



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석 사 학 위 논 문

소형 직화식 커피 로스터 이용 시 발생하는 미세먼지 특성 연구

계 명 대 학 교 대 학 원

공 중 보 건 학 과

유 다 은

유
다
은

지도교수 김 승 원

2
0
2
0
년

2
월

2 0 2 0 년 2 월

소형 직화식 커피 로스터 이용 시 발생하는 미세먼지 특성 연구

지도교수 김 승 원

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2 0 2 0 년 2 월

계 명 대 학 교 대 학 원

공 중 보 건 학 과

유 다 은

유다은의 석사학위 논문을 인준함

주 심 김 영 철

부 심 김 승 원

부 심 박 진 옥

계 명 대 학 교 대 학 원

2 0 2 0 년 2 월

목 차

1. 서 론	1
2. 재료 및 방법	4
2.1 실험기기	4
2.2 커피 로스팅 방법	5
2.3 측정방법	5
2.3.1 시료 채취 방법	5
2.3.2 시료 측정 기기	6
2.3.3 기기 보정	7
2.4 관련 요인 조사	8
2.4.1 측정 대상 조건	8
2.4.2 생두의 원산지	9
2.4.3 로스팅 레벨	10
2.4.4 생두 투입량	11
2.5 통계분석	12
3. 연구결과	13
3.1 관련요인 분석 결과	13
3.1.1 생두 원산지에 따른 PM_{10} 질량 농도 비교	13
3.1.2 로스팅 레벨에 따른 PM_{10} 질량 농도 비교	14
3.1.3 생두 투입량에 따른 PM_{10} 질량 농도 비교	15
3.2 시간에 따른 요인별 PM_{10} 질량 농도 변화 양상	16
3.2.1 생두 원산지	16
3.2.2 로스팅 레벨	18

3.2.3 생두 투입량	20
3.3 로스팅 진행 시와 종료 후의 요인별 PM ₁₀ 질량 농도 비교	22
3.3.1 생두 원산지	22
3.3.2 로스팅 레벨	23
3.3.3 생두 투입량별	24
3.4 시간에 따른 미세먼지의 입경별 질량농도 변화 양상	25
3.4.1 생두 원산지에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향	25
3.4.2 로스팅 레벨에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향	26
3.4.3 생두 투입량에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향	27
3.5 로스팅 진행 시와 종료 후 미세먼지의 입경별 질량 농도 비교	28
3.5.1 생두 원산지	28
3.5.2 로스팅 레벨	30
3.5.3 생두 투입량	32
3.6 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 미세먼지의 입경별 수농도 분포	34
3.6.1 생두 원산지에 대한 미세먼지의 입경별 수농도 분포 경향	34
3.6.2 로스팅 레벨에 대한 미세먼지의 입경별 수농도 분포 경향	35
3.6.3 생두 투입량에 대한 미세먼지의 입경별 수농도 분포 경향	36
3.7 로스팅 진행 시와 종료 후의 요인에 따른 미세먼지의 입경별 수농도 비교	37
3.7.1 생두 원산지	37
3.7.2 로스팅 레벨	39
3.7.3 생두 투입량	41
3.8 로스팅 레벨에 따른 로스터리 카페 노동자의 미세먼지 노출수준과 대기환경기준 비교	43
3.8.1 PM ₁₀ 질량 농도 비교	43
3.8.2 PM _{2.5} 질량 농도 비교	45

4. 고찰	47
참 고 문 헌	51
영 문 초 록	56
국 문 초 록	59

List of Tables

Table 1. Conditions for measurement	8
Table 2. Comparison of PM ₁₀ concentrations by origins of green beans	13
Table 3. Comparison of PM ₁₀ concentrations by roasting level	14
Table 4. Comparison of PM ₁₀ concentrations by input amount of green beans	15
Table 5. Comparison of PM ₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by origins of green beans	22
Table 6. Comparison of PM ₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by roasting level	23
Table 7. Comparison of PM ₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by input amount of green beans	24
Table 8. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by origins of green beans ...	29
Table 9. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by roasting level	31
Table 10. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by input amount of green beans	33
Table 11. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by origins of green beans ...	38
Table 12. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by roasting level	40

Table 13. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by input amount of green beans	42
Table 14. Comparison of PM ₁₀ mass concentration between exposure levels of workers in roastery cafe and air quality standards by roasting level	44
Table 14. Comparison of PM _{2.5} mass concentration between exposure levels of workers in roastery cafe and air quality standards by roasting level	46

List of Figures

Figure 1. Used roasting machine	4
Figure 2. Trends of PM ₁₀ mass concentration over time by origins of green beans	17
Figure 3. Trends of PM ₁₀ mass concentration over time by roasting level	19
Figure 4. Trends of PM ₁₀ mass concentration over time by input amount of green beans	21
Figure 5. For origins of green beans: trends of mass concentration over time by particle size	25
Figure 6. For roasting level: trends of mass concentration over time by particle size	26
Figure 7. For input amount of green beans: trends of mass concentration over time by particle size	27
Figure 8. Distribution of number concentration for origins of green beans between roasting and after roasting	34
Figure 9. Distribution of number concentration for roasting level between roasting and after roasting	35
Figure 10. Distribution of number concentration for input amount of green beans between roasting and after roasting	36

1. 서 론

커피는 독특한 맛과 향으로 오랫동안 음용해온 기호 음료 식품으로 2017/18년 기준 전 세계의 연간 커피 소비량은 약 1조 잔으로 나타났다(김상은 2013; ICO 2019). 우리나라에서도 국민 소득 및 여가시간 증가로 커피를 접할 기회가 점차 증가하고 있으며(진양호와 류지원 2012), 우리나라 20세 이상 성인 1인당 연간 커피 소비량은 2012년 288잔에서 2016년 377잔으로 5년간 연평균 7.0%가량 증가하였다(관세청 2017). 커피를 즐기는 사람들이 증가하면서 커피 문화가 대중화되었고, 이로 인해 프랜차이즈 커피전문점이 활성화 되었다(농림축산식품부 2016). 최근에는 자신의 입맛에 맞는 커피를 찾는 소비자들이 늘어나면서 직접 생두를 로스팅하여 신선한 커피를 제공하는 로스터리 커피 전문점 또한 증가하고 있는 추세이다(이기태 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(전광수 2001; 남혜정 등 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(백희준과 고영수 1996; 김성혜와 김주신 2017). 배치식 커피 로스터에서 배출되는 대기오염물질을 실시간으로 측정한 결과 포름알데히드 2,000 ppm, 아세트알데히드 120 ppm, 아크롤레인 10 ppm, 일산화탄소 5,207 ppm, 질소산화물 35 ppm으로 나타났다(임준현 등 2017).

로스팅 공정에서 발생하는 화학물질로 인해 로스팅 작업자에게서 폐질

환이 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(IARC)는 미세먼지를 1급 발암물질로 규정하였다(IARC 2013). 10 μ m 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(조현정 등 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; Wallace et al. 2008; Wan et al. 2011, Massey et al. 2012; Balasubramanian and Lee 2007). 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 음식 점에서 고기 연소 시 발생하는 먼지의 배출특성을 확인한 결과 2.0-2.5 μ m 입경범위에서 가장 높은 질량농도를 보였다(이준복 등 2009). 또한, 조리과정에서 발생한 먼지의 peak 입경을 분석한 결과, 음식을 조리할 때 발생하는 먼지의 입경 분포가 대부분 1 μ m보다 작은 크기의 입자임을 확인하였다(김성미 등 2017). UFP(ultrafine particle, UFP)는 공기역학적 직경이 100 nm 이하의 미세한 입자이며, 이는 초대입자보다 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 and Ott 2011).

미세한 입자가 인체에 해로운 영향을 미치는 것이 알려지면서, 음식 조

리 시 발생하는 입자상물질에 대한 다양한 연구가 시행되었다(이준복 등 2009; 이윤규 2016; 김성미 등 2017; 이명구 등 2018; Fluckiger et al. 2000; Wan et al. 2011). 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.

2. 재료 및 방법

2.1 실험기기

로스팅에 사용한 기기는 스테인리스 스틸 재질의 직화식 타공 드럼이 내장되어 있는 가정용 전동식 커피 로스터이다. 로스터 전방에 바이메탈 타입의 밀폐형 온도계를 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. 그림 1은 실험에 사용한 로스터기이다.



Figure 1. Used roasting machine.

2.2 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 10분가량 소요되었다.

2.3 측정방법

2.3.1 시료 채취 방법

본 연구는 밀폐된 실험실에서 실시하였고, 측정 시작 시 에어컨 및 환풍기를 작동시키지 않았으며, 연기 발생 시 사방으로 확산되는 것을 막기 위해 앞면을 제외한 다른 면은 박스를 이용하여 차단하였다.

2.3.2 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(이복진 2019). 기기의 측정 가능한 개수 농도는 0-3,000 $\#/\text{cm}^3$ 이며, 측정 가능한 질량농도는 0.001-275,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 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.

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.

2.3.3 기기 보정

광산란 측정기는 에어로졸의 밀도, 굴절률, 형태, 크기 및 크기분포에 대한 미 산란 특성에 의해 먼지 농도가 과대 측정되는 경우가 있다(김정호 등 2014). 따라서 본 실험에서는 중량법과 광산란 측정기(OPS)를 비교하여 밀도를 보정한 후 질량농도를 산출하였으며, 보정 결과는 아래와 같다.

$$\frac{\text{중량법 농도}}{\text{광산란법 농도}} = \frac{3,737.24 \mu\text{g}/\text{m}^3}{370.04 \mu\text{g}/\text{m}^3} = 10.09$$

2.4 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(권우택과 이우식 2016; 이윤규 2016; 이명구 등 2018).

본 실험에서는 로스팅 시 발생하는 미세먼지 농도에 영향을 미칠 수 있는 조건으로 생두의 원산지, 로스팅 레벨, 생두의 투입량을 조사하였다.

2.4.1 측정 대상 조건

표 1은 측정 대상의 조건을 나타낸 것이다.

총 측정 대상 개수는 58개였으며, 각 요인별로 측정 횟수는 동일하게 진행하였다. 생두의 원산지별 측정 횟수는 한 세트에 5번씩 총 25번, 로스팅 레벨별 측정 횟수는 한 세트에 6번씩 총 24번, 생두의 투입량별 측정 횟수는 한 세트에 3번씩 총 9번을 실시하였다.

Table 1. Conditions for measurement

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
	Columbia	Full city	100.3(0.08)	200	3
Input (g)	Columbia	Full city	150.1(0.09)	200	3
	Columbia	Full city	200.2(0.09)	200	3
Total					58

2.4.2 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(관세청 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.

2.4.3 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 단계의 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(우인애와 박미영 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.

2.4.4 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.

2.5 통계분석

SPSS 25.0(SPSS Inc., Armonk, NY, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 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.

3. 연구결과

3.1 관련요인 분석 결과

3.1.1 생두의 원산지에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

표2는 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±352.5 µg/m³으로 가장 높았고, 페루산의 평균 농도가 808.2±237.5 µg/m³으로 가장 낮았지만 통계적으로 원산지 간 PM₁₀ 평균 농도의 유의한 차이는 보이지 않았다(p>0.05).

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

Origin	PM ₁₀ (µg/m ³)		
	Mean±SD	Range	p value
Brazil	1,110.7±348.8	545.1-1,420.9	0.188
Columbia	1,207.0±352.5	698.1-1,659.9	
Peru	808.2±237.5	456.0-1,044.6	
Ethiopia	893.6±284.4	537.8-1,210.9	
Honduras	1,136.7±212.2	946.1-1,455.8	

3.1.2 로스팅 레벨에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

표3은 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 콜롬비아 산이다.

로스팅 레벨에 따른 PM₁₀의 농도 수준은 레벨이 가장 높은 풀시티 로스트의 평균 농도가 988.4±263.9 µg/m³으로 가장 높았고, 레벨이 가장 낮은 시나몬 로스트의 평균 농도가 242.2±45.7 µg/m³으로 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 (µg/m ³)		J-T ^{a)}	p value ^{b)}
	Mean±SD	Range		
Cinnamon	242.2±45.7	169.9-304.8	4.835	0.000*
Medium	329.8±71.7	215.4-426.1		
City	483.1±146.3	264.9-654.3		
Full city	988.4±263.9	739.5-1391.7		

^{a)}The higher level of roasting was, the higher PM₁₀ concentration was (J-T=4.835).

^{b)}Statistically significant differences in PM₁₀ concentrations among roasting levels were determined by Jonckheere-Terpstra test (*p<0.05).

3.1.3 생두의 투입량에 따른 PM₁₀ 질량 농도 비교

표4는 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±169.9 µg/m³으로 가장 높았고, 100 g 투입 시의 평균 농도가 482.5±86.4 µg/m³으로 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 (µg/m ³)			
	Mean±SD	Range	J-T ^{a)}	p value ^{b)}
100	482.5±86.4	393.5-565.9	2.778	0.005*
150	735.1±172.9	581.6-922.4		
200	1,064.2±169.9	869.3-1180.3		

^{a)}The more green beans in the roaster put, the higher PM₁₀ concentration was (J-T=2.778).

^{b)}Statistically significant differences in PM₁₀ concentrations among the input amount of green beans were determined by Jonckheere-Terpstra test (*p<0.05).

3.2 시간에 따른 요인별 PM₁₀ 질량농도 변화 양상

3.2.1 생두 원산지

그림 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 후에는 콜롬비아산의 농도가 가장 높게 나타났다.

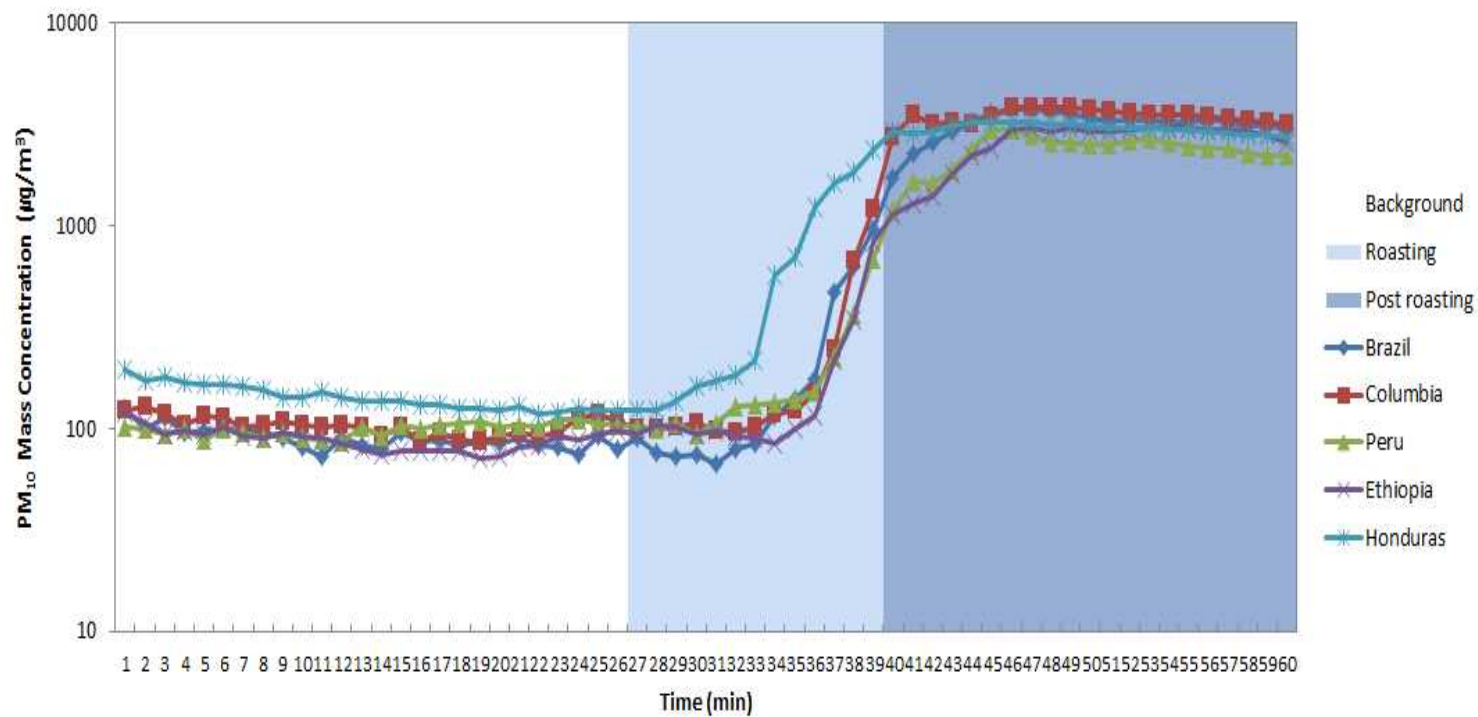


Figure 2. Trends of PM₁₀ mass concentration over time by origins of green beans.

3.2.2 로스팅 레벨

그림 3은 시간의 흐름에 따른 로스팅 레벨별 PM_{10} 질량농도의 변화 양상을 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시(투입-배출)는 시간이 지날수록 농도가 점차 증가하는 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.

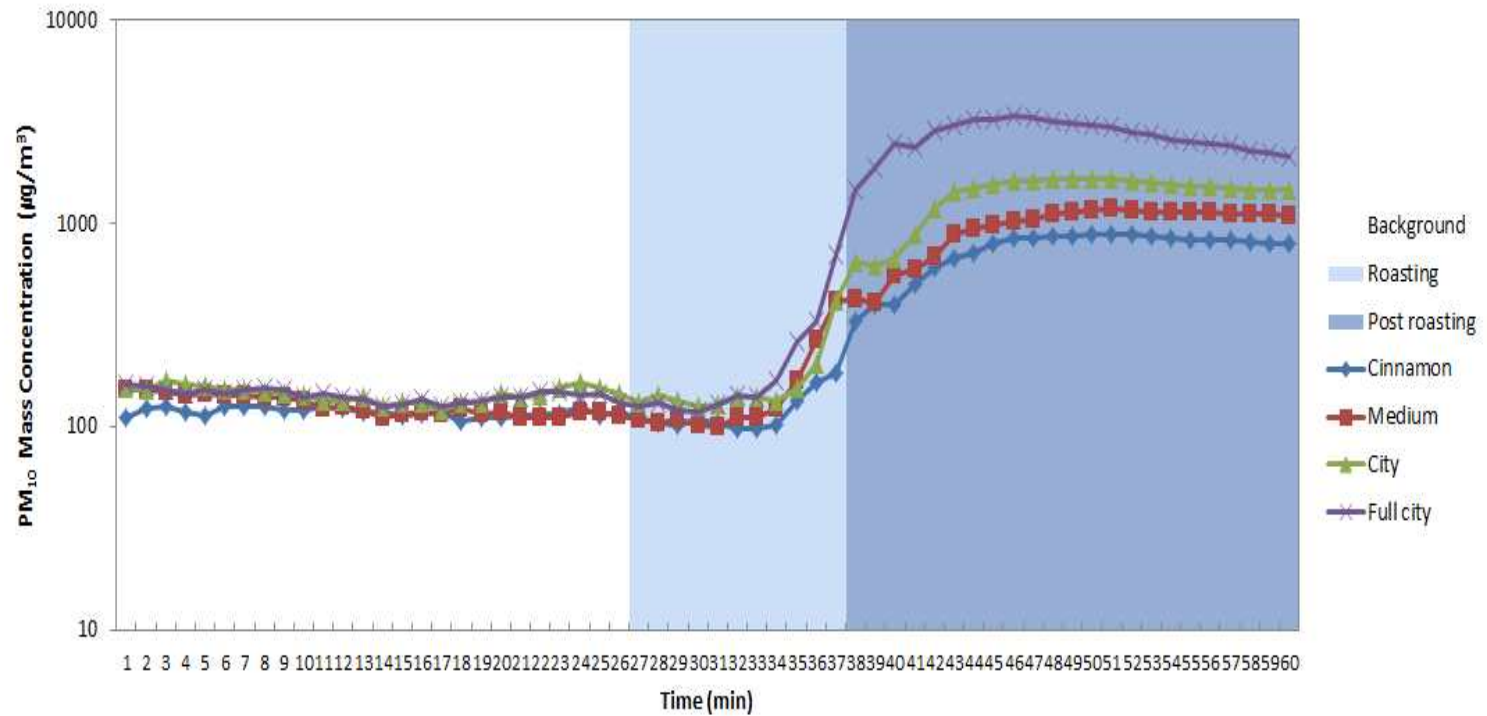


Figure 3. Trends of PM₁₀ mass concentration over time by roasting level.

3.2.3 생두 투입량

그림 4은 시간의 흐름에 따른 생두 투입량별 PM_{10} 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 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.

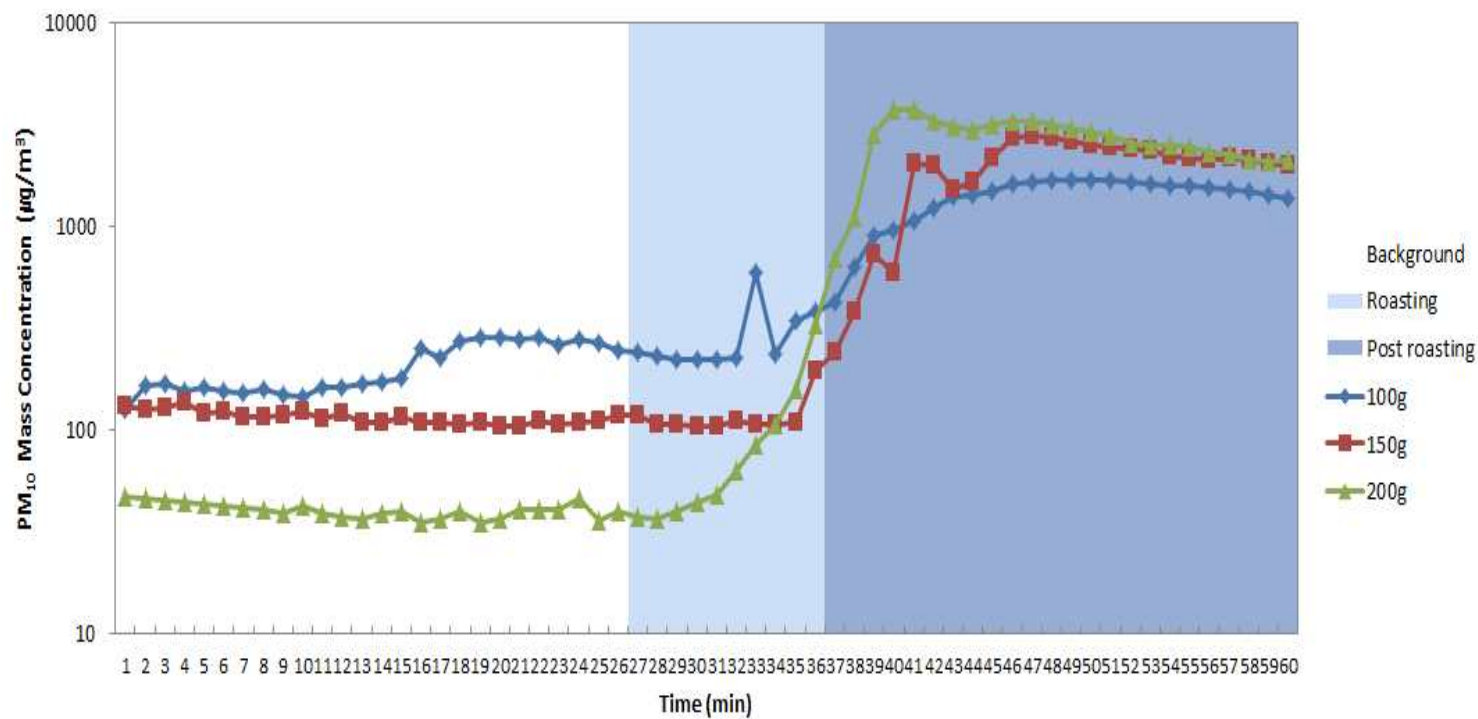


Figure 4. Trends of PM₁₀ mass concentration over time by input amount of green bean.

3.3 로스팅 진행 시와 종료 후의 요인별 PM₁₀ 질량 농도 비교

3.3.1 생두 원산지

표5는 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.

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

3.3.2 로스팅 레벨

표6은 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 6. Comparison of PM₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by roasting level (Unit: µg/m³)

Level	Roasting (n=24)		After roasting (n=24)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Cinnamon	15.1±8.6	4.2-29.5	664.0±123.0	405.5-763.3
Medium	18.4±41.4	-57.0-84.3	905.2±173.5	703.7-1,250.5
City	162.7±266.7	13.3-757.9	1,320.5±384.2	688.4-1,736.7
Full city	64.7±40.1	-8.1-115.9	2,657.7±615.9	1,907.7-3765.6
Total	65.2±148.9	-57.0-757.9	1,386.8±858.2	405.5-3765.6

3.3.3 생두 투입량별

표7은 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 µg/m³으로 로스팅 진행 시 126.8 µg/m³보다 약 16배 높았다.

생두 원산지별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 150 g 투입한 경우가 193.0 µg/m³으로 가장 높았으며, 로스팅 종료 후에는 200 g 투입한 경우가 2,736.2 µg/m³으로 가장 높았다.

Table 7. Comparison of PM₁₀ mass concentration between roasting and after roasting time by input amount of green beans(Unit: µg/m³)

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

3.4 시간에 따른 미세먼지의 입경별 질량농도 변화 양상

3.4.1 생두 원산지에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

그림 5는 전체 생두 원산지의 시간에 따른 입경별 평균 질량농도 변화양상을 나타낸 것이다.

0.3-1.0 μm 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 농도변화가 나타나지 않았다.

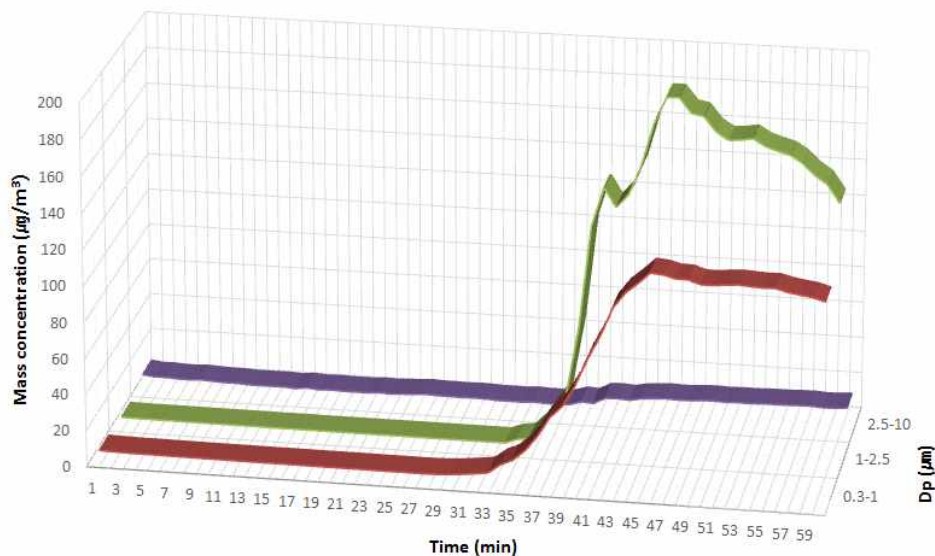


Figure 5. For origins of green beans: trends of mass concentration over time by particle size.

3.4.2 로스팅 레벨에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

그림 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.

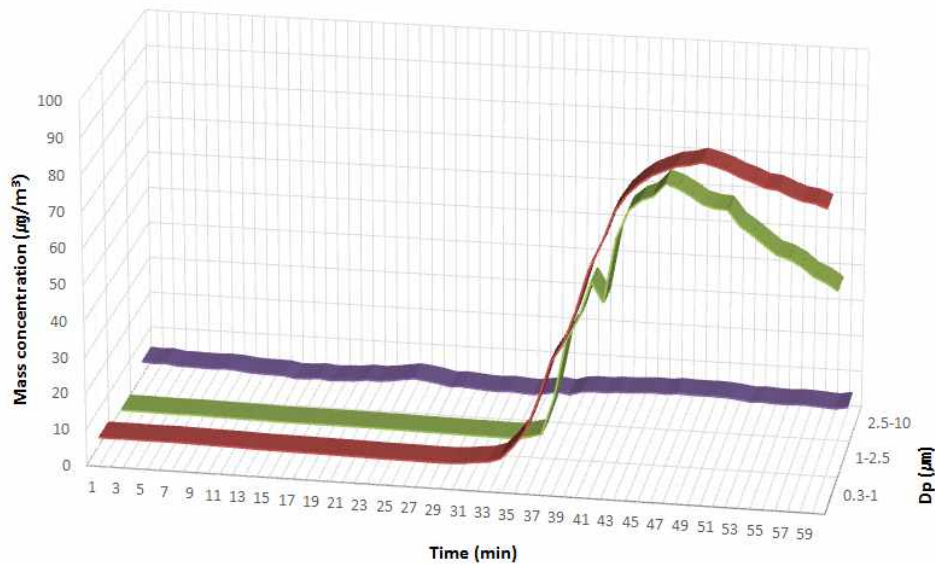


Figure 6. For roasting level: trends of mass concentration over time by particle size.

3.4.3 생두 투입량에서의 입경별 미세먼지 질량농도 경향

그림 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 측정종료 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.

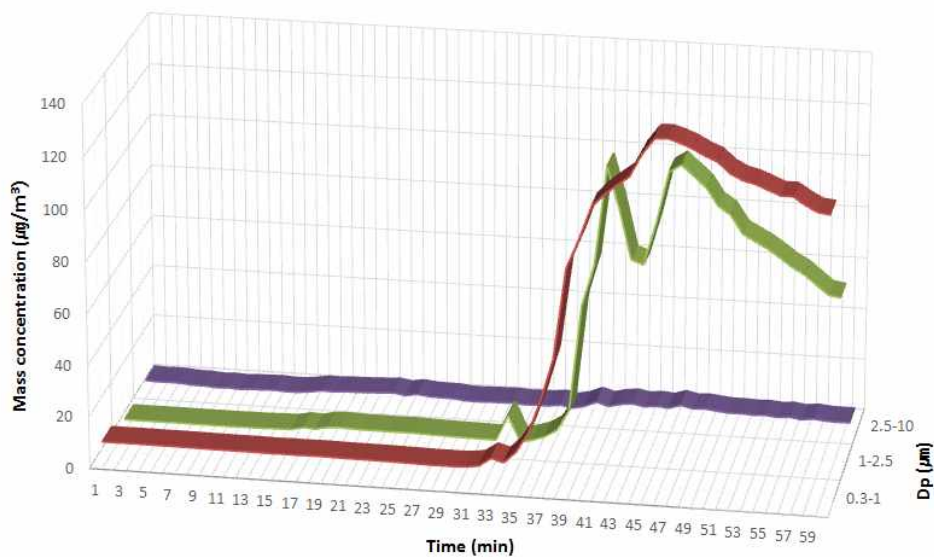


Figure 7. For input amount of green beans: trends of mass concentration over time by particle size.

3.5 로스팅 진행 시와 종료 후 미세먼지의 입경별 질량 농도 비교

3.5.1 생두 원산지

표8은 입경에 따른 생두 원산지별 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.

원산지별 전체 평균농도를 입경에 따라 나누어 비교하였을 때, 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 1.0-2.5 μm 입경 범위에서의 농도가 가장 높았으며, 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 약 10배 더 높게 나타났다.

원산지별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시 모든 입경 범위에서 브라질산의 농도가 가장 높았고 로스팅 종료 후 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 콜롬비아산이 1,056.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 1-2.5 μm 입경 범위에서는 브라질산이 1,745.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다. 그리고 2.5-10 μm 입경 범위에서는 브라질산이 98.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다.

Table 8. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by origins of green beans (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Origin	Roasting (n=25)			After roasting (n=25)		
	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	2.5-10 μm	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	2.5-10 μm
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Brazil	274.4 \pm 231.4	449.3 \pm 479.2	17.3 \pm 32.0	831.2 \pm 436.1	1,745.9 \pm 985.5	98.6 \pm 93.9
Columbia	62.9 \pm 37.2	17.5 \pm 15.9	4.6 \pm 3.2	1,056.7 \pm 253.9	1,682.7 \pm 893.0	65.4 \pm 57.4
Peru	80.3 \pm 50.1	27.4 \pm 561.5	-0.3 \pm 806.4	988.3 \pm 226.9	1,044.6 \pm 494.5	30.0 \pm 33.2
Ethiopia	95.8 \pm 77.1	149.0 \pm 229.1	0.4 \pm 17.0	902.2 \pm 435.1	1,396.6 \pm 607.3	40.0 \pm 38.2
Honduras	79.3 \pm 49.1	25.7 \pm 15.4	1.7 \pm 8.4	910.0 \pm 301.5	1,365.0 \pm 709.0	54.0 \pm 76.0
Total	118.5 \pm 138.9	133.8 \pm 414.07	4.7 \pm 396.4	937.7 \pm 354.9	1,447.0 \pm 817.3	57.6 \pm 70.0

3.5.2 로스팅 레벨

표9는 입경에 따른 로스팅 레벨별 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.

레벨별 전체 평균농도를 입경에 따라 나누어 비교하였을 때, 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 0.3-1.0 μm 입경 범위에서의 농도가 가장 높았으며, 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 약 16배 더 높게 나타났다.

레벨별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 시티 로스트가 83.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 1.0-2.5 μm 입경 범위 또한 시티 로스트가 86.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 2.5-10 μm 입경 범위에서는 풀시티 로스트가 6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다. 로스팅 종료 후는 모든 입경 범위에서 풀시티의 농도가 가장 높았으며, 특히 1.0-2.5 μm 입경이 1,673.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 입경 범위에 비해서 높게 나타났다.

Table 9. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by roasting level (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Level	Roasting (n=24)			After roasting (n=24)		
	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	2.5-10 μm	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	2.5-10 μm
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Cinnamon	21.8 \pm 8.6	2.2 \pm 6.5	-8.9 \pm 10.3	601.0 \pm 103.7	72.8 \pm 41.4	-9.8 \pm 9.8
Medium	28.1 \pm 26.5	-0.7 \pm 15.8	-9.1 \pm 15.8	678.9 \pm 52.6	222.2 \pm 165.7	4.1 \pm 17.9
City	83.6 \pm 100.4	86.8 \pm 161.9	-7.7 \pm 8.6	875.3 \pm 190.2	436.1 \pm 270.6	9.2 \pm 11.9
Full city	56.5 \pm 25.9	14.3 \pm 14.5	-6.0 \pm 9.8	951.6 \pm 154.5	1,673.2 \pm 591.0	32.9 \pm 29.3
Total	47.5 \pm 59.0	25.7 \pm 89.2	-7.9 \pm 11.5	776.7 \pm 196.4	601.0 \pm 716.1	9.1 \pm 24.3

3.5.3 생두 투입량

표10은 입경에 따른 생두 투입량별 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.

투입량별 전체 평균농도를 입경에 따라 나누어 비교하였을 때, 로스팅 진행 시는 1.0-2.5 μm 입경 범위에서 72.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 로스팅 종료 후는 0.3-1.0 μm 입경 범위에서 1,124.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다.

투입량별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 200 g 투입한 경우가 84.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 150 g 투입한 경우가 145.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 2.5-10 μm 입경 범위에서는 150 g 투입한 경우가 3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다. 로스팅 종료 후는 모든 입경 범위에서 200 g 투입 시의 농도가 가장 높았으며, 특히 0.3-1.0 μm 입경 범위가 1,506.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 범위에 비해서 높게 나타났다.

Table 10. Comparison of mass concentration for particle size between roasting and after roasting time by input amount of green beans (Unit:

Input (g)	Roasting (n=9)			After roasting (n=9)		
	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	1.5-10 μm	0.3-1.0 μm	1.0-2.5 μm	2.5-10 μm
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
100	26.3 \pm 9.0	57.3 \pm 48.9	-0.7 \pm 5.7	888.6 \pm 121.6	306.9 \pm 204.3	1.5 \pm 13.3
150	43.9 \pm 57.9	145.2 \pm 203.4	3.9 \pm 9.6	977.8 \pm 120.8	1,025.0 \pm 404.0	24.0 \pm 10.8
200	84.9 \pm 43.9	15.7 \pm 10.6	3.8 \pm 3.1	1,506.6 \pm 96.1	1,196.3 \pm 343.2	33.2 \pm 15.9
Total	51.7 \pm 48.9	72.8 \pm 132.4	2.3 \pm 7.0	1,124.3 \pm 295.4	842.7 \pm 506.0	19.6 \pm 19.0

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

3.6 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 미세먼지의 입경별 수농도 분포

3.6.1 생두 원산지에 대한 입경별 미세먼지 수농도 분포 경향

그림 8은 전체 생두 원산지의 평균 수농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 모든 입경 범위에서 수농도가 더 높았으며, 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 입경이 커질수록 수농도는 급격한 감소를 보였다.

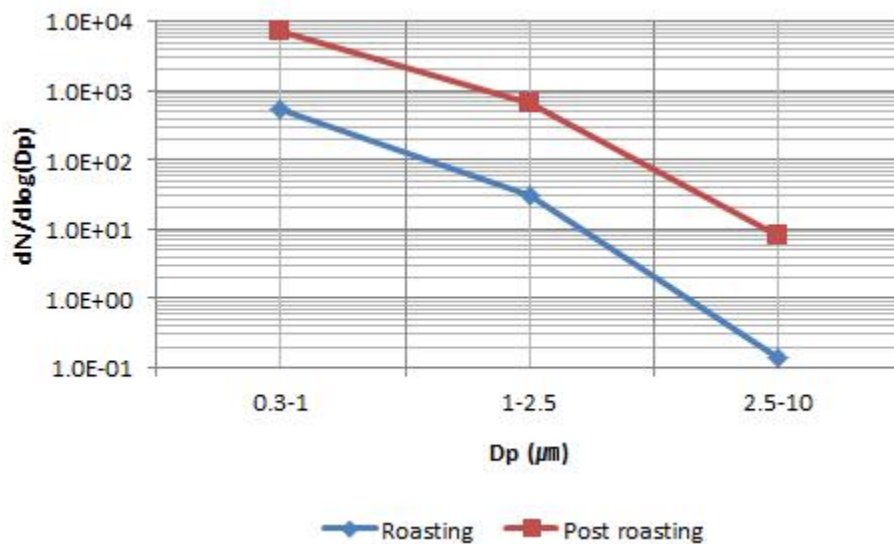


Figure 8. Distribution of number concentration for origins of green beans between roasting and after roasting.

3.6.2 로스팅 레벨에 대한 입경별 미세먼지 수농도 분포 경향

그림 9는 전체 로스팅 레벨의 평균 수농도를 입경에 따라 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 모든 입경범위에서 수농도가 높았으며, 로스팅 진행 시 2.5-10 μm 입경 범위에서는 배경농도가 로스팅 진행 시 농도보다 더 높게 관찰되었다.

로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 입경이 커질수록 수농도는 급격한 감소를 보였다.

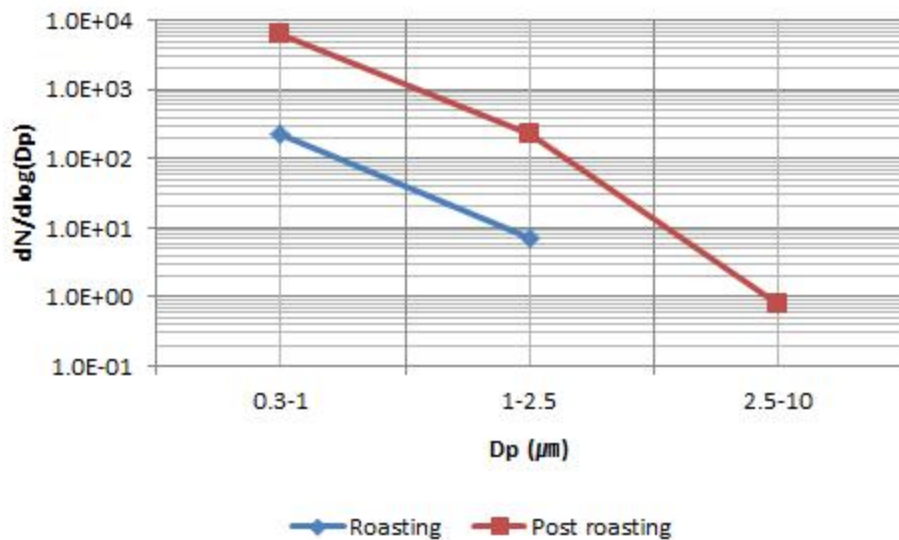


Figure 9. Distribution of number concentration for roasting level between roasting and after roasting.

3.6.3 생두 투입량에 대한 입경별 미세먼지 수농도 분포 경향

그림 10는 전체 생두 투입량의 평균 수농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 모든 입경범위에서 수농도가 더 높았으며, 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 입경이 커질수록 수농도는 급격한 감소를 보였다.

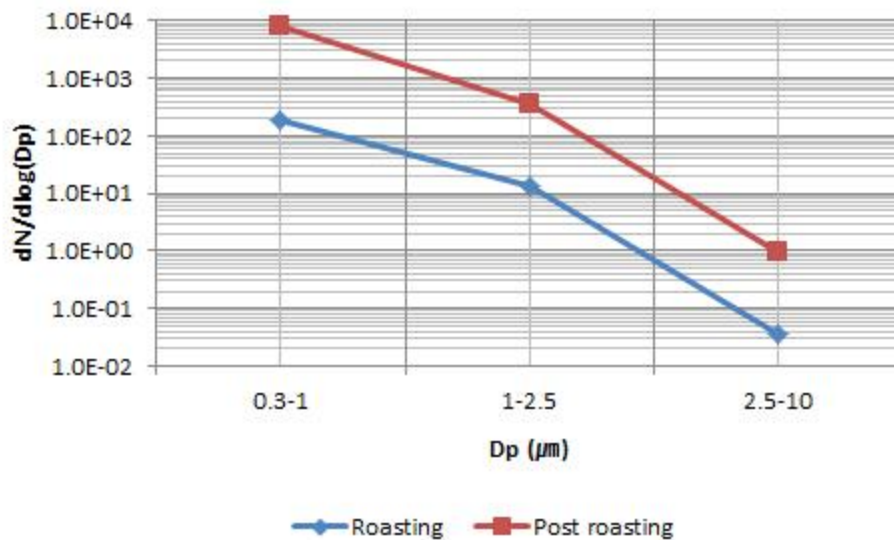


Figure 10. Distribution of number concentration for input amount of green beans between roasting and after roasting.

3.7 로스팅 진행 시와 종료 후 요인에 따른 미세먼지의 입경별 수농도 비교

3.7.1 생두 원산지

표 11은 입경에 따른 생두 원산지별 수농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 수농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 수농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균 농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 그 결과, 전체 평균 수농도는 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 0.3-1.0 μm 입경 범위에서 가장 농도가 높았으며, 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 약 13배 높았다.

원산지별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시에는 브라질산이 모든 입경 범위에서 농도가 가장 높았고, 로스팅 종료 후에는 콜롬비아산이 모든 입경 범위에서 농도가 가장 높았다. 특히, 콜롬비아산은 0.3-1.0 μm 입경 범위에서의 수농도가 8,234.2 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다.

Table 11. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by origins of green beans (Unit: #/cm³)

Origin	Diameter (μm)	Roasting (n=25)		After roasting (n=25)	
		Mean	SD	Mean	SD
Brazil	0.3-1.0	1,531.3	1,069.7	6,462.4	3,237.1
	1.0-2.5	105.9	145.6	606.2	366.9
	2.5-10	0.9	1.6	8.5	9.2
Columbia	0.3-1.0	273.0	217.7	8,234.2	1,752.8
	1.0-2.5	1.0	2.4	793.5	292.9
	2.5-10	0.0	0.2	20.0	36.3
Peru	0.3-1.0	193.1	159.6	7,688.0	1,313.8
	1.0-2.5	2.9	3.7	715.7	513.9
	2.5-10	-0.1	0.1	3.8	2.4
Ethiopia	0.3-1.0	438.7	453.9	7,031.1	2,559.7
	1.0-2.5	46.4	88.9	651.2	205.3
	2.5-10	0.0	0.3	3.3	2.4
Honduras	0.3-1.0	361.9	338.8	7,211.3	2,334.6
	1.0-2.5	0.9	6.1	637.5	210.1
	2.5-10	-0.1	0.1	4.7	6.9
Total	0.3-1.0	559.6	741.9	7,325.4	2,411.7
	1.0-2.5	31.4	86.7	680.8	344.4
	2.5-10	0.1	0.8	8.1	18.2

3.7.2 로스팅 레벨

표 12는 입경에 따른 로스팅 레벨별 수농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 수농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 수농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균 농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 그 결과, 전체 평균 수농도는 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 0.3-1.0 μm 입경 범위에서 가장 농도가 높았으며, 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 약 29배 높았다.

레벨별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 시티 로스트가 450.2 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았고, 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 시티 로스트가 27.2 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았으며, 2.5-10 μm 입경 범위에서는 모두 배경농도가 로스팅 시 농도보다 높았다.

로스팅 종료 후 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 시티 로스트가 7,488.8 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았으며, 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 풀시티 로스트가 624.2 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다. 2.5-10 μm 입경 범위에서는 풀시티 로스트가 2.8 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다.

Table 12. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by roasting level (Unit: #/cm³)

Level	Diameter (μm)	Roasting (n=24)		After roasting (n=24)	
		Mean	SD	Mean	SD
Cinnamon	0.3-1.0	115.1	51.8	5,820.2	901.9
	1.0-2.5	1.2	3.0	32.2	17.4
	2.5-10	-0.4	0.4	-0.3	0.4
Medium	0.3-1.0	82.0	173.0	6,130.4	500.5
	1.0-2.5	-1.9	4.3	97.0	69.6
	2.5-10	-0.3	0.4	0.1	0.5
City	0.3-1.0	450.2	758.0	7,488.8	1,370.2
	1.0-2.5	27.2	54.5	182.1	112.0
	2.5-10	-0.2	0.2	0.5	0.4
Full city	0.3-1.0	249.1	212.3	6,363.0	919.9
	1.0-2.5	1.1	3.2	624.2	195.2
	2.5-10	-0.2	0.3	2.8	2.1
Total	0.3-1.0	224.1	429.0	6,450.6	1,159.0
	1.0-2.5	6.9	29.8	233.9	259.9
	2.5-10	-0.3	0.3	0.8	1.6

3.7.3 생두 투입량

표 13은 입경에 따른 생두 투입량별 수농도를 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후로 나누어 나타낸 것이다. 로스팅 진행 시 수농도는 생두의 투입부터 배출까지의 평균농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었고, 로스팅 종료 후 수농도는 원두의 배출부터 측정 종료까지의 평균 농도 값에서 배경농도의 평균값을 빼주었다. 그 결과, 전체 평균 수농도는 로스팅 진행 시와 로스팅 종료 후 모두 0.3-1.0 μm 입경 범위에서 가장 농도가 높았으며, 로스팅 종료 후가 로스팅 진행 시보다 약 46배 높았다.

투입량별로 비교하였을 때, 로스팅 진행 시 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 200 g 투입 시가 473.6 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았고 1.0-2.5 μm 입경 범위에서는 150 g 투입 시가 34.6 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다. 2.5-10 μm 입경 범위에서는 150 g 투입 시가 0.1 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다.

로스팅 종료 후 0.3-1.0 μm 입경 범위에서는 200 g 투입 시가 10,376.3 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았고 1.0-2.5 μm 입경 범위에서 또한 200g 투입 시가 486.5 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다. 2.5-10 μm 입경 범위에서는 150 g 투입 시가 1.4 $\#/\text{cm}^3$ 으로 가장 높았다.

Table 13. Comparison of number concentration for particle size between roasting and after roasting time by input amount of green beans (Unit: #/cm³)

Input (g)	Diameter (μm)	Roasting (n=9)		After roasting (n=9)	
		Mean	SD	Mean	SD
100	0.3-1.0	-23.0	50.6	7,507.8	408.6
	1.0-2.5	3.3	5.9	131.9	76.2
	2.5-10	0.0	0.1	0.2	0.2
150	0.3-1.0	91.2	250.4	7,203.2	626.3
	1.0-2.5	34.6	49.6	413.6	158.7
	2.5-10	0.1	0.3	1.4	0.8
200	0.3-1.0	473.6	237.8	10,376.3	272.2
	1.0-2.5	1.3	1.1	486.5	131.6
	2.5-10	0.0	0.0	1.2	0.8
Total	0.3-1.0	180.6	292.7	8,362.4	1,501.5
	1.0-2.5	13.1	32.6	344.0	198.7
	2.5-10	0.0	0.2	1.0	0.8

3.8 로스팅 레벨에 따른 로스터리 카페 노동자의 미세먼지 노출수준과 대기환경기준 비교

3.8.1 PM₁₀ 질량 농도 비교

표 14는 로스팅 레벨에 따른 로스터리 카페 노동자의 PM₁₀ 노출수준과 대기환경기준을 나타낸 것이다. 대략적인 노출량을 추정하기 위해 카페의 하루 원두 사용량이 1.5~2 kg이며, 판매를 위해 로스팅을 6회 연속으로 진행하고, 나머지 시간동안은 대구시 인근 도시 대기 중 미세먼지에 노출된다고 가정한 후에 시간가중평균농도(time-weighted average, TWA)로 변환하여 환경부 PM₁₀ 일평균 기준치 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 기준)과 비교하였다. 도시 대기 중 미세먼지의 농도는 대구시 도시대기측정망에서 2019년 9월부터 11월 사이에 관측된 미세먼지의 평균농도를 참고하였다(에어코리아 2019).

로스팅 레벨이 가장 높은 풀시티 로스트가 1,045 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 농도가 가장 높았으며, 로스팅 레벨이 낮은 시나몬 로스트가 269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 농도가 가장 낮았다.

Table 14. Comparison of PM₁₀ mass concentration between exposure levels of workers in roastery cafe and air quality standards by roasting level

Level	Roastery cafe		Ambient		TWA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Standard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^{d)}
	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Time (hr) ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^{b)}	Time (hr) ^{c)}		
Cinnamon	242	3	30	21	269	100
Medium	330	3	30	21	356	100
City	483	3	30	21	494	100
Full city	988	3	30	21	1,045	100

^{a)}The time required during roasting for six consecutive times.

^{b)}PM₁₀ average concentrations for urban air monitoring network in Daegu from September to November, 2019.

^{c)}The remaining time except for roasting time.

^{d)}Air quality standards for PM₁₀ from Ministry of Environment in Korea.

3.8.2 PM_{2.5} 질량 농도 비교

표 15는 로스팅 레벨에 따른 로스터리 카페 노동자의 PM_{2.5} 노출수준과 대기환경기준을 나타낸 것이다. 대략적인 노출량을 추정하기 위해 카페의 하루 원두 사용량이 1.5~2 kg이며, 판매를 위해 로스팅을 6회 연속으로 진행하고, 나머지 시간동안은 대구시 인근 도시 대기 중 미세먼지에 노출된다고 가정 한 후에 시간가중평균농도(time-weighted average, TWA)로 변환하여 환경부 PM₁₀ 일평균 기준치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 기준)과 비교하였다. 도시 대기 중 미세먼지의 농도는 대구시 도시대기측정망에서 2019년 9월부터 11월 사이에 관측된 미세먼지의 평균농도를 참고하였다(에어코리아 2019).

로스팅 레벨이 가장 높은 폴시티 로스트가 1,019 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 농도가 가장 높았으며, 로스팅 레벨이 낮은 시나몬 로스트가 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 농도가 가장 낮았다.

Table 14. Comparison of PM_{2.5} mass concentration between exposure levels of workers in roastery cafe and air quality standards by roasting level

Level	Roastery cafe		Ambient		TWA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Standard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^{d)}
	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Time (hr) ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^{b)}	Time (hr) ^{c)}		
Cinnamon	246	3	16	21	260	35
Medium	327	3	16	21	341	35
City	480	3	16	21	479	35
Full city	975	3	16	21	1,019	35

^{a)}The time required during roasting for six consecutive times.

^{b)}PM_{2.5} average concentrations for urban air monitoring network in Daegu from September to November, 2019.

^{c)}The remaining time except for roasting time.

^{d)}Air quality standards for PM_{2.5} from Ministry of Environment in Korea.

4. 고찰

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 PM_{10} 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 PM_{10} 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 PM_{10} 농도도 높아지는 경향을 보였다. Zhang 등(2010)의 연구에서 치킨 프라이 조리 시 발생하는 $PM_{2.5}$ 와 UFP(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 경향이 있었다. 또한, Buonanno 등(2009)은 50g의 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 PM_{10} 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 PM_{10} 농도도 높아지는 경향을 보였다. 100 g 투입하되 높은 레벨의 로스팅 한 결과와 200 g 투입하되 낮은 레벨의 로스팅한 결과를 비

교해보면, 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 PM_{10} 질량 농도가 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 이윤규(2016)의 고등어 구이 및 계란후라이 조리 시 조리종료 후 $PM_{2.5}$ 의 질량농도가 급격하게 증가한 연구결과와 같은 경향을 보였으며, Zhang 등 (2010)에서 치킨 프라이 조리 시 발생하는 $PM_{2.5}$ 의 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, $2.5\ \mu m$ 이하의 입경에서 PM_{10} 질량농도의 대부분을 차지하였다. 요인별로 비교해보면, 생두 원산지의 경우 $0.3\text{--}2.5\ \mu m$ 입경 범위에서의 질량농도가 PM_{10} 의 약 98%를 차지하였고, 로스팅 레벨의 경우 $0.3\text{--}2.5\ \mu m$ 입경 범위에서의 질량농도가 PM_{10} 의 약 99%를 차지하였다. 또한, 생두 투입량의 경우에서도 $0.3\text{--}2.5\ \mu m$ 입경 범위에서의 질량농도가 PM_{10} 의 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 $0.3\text{--}1.0\ \mu m$ 입경 범위는 PM_{10} 수농도의 약 91%, $1.0\text{--}2.5\ \mu m$ 입경범위는 PM_{10} 수농도의 약 9%를 차지하였다. 로스팅 레벨의 경우 $0.3\text{--}1.0\ \mu m$ 입경범위는 PM_{10} 수농도의 약 97%를 차지하였고,

1.0-2.5 μm 입경범위는 PM_{10} 수농도의 약 4%를 차지하였다. 생두 투입량의 경우 0.3-1.0 μm 의 입경 범위는 PM_{10} 수농도의 약 96%, 1.0-2.5 μm 의 입경 범위는 PM_{10} 수농도의 약 4%를 차지하였다. 이는 Fluckiger 등(2000) 기존의 연구에서 카레 조리 시 0.75-1.0 μm 의 입경 범위에서 가장 많은 수의 입자가 발생 된다는 결과와 일치한다. 또한, 김성미 등(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.

공성용과 배현주(2013)는 $\text{PM}_{2.5}$ 및 $\text{PM}_{1.0}$ 과 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, UFP(ultrafine particle, UFP)은 공기역학적 직경이 100 nm 이하인 아주 미세한 입자를 말하며, 흡입 시 폐에 염증 및 혈관에 혈전증을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다. Zhang 등(2010)은 요리가 가정에서 UFP 발생에 중요한 원인이며, 치킨 프라이 조리 시 주방의 UFP 농도는 최대 550배까지 증가할 수 있다 하였다. Wan 등(2011)은 중국식 튀김 요리 시 발생하는 UFP는 전체 미세먼지 수농도의 80% 이상 차지한다고 하였다. Wang 등(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.

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. 실제 로스터리 카페에서 발생하는 미세먼지의 농도를 대략 추정하였을 때, 로스팅 레

벨에 따른 PM_{10} 의 평균농도는 모든 레벨에서 기준치 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)를 초과하였지만, 그중 로스팅 레벨이 가장 높은 풀시티에서 기준치의 약 34.5배로 가장 높게 나타났다. 로스팅 레벨에 따른 $PM_{2.5}$ 의 평균농도 또한 모든 레벨에서 기준치 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)를 초과하였지만, 그중 로스팅 레벨이 가장 높은 풀시티에서 기준치의 약 63.7배로 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 로스팅 작업자가 고농도의 미세먼지에 노출될 수 있음을 보여준다.

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. 또한, 개인 시료가 아닌 지역 시료를 이용한 실험이었으므로 명확한 노출량을 추정하는 것은 한계가 있다. 따라서 실제 로스터리 카페에서 로스팅 작업자를 대상으로 한 미세먼지의 노출평가 및 위험성을 파악하기 위한 추후 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 공성용, 배현주. 초미세먼지(PM_{2.5})의 건강영향 평가 및 관리정책. 한국환경정책평가연구원. 2013.
<http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201800042248> [2019년 9월 2일 검색].
- 관세청. 커피 수입, 매년 최고치 경신(보도자료). 2017.
http://www.customs.go.kr/kcshome/cop/bbs/selectBoard.do?layoutMenuNo=294&bbsId=BBSMSTR_1018&nttId=3899 [2019년 8월 5일 검색].
- 권우택, 이우식. 조리실내의 유해오염물질 제거율에 관한 연구. **한국조리학회지** 2016; 22(8): 149 - 56.
- 김상은, 김종환, 이상원, 이문조. 로스팅 정도에 따른 원두커피의 벤조피렌 함량 연구. **한국식품영양과학회지** 2013; 42(1): 134-138.
- 김성미, 이임학, 이경빈, 김진식, 권명희. 고등어 조리 시 발생하는 미세먼지의 입경 분석. **한국대기환경학회지** 2017; 33(4): 361 - 69.
- 김성혜, 김주신. 로스팅 조건 변화에 따른 커피 추출액의 화학성분 및 관능 특성. **한국조리학회지** 2017; 23(5): 1 - 11.
- 김정호, 오준, 최진수, 안준영, 윤관훈, 박진수. 중량법에 의한 광산란법 보정(PM_{2.5}). **한국도시환경학회지** 2014; 14(1): 161.
- 남혜정, 서일원, 신한승. 원두커피의 로스팅 조건이 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 생성에 미치는 영향. **한국식품과학회지** 2009; 41(4): 362 - 68.
- 농림축산식품부. 2016 가공식품 세분시장 현황. 한국농수산물유통공사. 2016.
<https://www.atfis.or.kr/article/M001050000/view.do?articleId=2511&boardId=3&page=7&searchKey=&searchString=&searchCategory=>
 [2019년 8월 12일 검색].

- 백희준, 고영수. 배전 및 원두 커피의 향기성분. **한국식품과학회지**. 1996; 28(1). 15-18.
- 에어코리아. 대구광역시 실시간 대기정보. 인천: 한국환경공단. 2019.
<http://www.airkorea.or.kr/realsearch> [2019년 11월 26일 검색].
- 우인애, 박미영. **바리스타를 위한 커피 입문서**. 과주: 교문사. 2014.
- 이기태. 소비 가치에 따른 군집별 커피 전문점 선택 속성 차이에 관한 연구. 석사학위논문, 경희대학교 관광대학원. 2012.
- 이명구, 정명진, 강민지. 주방 조리시 미세먼지(PM_{2.5}) 배출 특성과 관리방안. **국제문화기술진흥원** 2018; 1(2): 325 - 29.
- 이복진, 박승식. 중량선과 베타선 흡수법을 이용한 온라인 광산란 미세먼지 측정기의 PM₁₀과 PM_{2.5}의 정확도 평가. **한국대기환경학회지** 2019; 35(3): 357 - 69.
- 이윤규. 공동주택에서 주방조리시 발생하는 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 특성 및 관리방안. **한국공기청정협회** 2016; 29(1): 19 - 31.
- 이준복, 김홍주, 정권, 김신도. Hood Method를 이용한 직화구이 음식점의 미세먼지 배출 특성 **한국환경보건학회지** 2009; 35(4): 315 - 21.
- 임준현, 장영기, 최상진, 김필수, 한용희, 이종철. 커피 로스터의 대기오염물질 배출량 측정. **한국대기환경학회지** 2017; 168.
- 전광수. **전광수의 커피 로스팅**. 서울: 아이비라인. 2001.
- 조현정, 박성우, 이희일, 이상원. 미세먼지의 건강영향과 건강보호 수칙. 질병관리본부. 주간 건강과 질병. 2018; 11(15): 458-459.
- 진양호, 류지원. 커피서비스품질이 고객만족을 매개로 재방문의도에 미치는 영향. **외식경영학회지** 2012; 15(5): 321-342.
- Aguilar PR, Michelson AP, Isakow WND. Obliterative bronchiolitis. *Transplantation* 2016; 100: 272-283
- Balasubramanian R, Lee SS. Characteristics of indoor aerosols in residential homes in urban locations: a case study in Singapore. *Journal of Air & Waste Management Association* 2007; 57: 981-990.

- Brook RD, Rajagopalan S, PopeIII CA, Brook JR, Bhatnager A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, SmithJr SC, Whitsel L, Kaufman JD. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. *Circulation* 2010; 121: 2331-2378.
- Buonanno G, Morawska L, Stablie L. Particle emission factors during cooking activities. *Atmospheric Environment* 2009; 43: 3235-3242.
- Dennekamp M, Howarth S, Dick CAJ, Cherrie JW, Donaldson K, Seaton A. Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occupational and Environmental Medicine* 2001; 58: 511-516.
- 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.
- Hussein T, Glytsos T, Ondracek J, Dohanyosova P, Zdimal V, Hameri K, Lazaridis M, Smolik J, Kulmal M. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atomspheric Environment* 2006; 40: 4285-4307.
- International Agency for Reasearch 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].
- Kearney J, Wallace L, MacNeil M, Xu X, VanRyswyk K, You H, Kulka R, Wheeler AJ. Residential indoor and outdoor ultrafine particles

- in Windsor, Ontario. *Atmospheric Environment* 2011; 45: 7583–7593.
- Massey D, Kulshrestha A, Masih J, Taneja A. Seasonal trends of PM₁₀, PM_{5.0}, PM_{2.5} & PM₁₀ in indoor and outdoor environments of residential homes located in northcentral India. *Build and Environment*. 2012; 47: 223–231.
- U.S. 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].
- U.S. Environmental Protection Agency. PM_{2.5} Objectives and history. region 4: laboratory and field operations–PM_{2.5}. 2008.
- 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. *Environmental Science and Technology*. 2008; 42(23): 8641–8647.
- Wallace L, Ott W. Personal exposure to ultrafine particles. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2011; 21: 20–30.
- Wan PM, Wu LC, To SGN, Chan TC, Chao CYH. Ultrafine particles, and PM_{2.5} generated from cooking in homes. *Atmospheric Environment* 2011; 34: 6141 – 48.
- Wang L, Xiang Z, Stevanovic S, Ristovski Z, Salimi F, Gao J, Wang H, Li L. Role of chinese cooking emissions on ambient air quality and human health. *Science of the Total Environment* 2017; 589: 173–181.
- Wheeler AJ, Wallace LA, Kearney J, Van RR, You H, Kulka R, Brook JR, Xu X. Personal, indoor, and outdoor concentrations of fine and

- ultrafine particles using continuous monitors in multiple residences. *Aerosol Science and Technology* 2010; 45: 1078-1089.
- 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. *Environmental Research and Public Health* 2010; 7: 1744-1759.

A Study on the Characteristics of Particulate Matter(PM) Generated during the Operation of a Small Directly Fired Coffee Roaster

Yu, Da Eun

Department of Public Health

Graduate School

Keimyung University

(Supervised by Professor Kim, Seung Won)

(Abstract)

The International Agency for Research on Cancer(IARC) has classified particulate matter as a Class 1 carcinogen. The purpose of this study was to evaluate the concentrations of particulate matter generated during coffee roasting.

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. OPS is measured 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.

The results of this study may be summarized as follows:

1. There was no difference in particulate matter concentration levels by the origins of green beans, but statistically significant difference in concentration levels by roasting level and the input amount of green beans. The higher roasting level was, the higher particulate matter concentration was. And the more green beans in the roaster we put, the higher concentrations were.
2. The PM_{10} 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 .

In conclusion, 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.

소형 직화식 커피 로스터 이용 시 발생하는 미세먼지 특성

연구

유 다 은

계명대학교 대학원

공중보건학과

(지도교수 김 승 원)

(초록)

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 요인으로는 생두의 원산지, 로스팅 레벨, 투입량을 조사하였다.

총 측정횟수는 58회 실시하였으며, 요인별로는 원산지별 한 세트에 5회씩 반복하여 총 25회, 로스팅 레벨별 한 세트에 6회씩 반복하여 총 24회, 생두의 투입량별 한 세트에 3회씩 총 9회 측정하였다. 시료 채취 장소는 밀폐된 실험실에서 실시하였으며, 측정 시 에어컨 및 환풍기를 작동하지 않았다. 채취 방법은 광산란식 측정기인 Optical Particle Sizer(OPS)를 사용하였으며, 중량법과 비교하여 보정해주었다. 채취 시간은 1분 간격으로 60분 동안 측정하였다. 측정값은 예열을 포함한 배경농도 값을 빼주어 실질적으로 로

스팅 시 발생하는 미세먼지 농도 값을 사용하였다.

그 결과 요인별로 비교하였을 때, 생두의 원산지 간의 로스팅 시 발생하는 PM_{10} 농도 차이는 존재 하지 않았다($p>0.05$). 로스팅 레벨 간의 농도 차이는 존재하는 것으로 나타났으며($p<0.05$), 레벨이 높아질수록 발생하는 PM_{10} 의 농도도 높아지는 경향을 보였다. 생두 투입량 간의 농도 차이는 존재하는 것으로 나타났으며($p<0.05$), 투입량이 많아질수록 발생하는 PM_{10} 농도도 높아지는 경향을 보였다.

시간에 따른 질량농도의 분포는 로스팅 종료 후의 PM_{10} 평균농도가 로스팅 진행 시보다 더 높았다. 요인별로 비교한 경우, 로스팅 종료 후의 평균 농도가 생두의 원산지별로는 약 11배, 로스팅 레벨별로는 약 21배, 생두의 투입량별로는 약 15배 더 높았다. 입경별로 비교한 경우, $2.5\ \mu m$ 이하의 입경이 그 보다 큰 입경에서의 평균 질량농도보다 더 높았다. 입경별 수농도 분포를 조사한 결과 $2.5\ \mu m$ 이하의 입경에서 수농도의 대부분을 차지하였다.

이상의 연구결과를 종합해보면, 커피 로스팅 시 발생하는 미세먼지는 로스팅 레벨이 높은 즉, 고온에서 로스팅하는 경우 그보다 낮은 로스팅 보다 농도가 더 높게 관찰되었으며, 발생 특성은 로스팅 진행 시보다 종료 후의

농도가 더 높으며 이때, 발생하는 입자의 크기는 매우 미세한 것으로 보인다.

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