

Hood Method를 이용한 직화구이 음식점의 미세먼지 배출 특성

이준복 · 김흥주 · 정권 · 김신도^{*†}

서울특별시 보건환경연구원, *서울시립대학교 도시과학대학 환경공학과
(2009. 5. 29. 접수/2009. 6. 17. 수정/2009. 7. 13. 채택)

Emission Characteristics of Particulate Matters from Under-fired Charbroiling Cooking Process using the Hood Method

Jun-Bok Lee · Heung-Joo Kim · Kweon Jung · Shin-Do Kim^{*†}

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

^{*}Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(Received May 29, 2009/Revised June 17, 2009/Accepted July 13, 2009)

ABSTRACT

Under-fired charbroiling cooking processes are known as important contributors of particulate matter (PM). In this study, we characterized the emission of particulate matters from under-fired charbroiling cooking processes using the hood method. Accumulated mass concentration of PM_{10} was 92.2~99.5% and particle size of 2.0~2.5 μm was highest. The concentration of PM increased very sharply at the beginning of charbroiling meats and then gradually decreased as the charbroiling continued. PM concentration also increased very sharply when gravy from meat spilled onto the frame of fire. However, mass concentration during charbroiling using only charcoals was very low compared to that of meats. We estimated the emission factors of charcoal, pork belly and pork shoulder respectively; 0.01~0.02 g/kg, 5.02~6.26 g/kg, 2.86~4.15 g/kg of $PM_{2.5}$, 0.01~0.03 g/kg, 7.44~7.91 g/kg, 4.54~5.56 g/kg of PM_{10} , and 0.02~0.05 g/kg, 7.59~7.95 g/kg, 4.93~5.68 g/kg of TSP. The emission factors of charcoal were negligible and the emission factors of pork belly were higher than that of pork shoulder. Emission rates of particulate matters from under-fired charbroiling cooking process were estimated as 578,009~1,265,152 kg/yr of $PM_{2.5}$, 917,539~1,598,619 kg/yr of PM_{10} and 996,358~1,606,703 kg/yr of TSP. But emission factors should be verified with an in-stack cascade impactor because the reported method involves some assumptions.

Keywords: under-fired charbroiling, particulate matter, emission factor, hood method

I. 서 론

최근 선진국을 중심으로 미세먼지의 건강 위해성 연구 및 규제기준의 강화에 관심이 높아지고 있는데, 이를 위하여 배출목록(Emission inventory)은 중요한 기초 자료로 활용되고 있다. 정확한 배출목록은 대기오염을 저감하기 위한 관련 정책의 신뢰도나 효율성과도 직결되지만 이는 매우 복잡하고 방대하여 아직까지 국내에서는 지역단위나 국가단위의 배출목록을 실질적으로 구축하지 못하고 있는 실정이다.¹⁾

고기 굽는 음식점은 도심에서 미세먼지의 주요 배출원 중 하나이며,^{2,3)} 이차 유기성 에어로졸(SOA: Secondary Organic Aerosols), 유기성 탄소(OC: Organic carbon) 및 무기성 탄소(EC: Elemental carbon)의 주요 생성요인 뿐만 아니라 유해대기오염물질(HAPs: Hazardous Air Pollutants)을 배출하는 것으로 알려져 있다. 특히 직접 화염과 접촉시켜 고기를 굽는 방법(직화구이, Under-fired charbroiling process)은 오염물질 배출량이 가장 많은 것으로 보고되었다.⁴⁾ 그러나 국내에서는 이에 대한 배출목록이 구축되어 있지 않고, 이를 위한 배출계수 역시 개발되어 있지 않은 실정이다.

한편, 국외에서는 음식점의 배출물질에 대한 규제가 이미 이루어지고 있는 곳도 있다. 즉, 캘리포니아주의 SJVUAPCD(San Joaquin Valley Unified Air Pollu-

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, University of Seoul
Tel: 82-2-2210-2771
E-mail : sdkim@uos.ac.kr

tion Control District) Rule 4692,⁵⁾ SCAQMD(South Coast Air Quality Management District) Rule 1138,⁶⁾ BAAQMD(Bay Area Air Quality Management District) Regulation 6, Rule 2⁷⁾ 등 일부 도시에서는 직화구이 음식점의 배출물질을 저감하기 위한 규칙 제정 및 저감방안을 제시하고 있다. 또한 미국 EPA⁸⁾에서는 직화구이 음식점에서 배출되는 PM, PM₁₀, PM_{2.5}, VOCs, PAHs, CO, NOx, SO₂에 관한 배출계수를 개발하여 연간 배출량을 산정하는 배출목록을 구축하였다.

관련한 연구들⁹⁻¹⁴⁾도 다수 있었다. 그러나 음식물을 조리할 때 가정이나 음식점의 실내 공기질에 관한 연구들이 대부분이었고, 배출물질의 특성 및 배출량 등에 관한 자세한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

본 연구는 모형을 직접 제작 후 Hood method를 이용하여 직화구이 음식점에서 고기의 연소 시 발생하는 먼지의 배출특성을 파악하고, 배출계수와 배출량을 추정하였다. 이를 통하여 미세먼지의 오염원 기여도 평가와 대기질 개선 시책 수립에 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 본 연구는 향후 배출계수 개발 및 배출원 목록 작성과 유해물질 정량을 위한 선행연구로써의 의미를 지닌다.

II. 연구방법

고정 오염원에서 배출되는 먼지의 질량을 측정하기 위해서 현재까지는 주로 EPA method 201/202와 EPA method 5G가 적용되었다. 그러나 이 방법들은 측정시간이 길고, 측정을 위한 시료 채취기구 및 공간이 많이 소요되며, 순간적으로 변하는 배출특성과 입경별 먼지 분포를 파악하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 적용하기 어려울 것으로 판단되었다. 따라서 기기의 크기가 작아 이동이 용이하고, 순간적인 측정이 가능하며, 입경별 질량농도의 측정이 가능한 광산란 측정법을 적용하였다.

1. 모형

본 연구에서는 고기 굽는 모형 위에 후드를 설치하여 측정하는 방법인 Hood method를 적용하였다. Hood method는 요리 기구 위에 후드 등을 설치하여 배출가스를 흡입함으로써 배출가스를 포집할 수 있게 하는 방법으로 비교적 적은 가격으로 간단하게 배출가스를 측정할 수 있는 방법이다.¹⁵⁾ 그러나 이 방법은 요리기구를 기계적으로 흡입하는 공기의 흐름이 연소 특성을 변화시킬 가능성과 후드의 틈 사이로 연소 생성물의 일부가 누출될 가능성이 문제점으로 지적되어 왔으나, 흡

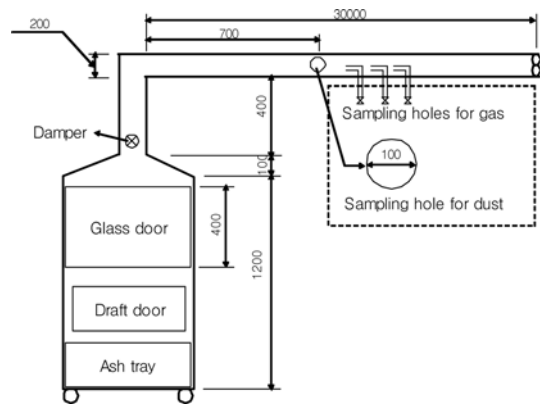


Fig. 1. Drawing of the pilot plant for under-fired charbroiling process (unit : mm).

입속도가 높을 경우 가장 신뢰성 있는 방법이다.¹⁶⁾

Fig. 1은 Hood method를 적용하기 위하여 직접 제작한 모형이다. 모형은 주로 숯을 넣는 부분, 그릴 위에서 고기를 굽는 부분, 후드 및 덕트로 구성되어 있다. 숯과 그릴, 고기는 유리문을 열어서 삽입, 제거할 수 있도록 하였다. 덕트에는 먼지 측정을 위하여 덕트 직경 200 mm의 3배 이상 직관이 유지되는 지점에 시료 채취구를 설치하였고, 가스상 물질 측정을 위하여 3개의 시료 채취구를 밸브와 함께 설치하였다. 또한 4.0~5.0 m/sec로 일정한 유속을 유지하기 위하여 Damper를 덕트 전반부에 설치하였고, 덕트의 끝 부분에는 흡입 팬(induced fan)을 설치하였다. 한편, 모형 전면에는 유리문을 부착하였는데, 고기가 구워지는 동안 이 유리문을 닫아 배출물질의 누출을 최소화함과 동시에 육안으로 고기가 구워지는 모습을 보면서 순간적인 측정치의 경향을 파악할 수 있도록 하였다.

2. 측정방법

본 연구를 위하여 시중 대형 할인마트에서 돼지 삼겹살과 목살을 구매하여 미리 저울에 칭량 후 모형의 그릴 위에 올려놓고 고기가 까맣게 탈 때까지 측정하였다. Fig. 2는 모형에서 측정하는 사진들이다.

측정기기는 광산란법을 이용하여 32 채널(0.25~32 μm (31 channels), >32 μm)의 먼지입경을 측정할 수 있는 Grimm 1.109(Portable dust monitor, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 활용하였다. 기기의 측정주기는 6초, 측정유량은 1.2 l/min로 하였고, C-factor(C-factor = 칭량한 필터의 무게/기기에 의한 이론적 필터의 무게)는 '1'로 가정하였다.

한편, 등속흡인을 위하여 Grimm 1.152(Isokinetic



Fig. 2. Pictures on measurement of emissions.

channel probe, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 사용하였다. 이는 유속에 적합한 노즐을 선택하여 먼지의 등속흡인을 가능하게 하는 probe로써 본 연구에서는 흡입 팬(induced fan)을 이용하여 유속을 4.0~5.0 m/sec으로 유지하였고, 이에 적합한 ID 2.0 mm의 노즐을 사용하였다. 이때의 흡입 팬의 풍량은 덕트의 직경이 200 mm이므로 0.13~0.16 m³/sec을 유지하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 입경분포

Fig. 3은 돼지 삼겹살(Pork #1, Pork #2)과 돼지 목살(Pork #3, Pork #4, Pork #5)에 대한 먼지의 누적 입경분포와 입경별 질량농도 분포를 보여주고 있다. 돼지 삼겹살과 목살은 먼지의 누적 입경분포가 각각 유사한 경향을 보였는데, 이는 Lee¹⁷⁾의 연구결과와 일치하였다. 즉, 직화구이 음식점의 먼지 누적 입경분포는

육종과 무관하게 각각 유사한 값을 보임을 시사한다. 한편, 먼지의 입경별 질량 농도는 PM₁₀이 총 배출된 먼지 중 92.2~99.5%를 차지하였고, 그 중 먼지 입경 1.3~3.5 μm에서 먼지농도가 높았으며, 특히 2.0~2.5 μm의 입경에서 가장 높은 농도를 보였다.

PM_{2.5}/PM₁₀의 비율 Table 1에서 나타내고 있는데, 본 연구에서는 0.63~0.78로 Lee 등⁹⁾의 한국형 바비큐 음식점(Korean barbecue restaurants) 실내에서 0.81 및 Lee¹⁷⁾의 0.8보다 약간 낮은 수준이고, 2008년 서울시 도시 대기의 연평균 비인 0.47보다 높은 수준이었다. 이를 통하여 직화구이 음식점에서 배출되는 먼지 중 PM_{2.5}가 차지하는 비율은 일반 도시대기보다 높은 수준인 것으로 판단된다.

위의 결과들은 최근 1차 오염물질 이외에 2차 오염물질이 대기질을 악화시키는 주요 인자로 주목받고 있으며, 2차 오염물질들은 PM_{2.5} 농도와 밀접한 관련이 있기 때문에 직화구이 음식점에서 배출되는 먼지를 저

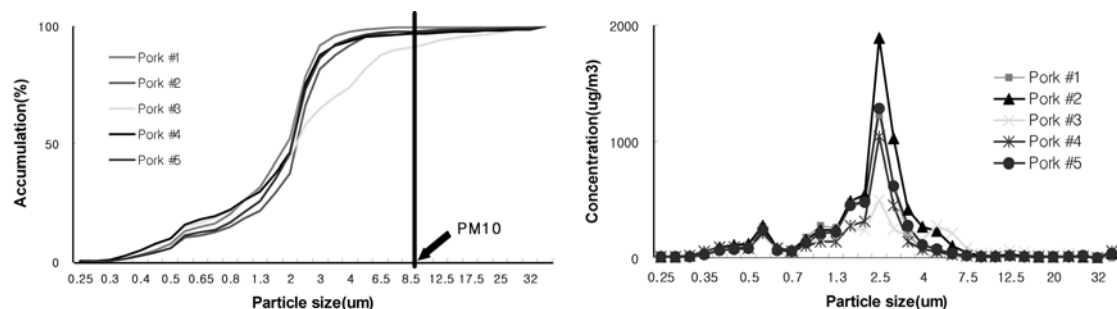


Fig. 3. Size distribution of particulate matter.

Table 1. The concentrations and ratios of PM_{2.5} and PM₁₀

	Pork #1	Pork #2	Pork #3	Pork #4	Pork #5	Lee ⁹⁾	Seoul (2008)
PM _{2.5} (μg/m ³)	3,666	4,383	2,104	2,718	3,420	1,167	26
PM ₁₀ (μg/m ³)	4,628	6,498	3,340	3,493	4,577	1,442	55
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.79	0.67	0.63	0.78	0.75	0.81	0.47
n	317	312	368	356	287	-	-

감하는 것은 도시의 대기질 개선에 크게 기여할 수 있음을 시사한다. 또한 직접적인 배출과 광화학 과정을 통해 생성되는 미세먼지는 인체 유해성이 커서 미국, 유럽연합(EU)에서는 관리를 강화하기 위하여 대기환경 기준항목을 PM_{10} 에서 $PM_{2.5}$ 로 바꾸어 시행하고 있으며,¹⁸⁾ 국내에서도 최근 $PM_{2.5}$ 에 대한 대기환경기준의 신규 설정을 검토 중에 있다. 따라서 본 연구의 결과는 주로 $PM_{2.5}$ 로 배출되는 직화구이 음식점의 먼지 배출량을 줄이기 위한 방지시설 설치 지침 수립 등 향후 신규 설정될 $PM_{2.5}$ 의 기준을 준수하기 위한 정책 수립에 좋은 기초자료가 될 것으로 판단된다.

2. 고기 굽는 시간별 먼지 농도 경향

고기를 굽는 과정에서 배출되는 먼지 입경별 질량 농

도를 6초 단위로 Fig. 4에 나타내었다. 먼지의 농도는 굽는 고기의 양에 따라 차이는 있었지만, 전반적으로 고기를 굽는 초기 과정에 급격히 높아진 후 계속적으로 고기가 구워지면서 완만하게 낮아지다가 완전히 구워졌을 때 급격히 낮아졌다. Fig. 4(a)는 고기를 굽는 동안 유리문을 열지 않고 측정한 시간별 먼지 농도의 경향이고, Fig. 4(b)~(e)는 고기를 뒤집기 위하여 모형 전면의 유리문을 열고 닫았을 때 농도 경향을 나타내었다. 이 경우 유리문을 열었을 때 먼지의 농도가 급작스럽게 낮아졌다 유리문을 닫으면 다시 회복되는 경향을 보였는데, 그 이유는 유리문을 열 때 모형 주위의 외부 공기가 모형 안으로 다량 유입되어 농도의 희석이 이루어 졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한 고기로 부터 흘러내린 육즙이 숯불의 화염에 떨어져 직접 접

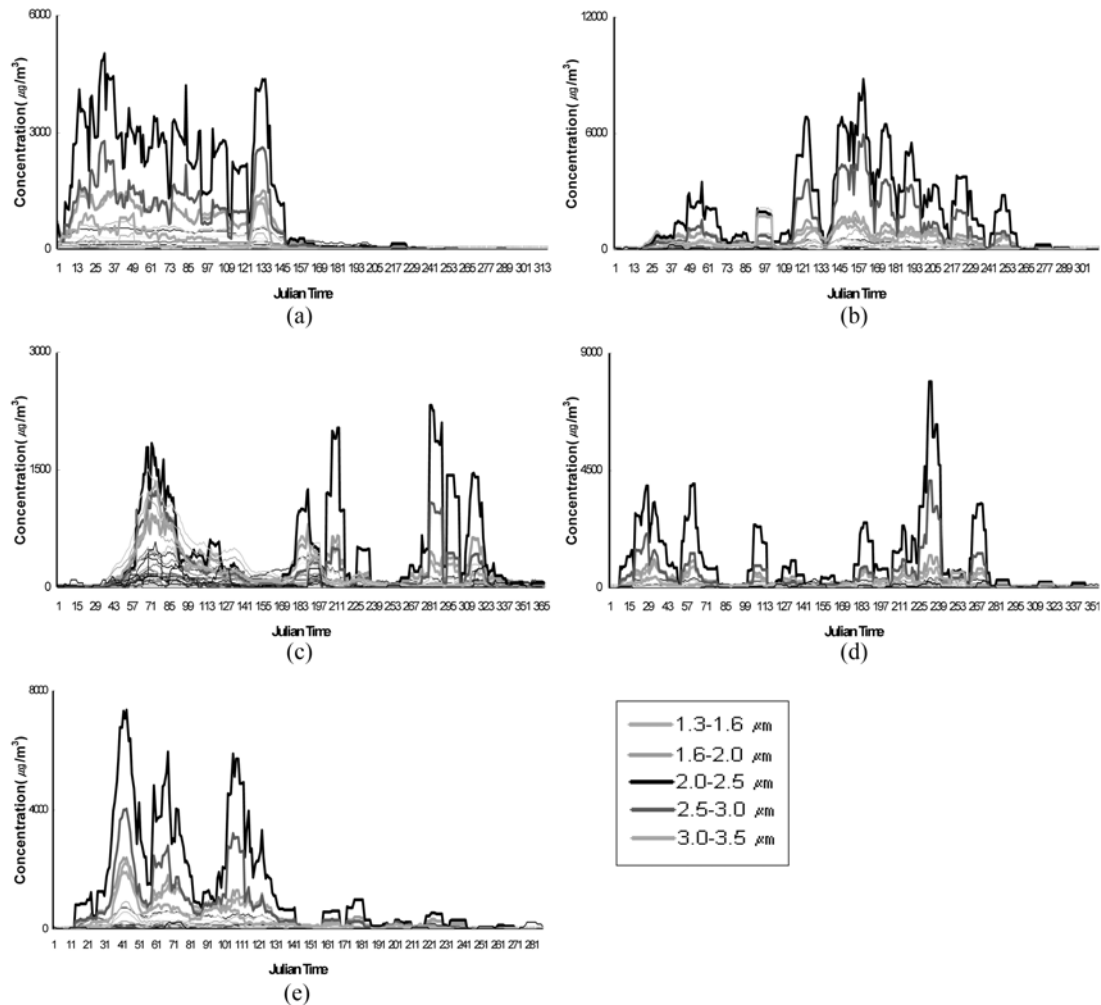


Fig. 4. Mass size distributions of particulate matter by time; (a)~(e) : pork #1~pork #5.

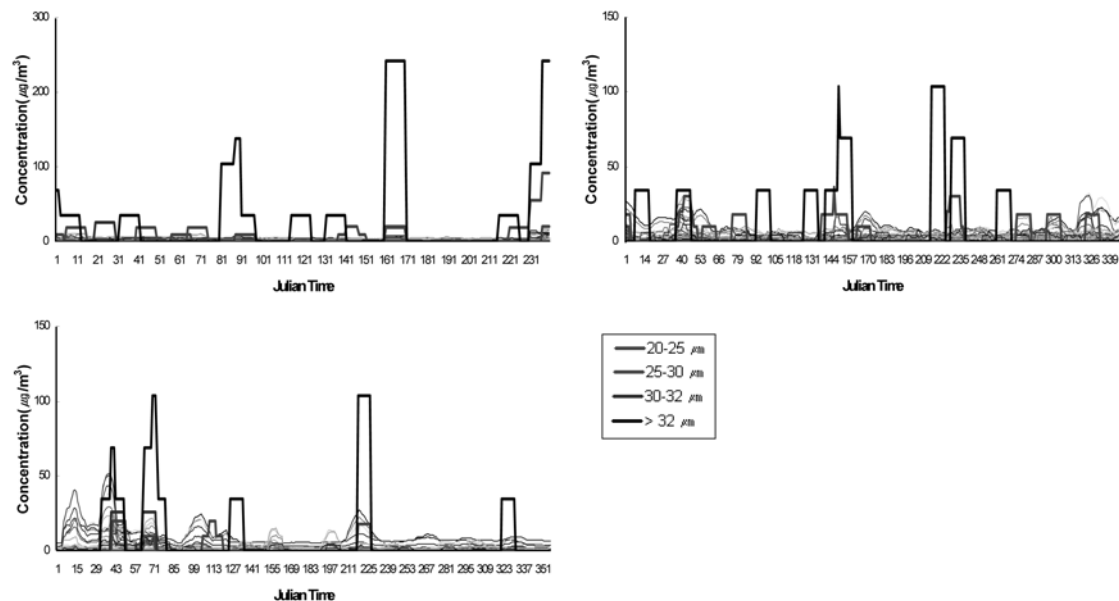


Fig. 5. Mass size distributions of charcoal by time.

축할 때 육안으로도 확연히 식별이 가능한 다량의 연기가 발생되면서 $2.5\ \mu\text{m}$ 이하의 먼지 농도가 급격히 상승하는 현상이 반복되었다. 이를 통하여 고기의 기름이 연소하면서 발생하는 연기는 주로 $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

한편, 먼지 입경별 질량농도는 고기가 구워지는 과정과 무관하게 $2.0\sim 2.5\ \mu\text{m} > 2.5\sim 3.0\ \mu\text{m} > 1.6\sim 2.0\ \mu\text{m} > 1.3\sim 1.6\ \mu\text{m} > 3.0\sim 3.5\ \mu\text{m}$ 의 순으로 높은 수치를 보였다.

고기를 굽지 않고 숯만 연소하는 과정에 발생하는 먼지 입경별 질량 농도 경향을 Fig. 5에 나타내었다. 숯의 연소과정은 고기를 굽는 과정과 확연히 구별되었는데, 연소과정 초기부터 말기까지 $32\ \mu\text{m}$ 이상의 입경의 먼지를 제외한 모든 먼지 입경별 질량 농도는 현저히 낮았다. 단, 숯 덩어리에서 분리된 미세한 숯 가루가 화염에 떨어져 툭툭 떨어질 때 먼지 입경 $32\ \mu\text{m}$ 이상의 질량 농도만 급격히 상승 및 하강을 반복하는 경향을 보였다. 그러나 그 농도는 역시 고기를 굽는 과정에서 발생된 먼지의 농도와 비교하여 현저히 낮은 수준이었다.

3. 배출계수 및 배출량 추정

숯, 돼지 삼겹살, 돼지 목살의 배출계수는 아래의 식을 이용하여 계산하였다. 즉, 측정기기에서 측정된 입경별 농도인 $C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 에 배출 통풍량인 $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ 를 곱하여 배출율(emission rate)을 구한 후 시료채취시간

을 곱하고 미리 칭량한 고기의 무게(Wt)로 나누어 줌으로써 배출계수를 산출하였다.

$$\text{배출계수}(\text{g/kg}) = C(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times Q(\text{m}^3/\text{sec}) \times \text{시료채취시간}(\text{min}) \times 60(\text{sec}/\text{min}) \times 10^{-6}(\text{g}/\mu\text{g}) / \text{Wt}(\text{kg})$$

산출결과 숯, 삼겹살, 목살의 배출계수는 Table 1에 나타내었다. $\text{PM}_{2.5}$ 가 각각 $0.01\sim 0.02\ \text{g/kg}$, $5.02\sim 6.26\ \text{g/kg}$, $2.86\sim 4.15\ \text{g/kg}$, PM_{10} 은 각각 $0.01\sim 0.03\ \text{g/kg}$, $7.44\sim 7.91\ \text{g/kg}$, $4.54\sim 5.56\ \text{g/kg}$ 이며, TSP는 각각 $0.02\sim 0.05\ \text{g/kg}$, $7.59\sim 7.95\ \text{g/kg}$, $4.93\sim 5.68\ \text{g/kg}$ 으로 추정되었다. 숯의 배출계수는 돼지 삼겹살과 목살의 배출계수에 비하여 매우 낮은 수치를 보였는데, Lee¹⁷⁾ 역시 먼지의 대부분은 고기의 연소과정에서 배출되며, 연료(숯)는 먼지 배출량에 큰 영향을 미치지 않는다고 하였다. 한편, 돼지 삼겹살의 배출계수는 돼지 목살의 배출계수보다 약간 높은 수치를 보였다.

이는 Pechan⁴⁾의 소고기 직화구이 시 배출계수 $\text{PM}_{2.5}$ $7.1\ \text{g/kg}$, PM_{10} $7.5\ \text{g/kg}$, TSP $8.1\ \text{g/kg}$ 과 비교하였을 때 차이를 보였는데, 측정방법과 육종의 차이 및 고기 중에 함유되어 있는 기름의 양 차이에 의한 것으로 판단된다. 측정방법의 경우 Pechan⁴⁾은 dilution sampling techniques을 이용하였는데, 이 방법은 Hildemann 등¹⁹⁾이 개발한 것으로 고정 오염원의 배출가스를 희석공기를 사용하여 일반 대기화하여 측정하는 방법이다. 이 방법은 희석배수와 온·습도 조절의 어려움, 배출되는

Table 2. Emission factors of charcoal and pork(g/kg)

	v (m/sec)	Q (m ³ /sec)	C (μg/m ³)			Emission rate (μg/sec)			Weight (g)	Sampling time (min)	Emission factor (g/kg)		
			PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP			PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP
Charcoal #1	4.2	0.13	34.9	60.2	108.7	4.6	7.9	14.3	1066	23	0.01	0.01	0.02
Charcoal #2	4.1	0.13	64.3	106.1	162.6	8.3	13.7	20.9	942.5	36	0.02	0.03	0.05
Charcoal #3	4.3	0.14	70.8	90.2	107.9	9.6	12.2	14.6	862.6	35	0.02	0.03	0.04
Pork belly #1	4.4	0.14	3665.8	4627.9	4651.9	506.5	639.4	642.7	150.4	31	6.26	7.91	7.95
Pork belly #2	4.5	0.14	4382.9	6497.6	6623.8	619.3	918.1	935.9	229.4	31	5.02	7.44	7.59
Pork shoulder #1	4.2	0.13	2103.6	3340.2	3621.5	277.4	440.5	477.6	192	33	2.86	4.54	4.93
Pork shoulder #2	4.3	0.14	2717.9	3493.3	3603.1	367.0	471.7	486.5	200	35	3.85	4.95	5.11
Pork shoulder #3	4.7	0.15	3419.6	4576.9	4675.7	504.7	675.5	690.0	204.1	28	4.15	5.56	5.68

※With the assumption that particle shape is sphere and particle density is 1 g/cm³.

먼지 입자의 특성이 정확하게 파악되지 않는 한 적용하기 어렵고, 측정을 위한 공간이 많이 소요되기 때문에 국내에서는 고정 오염원의 배출계수 개발 및 배출량 산정에서는 일반적으로 적용되지 않는 방법이다.

돼지 삼겹살과 목살의 직화구이 과정에서 추정된 배출계수를 이용하여 국내 직화구이 음식점의 먼지 배출량을 추정하였다. 국내 음식점에서의 돼지고기 소비량은 2007년 기준으로 202,101 ton/yr(돼지고기 연간 소비량 931,339 ton×21.7%(요식업 점유율))²⁰⁾이었다. 이는 요식업에서 조리방법이 다양하나 직화구이에 의해 소비되는 양에 관한 통계를 구할 수 없어서 요식업 점유율인 21.7%를 연간 돼지고기 소비량에 곱하여 산출하였다. 따라서 PM_{2.5}, PM₁₀, TSP의 연간 배출량은 578,009~1,265,152 kg/yr, 917,539~1,598,619 kg/yr, 996,358~1,606,703 kg/yr로 각각 산출되었다.

본 연구의 배출계수의 추정에는 몇 가지 가정이 존재한다. 즉, 먼지는 구형입자이며, 밀도가 1 g/cm³를 가정하였다. 그러나 입자상 물질은 각 입경별로 입자를 구성하는 성분이 달라 입경별 밀도 차이가 있으므로, 본 연구의 입경별 질량 농도가 과대 또는 과소 평가될 수 있다. 실제로 김 등²¹⁾은 서울시 미세먼지의 입경별 밀도 추정식을 산출한 바 있다. 따라서 in-stack cascade impactor를 이용하여 광산란법의 먼지 입경별 질량 농도와 비교함으로써 추정된 배출계수의 검증이 필요하다고 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 광산란법을 이용하여 돼지 삼겹살과 목살의 직화구이 시 먼지의 입경별 농도 분포, 고기가 구워지는 과정에서 시간별 먼지 농도 경향을 평가하였

고, 배출계수 및 배출량을 추정하였다.

돼지 삼겹살과 목살은 먼지 분포가 육종과 무관하게 각각 유사한 경향을 보였다. 먼지의 입경별 질량 농도는 PM₁₀이 총 배출된 먼지 중 92.2~99.5%를 차지하였고, 1.3~3.5 μm의 입경 범위에서 먼지농도가 높았으며, 특히 2.0~2.5 μm의 입경에서 가장 높은 농도를 보였다. 또한 PM_{2.5}/PM₁₀의 비는 0.63~0.78로 서울시 도시대기의 PM_{2.5}/PM₁₀의 비보다 높은 수치를 보여 PM_{2.5}가 차지하는 비율이 높았다.

고기가 구워지는 과정에서 배출되는 먼지 입경별 질량 농도는 초기에 급격히 상승한 후 계속적으로 고기가 구워지면서 완만하게 감소하다 고기가 완전히 구워졌을 때 급격히 하락하였다. 반면 고기를 뒤집기 위하여 모형 전면의 유리문을 개폐 시에는 농도가 급격히 감소 후 다시 회복되었다. 또한 고기의 육즙이 숯불의 화염에 떨어져 직접 접촉할 때 PM_{2.5} 이하의 먼지의 농도가 급격히 상승하는 경향이 반복되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

한편, 먼지 입경별 질량농도는 고기가 구워지는 과정과 무관하게 2.0~2.5 μm > 2.5~3.0 μm > 1.6~2.0 μm > 1.3~1.6 μm > 3.0~3.5 μm의 순으로 높은 수치를 보였다.

숯, 삼겹살, 목살의 배출계수는 PM_{2.5}가 각각 0.01~0.02 g/kg, 5.02~6.26 g/kg, 2.86~4.15 g/kg, PM₁₀은 각각 0.01~0.03 g/kg, 7.44~7.91 g/kg, 4.54~5.56 g/kg이며, TSP는 각각 0.02~0.05 g/kg, 7.59~7.95 g/kg, 4.93~5.68 g/kg으로 추정되었다. 또한 숯의 배출계수는 돼지 삼겹살 및 목살의 배출계수에 비하여 매우 낮은 수치를 보였고, 돼지 삼겹살의 배출계수는 돼지 목살의 배출계수보다 약간 높은 수치를 보였다. 이를 근거로 국내 직화구이 음식점의 연간 먼지 배출량은 연간 배출량은 PM_{2.5} 578,009~1,265,152 kg/yr, PM₁₀ 917,539~

1,598,619 kg/yr, TSP 996,358~1,606,703 kg/yr로 각각 산출되었다.

본 연구에서 추정된 배출계수는 먼지는 구형입자이며, 밀도가 1 g/cm^3 를 가정하여 산출된 값으로 시료 채취량을 늘려서 In-stack cascade impactor를 이용한 검증이 향후 수행될 예정이다.

참고문헌

1. Gyeonggi Research Institute : Development of Air Pollutants Emission Inventory System for Gyeonggi-Do, *KEI Research Report 2002-03*, 2002.
2. Cass, G. R. : Organic molecular tracers for particulate air pollution sources. *Trends in Analytical Chemistry*, **17**(16), 356-366, 1998.
3. James J. Schauer, Wolfgang F. Rogge, Lynn M. Hildemann, Monica A. Mazurek, Glen R. Cass : Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. *Atmospheric Environment*, **30**(22), 3837-3855, 1996.
4. Pechan : Methods for developing a national emission inventory for commercial cooking process: Technical memorandum, 2003.
5. SJVUAPCD (San Joaquin Valley Unified Air Pollution Control District) Rule 4692. Commercial Charbroiling. Available from : <http://www.arb.ca.gov>. Accessed August 3, 2009.
6. SCAQMD (South Coast Air Quality Management District) Rule 1138. Control of Emissions from Restaurant Operations. Available from : <http://www.arb.ca.gov>. Accessed August 3, 2009.
7. BAAQMD (Bay Area Air Quality Management District) Regulation 6, Rule 2. Commercial Cooking Equipment, Available from : <http://www.baaqmd.gov>. Accessed August 3, 2009.
8. EPA Average Annual Emissions, All Criteria Pollutants Years Including 1970-2001. Available from : <http://www.epa.gov/ttncheil/trends/index.html>. Accessed August 3, 2009.
9. Lee, S. C., Li, W.-M., Chan, L. Y. : Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, **279**, 181-193, 2001.
10. He, L.-Y., Hu, M., Huang, X.-F., Yu, B.-D., Zhang, Y.-H., Liu, D.-Q. : Measurements of emissions of fine particulate organic matter from chinese cooking. *Atmospheric Environment*, **38**, 6557-6564, 2004.
11. See, S. W., Balasubramanian, R. : Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmospheric Environment*, **42**, 8852-8862, 2008.
12. See, S. W., Balasubramanian, R. : Risk assessment of exposure to indoor aerosols associated with Chinese cooking. *Environmental Research*, **101**, 197-204, 2006.
13. Baek, S.-O., Kim, Y.-S., Perry, R. : Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas-Indoor/Outdoor relationships. *Atmospheric Environment*, **31**(4), 529-544, 1997.
14. Lee, H., Park, S. S., Kim, K. W., Kim, Y. J. : Source identification of PM_{2.5} particles measured in Gwangju, Korea. *Atmospheric Research*, **2008**, 1-13, 2008.
15. Ballard-Tremeer, G., Jawurek, H. H. : Evaluation of the dilution chamber method for measuring emissions of cooking devices. *Biomass and Bioenergy*, **17**, 481-494, 1999.
16. Bhattacharya, S. C., Albina, D. O., Abdul Salam, P. : Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves. *Biomass and Bioenergy*, **23**, 453-469, 2002.
17. Lee, S. Y. : Emissions from street vendor cooking devices (charcoal grilling). EPA-600/R-99-048, 1999.
18. Park, J. S., Kim, S. D. : The characteristics of secondary carbonaceous species within PM₁₀ and PM_{2.5} in Seoul and Incheon Area. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, **21**(1), 131-140, 2005.
19. Hildemann, L. M., Cass, G. R., Markowski, G. R. : A Dilution stack sampler for collection of organic aerosol emissions-design, characterization and field-tests. *Aerosol Science Technology*, **10**, 574-587, 1989.
20. Korea Meat Trade Association : Meat Handbook. Available from : <http://www.kmta.or.kr>. Accessed August 3, 2009.
21. Kim, S. D., Kim, C. H., Hwang, U. H. : A study on the particles density estimation in Seoul metropolitan. *Journal of Environmental Health Science*, **34**(2), 131-136, 2008.