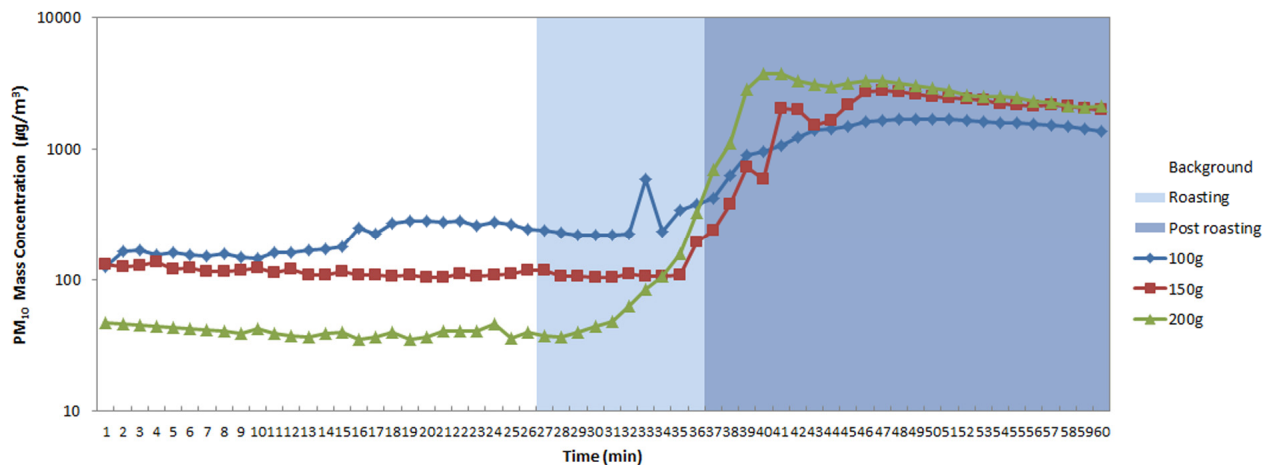


Figure 4. Changes in PM₁₀ mass concentrations over time by the input amount of green bean

200 g의 경우 4분, 200 g을 제외한 나머지 투입량에서는 평균 11분까지 농도가 증가하며, 그 후로는 감소하는 형태로 나타났다. 투입량별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 100 g 투입 시의 농도가 가장 높게 나타났으며, 로스팅 종료 후에는 200 g의 투입 시의 농도가 가장 높게 나타났다.

3. 로스팅 진행 시와 종료 후의 요인별 PM10 질량 농도 비교

1) 생두 원산지

Table 5는 생두 원산지별 PM10 평균 질량농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균 농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 전체 평균 질량농도는 로스팅 종료 후가 2,930.7 µg/m³으로 로스팅 진행 시 256.6 µg/m³보다 약 11배 높았다.

생두 원산지별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 브라질산이 741.0 µg/m³으로 가장 높았으며, 로스팅 종료 후에는 콜롬비아산이 3,365.8 µg/m³으로 가장 높았다.

2) 로스팅 레벨

Table 6은 로스팅 레벨별 PM10 평균 질량농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균 농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 전체 평균 질량농도는 로스팅 종료 후가 1,386.8 µg/m³으로 로스팅 진행 시 65.2 µg/m³보다 약 21배 높았다. 로스팅 레벨별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 시티 로스트가 162.7 µg/m³으로 가장 높았으며, 로스팅 종료 후에는 풀시티 로스트 2,657.7 µg/m³으로 가장 높았다.

Table 5. Comparison of PM₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by origins of green beans

(Unit: µg/m³)

Origin	Roasting(n=25)		After roasting(n=25)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Brazil	741.0±685.1	65.2-1,690.0	3,210.9±973.3	1,780.5-4,481.4
Columbia	82.2±54.8	7.1-150.2	3,365.8±812.1	1,996.8-4,450.1
Peru	107.9±68.7	30.1-212.2	2,475.4±713.5	1,347.3-3,560.1
Ethiopia	245.1±312.7	72.5-869.6	2,806.6±847.1	1,612.4-4,180.0
Honduras	106.8±65.4	41.0-214.8	2,794.8±525.1	2,245.4-3,766.1
Total	256.6±421.6	7.1-1,690.0	2,930.7±850.7	1,347.3-4,481.4

Table 6. Comparison of PM₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by roasting level

(Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Level	Roasting(n=24)		After roasting(n=24)	
	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Range
Cinnamon	15.1 \pm 8.6	4.2–29.5	664.0 \pm 123.0	405.5–763.3
Medium	18.4 \pm 41.4	–57.0–84.3	905.2 \pm 173.5	703.7–1,250.5
City	162.7 \pm 266.7	13.3–757.9	1,320.5 \pm 384.2	688.4–1,736.7
Full city	64.7 \pm 40.1	–8.1–115.9	2,657.7 \pm 615.9	1,907.7–3,765.6
Total	65.2 \pm 148.9	–57.0–757.9	1,386.8 \pm 858.2	405.5–3,765.6

3) 생두 투입량별

Table 7은 생두 투입량별 PM₁₀ 평균 질량농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 전체 평균 질량농도는 로스팅 종료 후가 1,986.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 로스팅 진행 시 126.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 16배 높았다.

생두 원산지별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 150 g 투입한 경우가 193.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 로스팅 종료 후에는 200 g 투입한 경우가 2,736.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다.

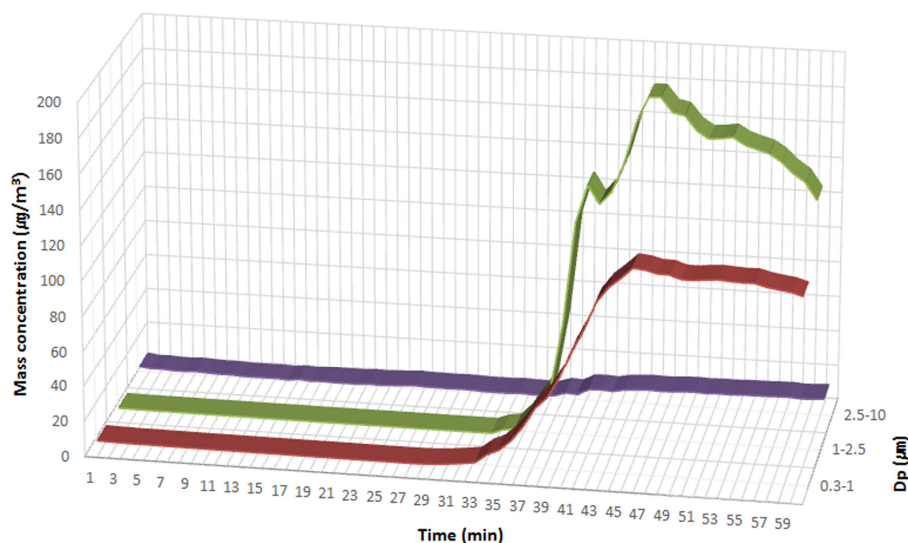
4. 시간에 따른 미세먼지의 입경별 질량농도 변화 양상

1) 생두 원산지에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

Figure 5는 전체 생두 원산지의 시간에 따른 입경별 평균 질량농도 변화양상을 나타낸 것이다. 0.3–1.0 μm

Table 7. Comparison of PM₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by input amount of green beans (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Input (g)	Roasting (n=9)		After roasting (n=9)	
	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Range
100	82.9 \pm 49.5	29.8–148.9	1,196.9 \pm 314.3	831.2–1,598.6
150	193.0 \pm 269.5	–21.2–573.1	2,026.8 \pm 530.7	1,441.8–2,726.5
200	104.5 \pm 52.1	44.5–171.5	2,736.2 \pm 429.7	2,128.8–3,058.1
Total	126.8 \pm 167.9	–21.2–573.1	1,986.7 \pm 764.2	831.2–3,058.1


Figure 5. Changes in average mass concentrations over time by particle size for 200 g of Columbia beans in full city roasting level

입경 범위와 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 시간에 따른 질량농도의 증가 추세를 확인할 수 있다. 특히, 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 시간이 지날수록 급격히 농도가 급격히 증가한 후 감소하는 경향이 나타난다. 반면, 2.5-10 μm 입경범위에서는 시간에 따른 뚜렷한 농도 변화가 나타나지 않았다.

2) 로스팅 레벨에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

Figure 6는 전체 로스팅 레벨의 시간에 따른 입경별 평균 질량농도 변화양상을 나타낸 것이다. 0.3-1.0 μm

입경 범위와 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 시간이 지날수록 급격히 증가한 후 감소하는 추세를 확인할 수 있었다. 반면, 2.5-10 μm 의 입경 범위에서는 시간에 따른 뚜렷한 농도변화가 나타나지 않았다.

3) 생두 투입량에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

Figure 7은 전체 생두 투입량의 시간에 따른 입경별 평균 질량농도 변화양상을 나타낸 것이다. 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 시간이 지날수록 농도가 급격히 높아진 후 약간 감소하는 듯 보였지만, 다시 증가한 후에 측

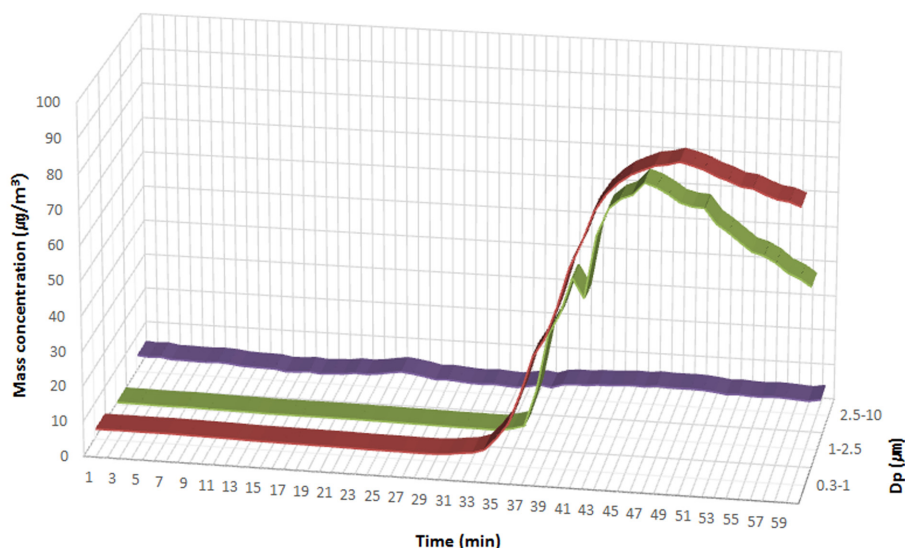


Figure 6. Changes in average mass concentrations over time by particle size for 200 g of Columbia green beans in cinnamon roasting level

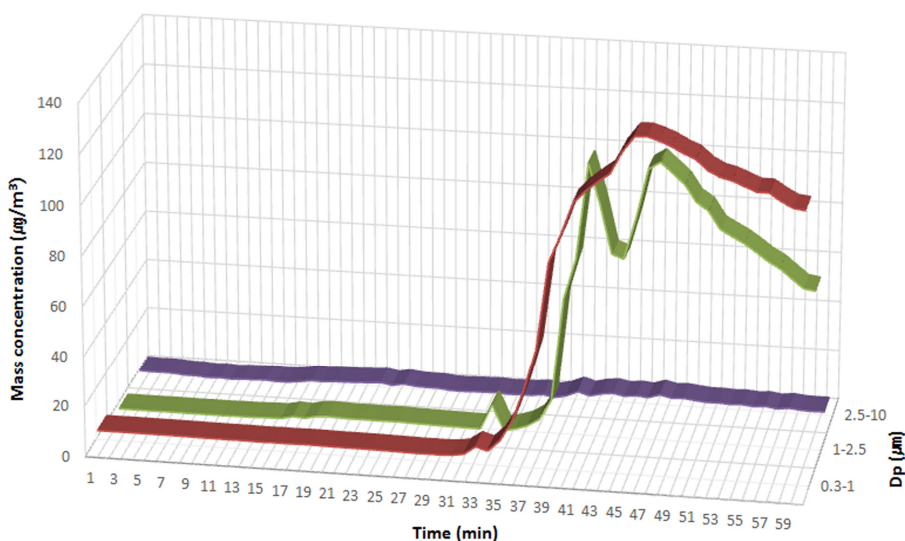


Figure 7. Changes in average mass concentrations over time by particle size for 100 g of Columbia green beans in full city roasting level

정종료 시간에 가까워질수록 더 감소하는 경향이 나타났다. 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 배출 후 농도가 점차 높아지지만 약간 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보인다. 반면, 2.5-10 μm 의 입경 범위에서는 시간에 따른 뚜렷한 농도변화가 나타나지 않았다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 로스팅 시 발생하는 미세먼지의 농도에 영향을 미치는 관련 요인을 조사하여 각 요인에 따른 미세먼지 농도 차이의 존재를 파악하기 위해 실시하였다. 그리고 그 결과를 바탕으로 로스팅 시 발생하는 미세먼지의 배출 특성 및 시간의 흐름에 따른 농도 변화 양상을 확인하였다.

생두의 원산지에 따른 PM10 농도 차이의 존재 여부를 조사한 결과, 평균 농도가 가장 높게 나타났던 콜롬비아산이 가장 낮게 나타났던 페루산에 비해 약 1.5배 높았지만, 원산지 간의 평균 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

로스팅 레벨에 따른 PM10 농도 차이의 존재 여부를 조사한 결과, 로스팅 레벨이 높은 풀시티 로스트의 평균 농도가 로스팅 레벨이 낮은 시나몬 로스트에 비해 약 4배가량 높은 것으로 나타났다. 이에 로스팅 레벨에 따라 농도 차이가 존재하는 것으로 나타났으며, 로스팅 시 가해주는 온도가 높아질수록 PM10 농도도 높아지는 경향을 보였다. Zhang et al.(2010)의 연구에서 치킨 프라이 조리 시 발생하는 PM2.5와 ultra fine particle (UFP)의 평균 농도는 고온에서 조리하는 경우가 중간 온도에서 조리하는 경우보다 각각 약 3.4배, 4.1배 높게 관찰되었고, 이는 본 연구의 결과와 비슷한 경향이였다. 또한, Buonanno et al.(2009)은 50 g의 베이컨을 114℃ 그릴에서 조리하는 경우 82℃에서 조리할 때 보다 입자의 수농도가 약 70% 증가한다고 하였다. 따라서 더 높은 온도에서 로스팅을 시행할 경우 입자상 물질이 비례적으로 증가하여 로스팅 작업자의 노출 위험 또한 커질 수 있다고 생각된다.

투입량에 따른 PM10 농도 차이의 존재 여부를 조사한 결과, 100 g 투입 시 평균 농도보다 200 g 투입 시 평균 농도가 약 2배 높은 것으로 나타났다. 이에 투입량 간의 차이가 존재하는 것으로 나타났으며, 로스팅 시 투입량이 많을수록 PM10 농도도 높아지는 경향을 보였다. 100 g 투입하되 높은 레벨로 로스팅 한 결과와

200 g 투입하되 낮은 레벨로 로스팅한 결과를 비교해보면, 전자의 농도가 후자보다 약 2배 더 높은 것을 확인하였다. 이에 결론을 내리면, 원산지나 투입량에 상관없이 로스팅 레벨이 높은 경우 즉, 고온에서 로스팅 시 발생하는 농도가 높아진다고 할 수 있겠다.

시간에 따른 미세먼지 농도 변화 양상은 시간의 흐름에 따라 PM10 질량농도가 높아지는 것이 확인되었다. 특히, 로스팅 진행 시보다 종료 후의 평균 농도가 더 높았다. 요인별로 비교해보면, 생두의 원산지의 경우 약 11배, 로스팅 레벨의 경우 약 21배, 생두의 투입량의 경우는 15배 가량 로스팅 종료 후의 평균 농도가 로스팅 진행 시 농도보다 높았다. 이는 Lee(2016)의 고등어 구이 및 계란후라이 조리 시 조리종료 후 PM2.5의 질량농도가 급격하게 증가한 연구결과와 같은 경향을 보였으며, Zhang et al.(2010)에서 치킨 프라이 조리 시 발생하는 PM2.5의 질량농도가 조리 종료 후 15분 동안 계속해서 증가하는 것을 관찰한 연구결과와도 비슷한 경향이였다. 그 이유는 원두를 배출할 때 많은 양의 생두가 한꺼번에 배출되어 공기 중으로 확산되며, 조리 종료 후에도 상당 기간 실내공간에서 부유하기 때문으로 추정할 수 있다.

입경별 질량농도 또한 시간의 흐름에 따라 증가하는 경향이 나타났으며, 모든 입경 범위에서 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 평균 질량농도가 높게 나타났다. 특히, 2.5 μm 이하의 입경에서 PM10 질량농도의 대부분을 차지하였다. 요인별로 비교해보면, 생두 원산지의 경우 0.3-2.5 μm 입경 범위에서의 질량농도가 PM10의 약 98%를 차지하였고, 로스팅 레벨의 경우 0.3-2.5 μm 입경 범위에서의 질량농도가 PM10의 약 99%를 차지하였다. 또한, 생두 투입량의 경우에서도 0.3-2.5 μm 입경 범위에서의 질량농도가 PM10의 약 99%를 차지하였다.

입경별 수농도의 분포는 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 입경이 커질수록 수농도 값이 급격히 감소하였고, 로스팅 종료 후의 수농도가 로스팅 진행 시보다 모든 입경에서 높았다. 요인별로 입경을 나누어 비교해보면, 생두 원산지의 경우 0.3-1.0 μm 입경 범위는 PM10 수농도의 약 91%, 1.0-2.5 μm 입경범위는 PM10 수농도의 약 9%를 차지하였다. 로스팅 레벨의 경우 0.3-1.0 μm 입경범위는 PM10 수농도의 약 97%를 차지하였고, 1.0-2.5 μm 입경범위는 PM10 수농도의 약 4%를 차지하였다. 생두 투입량의 경우 0.3-1.0

μm 의 입경 범위는 PM10 수농도의 약 96%, 1.0-2.5 μm 의 입경 범위는 PM10 수농도의 약 4%를 차지하였다. 이는 Fluckiger et al.(2000) 기존의 연구에서 카페 조리 시 0.75-1.0 μm 의 입경 범위에서 가장 많은 수의 입자가 발생 된다는 결과와 일치한다. 또한, Kim et al.(2017)에서 고등어 조리뿐만 아니라 가스버너나 오븐과 같은 조리용 연료의 단독 연소, 조리용 기름, 여러 가지 음식 조리 시 발생하는 먼지의 입경 분포가 대부분 1 μm 보다 작은 크기의 입자였다는 연구결과와도 비슷한 경향이다. 이에 조리 시뿐만 아니라 커피 로스팅 시에도 미세한 크기의 입자의 발생 수준이 그보다 큰 입자의 발생 수준보다 더 높다는 것을 알 수 있다.

Gong et al.(2013)은 PM2.5 및 PM1.0과 같이 입자의 크기가 매우 작으면 동일한 질량농도일 경우 크기가 작은 입자의 개수가 큰 입자의 개수보다 훨씬 많으며, 표면적이 넓어 유해물질을 더 많이 흡착할 수 있으므로 입자를 구성하고 있는 화학조성보다 크기 자체가 독성의 원인이 된다 하였다. 특히, UFP는 공기역학적 직경이 100 nm 이하인 아주 미세한 입자를 말하며, 흡입 시 폐에 염증 및 혈관에 혈전증을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다. Zhang et al.(2010)은 요리가 가정에서 UFP 발생에 중요한 원인이며, 치킨 프라이 조리 시 주방의 UFP 농도는 최대 550배까지 증가할 수 있다 하였다. Wan et al.(2011)은 중국식 튀김 요리 시 발생하는 UFP는 전체 미세먼지 수농도의 80% 이상 차지한다고 하였다. Wang et al.(2017)은 요리 시 발생하는 입자의 크기는 주로 아주 미세한 크기이며, 이것은 수농도의 대부분을 차지한다고 하였다. 이상의 연구결과를 종합하면 커피 로스팅 시 발생하는 입자는 직경 2.5 μm 보다 작은 크기의 입자들이며, 로스팅 작업자들은 본 연구에서 측정한 최소 입경인 0.3 μm 보다 더 작은 크기의 입자에 노출될 가능성이 있다.

본 연구에서 사용한 직화식 로스터는 은피(silver skin)가 직접 화염에 접촉하기 때문에 반직화식 및 열풍식 로스터에 비해 미세먼지의 농도가 더 높게 나올 것으로 생각된다. 직접 로스팅한 커피를 판매하는 로스터리 카페는 한 번 로스팅을 실시할 때 많은 생두를 사용하며, 커피 판매를 위해 여러 번 로스팅을 반복하기 때문에 카페의 로스팅 작업자는 더 높은 수준으로 노출될 수 있다. 반면 작업자의 위치, 환기 상태나 출입문의 개방 상태 등은 노출 수준을 낮추는 요인이 될 수 있다.

본 연구는 로스팅 과정에서 발생하는 미세먼지 농도

및 특성에 영향을 미치는 요소들을 파악하기 위해 설계된 실험이기 때문에 이 결과를 실생활이나 현장에 적용하는 것에는 무리가 있을 수 있다. Yoon et al.(2018)이 실내공기질 사물인터넷 기기를 이용하여 PM10 농도 등을 보고한 바에 따르면 실제 로스터리 카페는 투입 및 배출 시에만 작업자가 로스터 옆에 위치하고, 창문 및 환풍기 등을 이용하여 환기시키고 있었다. 같은 연구에서 보고한 PM10 농도는 인도네시아 원두를 로스팅할 때 평균 248.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 다른 로스터리 카페에서는 같은 원두를 로스팅할 때 148.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. Keil et al.(2010)이 에티오피아에서 전통방식으로 커피를 조리할 때 노출되는 미세먼지와 일산화탄소의 농도를 평가한 적이 있지만 오염물질의 발생원은 사용되는 연료였다. 따라서 이후에 실제 로스터리 카페에서 로스팅 작업자를 대상으로 한 미세먼지의 노출평가 및 위험성을 파악하기 위한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 커피 로스팅 시 발생하는 미세먼지의 농도를 평가하기 위해 로스팅 작업 시 발생 수준 및 특성에 영향을 미치는 관련 요인을 조사하여 그에 따른 농도변화를 확인하고자 하였다. 로스팅 작업 시 미세먼지의 발생 수준과 발생 특성에 영향을 미칠 수 있는 요인으로서는 생두의 원산지, 로스팅 레벨, 투입량을 조사하였다.

연구 결과를 종합해보면, 커피 로스팅 시 발생하는 미세먼지는 로스팅 레벨이 높은 즉, 고온에서 로스팅하는 경우 그보다 낮은 로스팅보다 농도가 더 높게 관찰되었으며, 발생 특성은 로스팅 진행 시보다 종료 후의 농도가 더 높으며, 이때 발생하는 입자의 크기는 매우 미세한 것으로 보인다.

연속적으로 로스팅하는 로스터리 카페의 작업자는 고농도의 미세먼지에 노출될 수 있다. 따라서 작업자를 대상으로 한 미세먼지의 노출평가 및 위험성을 파악하기 위한 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Aguilar PR, Michelson AP, Isakow WND. Obliterative bronchiolitis. Transplantation 2016; 100: 272-283,

- https://doi.org/10.1097/TP.0000000000000892
- Baik HJ, Ko YS. Studies on the aroma components of roasted and ground coffee. *Korean J Food Sci Technol* 1996; 28(1):15-18 (Korean)
- Balasubramanian R, Lee SS. Characteristics of indoor aerosols in residential homes in urban locations: a case study in Singapore. *J Air Waste Manage* 2007; 57: 981-990, <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.8.981>
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope III CA, Brook JR, Bhatnager A, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. *Circulation* 2010; 121: 2331-2378, <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e1>
- Buonanno G, Morawska L, Stabile L. Particle emission factors during cooking activities. *Atmos Environ* 2009; 43: 3235-3242, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.044>
- Dennekamp M, Howarth S, Dick CAJ, Cherrie JW, Donaldson K, et al.. Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occup Environ Med* 2001; 58: 511-516, <https://doi.org/10.1136/oem.58.8.511>
- Environmental Protection Agency. Emission factor documentation for AP-42 Section 9.13.2. Coffee Roasting Final Report. 1995. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch09/final/c9s13-2.pdf> [accessed 22 March 2019].
- Environmental Protection Agency. PM2.5 Objectives and history. region 4: laboratory and field operations-PM2.5. 2008.
- Fluckiger B, Seifert M, Koller T, Monm C. Air quality measurements in a model kitchen using gas and electric stoves. *Proceedings of Healthy Buildings* 2000; 1: 567-72.
- Food Information Statistics System. 2016 processed food segment market status - coffee market. [Accessed 2019 August 12]; Available from: URL:<https://www.atfis.or.kr/article/M001050000/view.do?articleId=2511&boardId=3&page=7&searchKey=&searchString=&searchCategory=>
- Gong SY, Bae HJ, Hong SP, Park HY. A study on the health impact and management policy of PM2.5 in Korea. Seoul: Korea Environment Institute. 2013. p. 3-5 (Korean)
- Hussein T, Glytsos T, Ondracek J, Dohanyosova P, Zdimal V, et al. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atmos Environ* 2006; 40: 4285-4307, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.053>
- International Agency for Research on Cancer. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. 2013. Press release No.221, https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf [accessed 9 December 2019].
- International Coffee Organization. International coffee organization trade statistics tables: world coffee consumption. 2019. http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics [accessed 9 July 2019].
- Jeon GS. Coffee Roasting by Jeon GS. Seoul: Ivy Line. 2013 (Korean)
- Jin YH, Ryu JW. The effect of service quality of coffee through mediating customer satisfaction on revisit intentions -focused on college students who have used coffee houses. *J Food Serv Manage* 2012; 15(4):321-342 (Korean)
- Jo HJ, Park SW, Lee HI, Lee SW. Health effects caused by particulate matter and guidelines for health care. *Public Health Weekly Report, PHWR*. 2018; 11(15): 458-462 (Korean)
- Kearney J, Wallace L, MacNeil M, Xu X, VanRyswyk K, et al. Residential indoor and outdoor ultrafine particles in Windsor, Ontario. *Atmos Environ* 2011; 45: 7583-7593, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.002>
- Keil C, Kassa H, Brown A, Kumie A, Tefera W. Inhalation exposures to particulate matter and carbon monoxide during Ethiopian coffee ceremonies in Addis Ababa: a pilot study. *J Environ Public Hlth*, 2010, <https://doi.org/10.1155/2010/213960>
- Kim SE, Jong Kim JH, Lee SW, Lee MJ. A study of roasting conditions on benzo[a]pyrene content in coffee beans. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2013; 42(1): 134-138 (Korean)
- Kim SH, Kim JS. Chemical composition and sensory attributes of brewed coffee as affected by roasting conditions. *Culinary Science & Hospitality Research* 2017; 23(5):1-11 (Korean)
- Kim SM, Lee IH, Lee KB, Kim JS, Kwon MH. Diameters analyses of fine particles emitted when mackerels cooked. *J Korean Soc Atmos Environ* 2017; 33(4): 361-369 (Korean)
- Korea Customs Service. Coffee imports, annually record high. [Registered on 2017.06.05.] [Accessed 2019 August 5]; Available from: URL:<https://www.customs.go.kr/kcs/na/ntt/selectNttList.do?mi=2891&bbsId=1362>
- Kwon WT, Lee WS. A study on the removal efficiency of harmful pollutants in the cooking chamber. *Culinary Science & Hospitality Research* 2016; 22(8): 149-156 (Korean)
- Lee BJ, Park SS. Evaluation of PM10 and PM2.5

- concentrations from online light scattering dust monitors using gravimetric and Beta-ray absorption methods. *J Korean Soc Atmos Environ* 2019; 35(3): 357–369 (Korean)
- Lee JB, Kim HJ, Jung K, Kim SD. Emission characteristics of particulate matters from under-fired charbroiling cooking process using the hood method. *J Env Hlth Sci* 2009; 35(4):315–321 (Korean)
- Lee KT. A study on attribute differences in selection of coffee specialty hoses as per community according to consumption values. Master's thesis, Kyung Hee University of Korea, Seoul. 2012.
- Lee MG, Jeong MJ, Kang MJ. Characteristics and management of particulate matter(PM2.5) emission on cooking condition. *JCCT* 2017; 4(1):325–329 (Korean)
- Lee YG. Management of indoor air quality in multi-unit housing-characteristics and management measures of fine dust (PM10, PM2.5) generated during kitchen cooking in multi-unit housing. *Air Cleaning Technology* 2016; 29(1): 19–31 (Korean)
- Lim JH, Jang YG, Choi SJ, Kim PS, Han YH, et al. Air pollutant emission measurement of coffee roaster. *Proceedings of Meeting of KOSAE, Daegu*. 2017. p. 168 (Korean)
- Massey D, Kulshrestha A, Masih J, Taneja A. Seasonal trends of PM10, PM5.0, PM2.5 & PM10 in indoor and outdoor environments of residential homes located in northcentral India. *Build and Environment*. 2012; 47: 223–231, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.018>
- Nam HJ, Seo IW, Shin HS. Influence of roasting conditions on polycyclic aromatic hydrocarbon contents in ground coffee bean. *Korean J Food Sci Technol* 2009; 41(4):362–368 (Korean)
- Yoon EJ, Kang MJ, Kim JJ, Juu HW, Kim SW. Changes of Airborne Hazard Concentrations during Coffee Bean Roasting. *Korean Society of Environmental Health, Fall Conference*. 2018. (Korean)
- Wallace L, Ott W. Personal exposure to ultrafine particles. *J Exp Sci Environ Epid* 2011; 21: 20–30, <https://doi.org/10.1038/jes.2009.59>
- Wallace L, Wang F, Howard-Reed C, Persily A. Contribution of gas and electric stoves to residential ultrafine particles concentrations between 2 and 64nm: size distributions and emission and coagulation rate. *Environ Sci Technol* 2008; 42(23): 8641–8647, <https://doi.org/10.1021/es801402v>
- Wan PM, Wu LC, To SGN, Chan TC, Chao CYH. Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes. *Atmos Environ* 2011; 34: 6141–48, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.036>
- Wang L, Xiang Z, Stevanovic S, Ristovski Z, Salimi F, et al. Role of chinese cooking emissions on ambient air quality and human health. *Sci Total Environ* 2017; 589: 173–181, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.124>
- Wheeler AJ, Wallace LA, Kearney J, Van RR, You H, et al. Personal, indoor, and outdoor concentrations of fine and ultrafine particles using continuous monitors in multiple residences. *Aerosol Sci Technol* 2010; 45: 1078–1089, <https://doi.org/10.1080/02786826.2011.580798>
- Woo IH, Park MY. *Coffee & Barista*. Seoul: Gyomoon Press.; 2014. (Korean)
- World Health Organization. Air quality guidelines for Europe, second ed. WHO regional publication, Europe series. 2000. No.91.
- Zhang Q, Gangupomu RH, Ramirez D, Zhu Y. Measurement of ultrfine particles and other air pollutants emitted by cooking activities. *Environ Res Public Hlth* 2010; 7: 1744–1759, <https://doi.org/10.3390/ijerph7041744>

<저자정보>

김승원(부교수), 유다운(석사)