

고기구이에서 발생하는 대기오염물질의 배출 특성

박성규* · 김대근**† · 황의현*** · 이정주**** · 이준복***** · 배일상***** · 어수미***** · 정 권*****

(주)케이에프, **서울과학기술대학교 환경공학과, ***경북도립대학 토목과,
****웅인대학교 산업환경보건학과, *****서울특별시 보건환경연구원

Emission Characteristics of Air Pollutants from Meat Charbroiling

Park, Seong Kyu*, Kim, Dae kuen**†, Hwang, Ui Hyun***, Lee, Jeong Joo****, Lee, Jun bok*****,
Bae, Il Sang*****, Eo, Soo-mi***** and Jung, Kweon*****

*KOFIRST R&D Center, KF Co. Ltd

**Dept. of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology

***Dept. of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

****Dept. of Industrial Environmental Health, Yong-In University

*****Seoul Metropolitan Government Institute of Public Health and Environment

ABSTRACT

Emission characteristics from charbroiling of four different meats (beef, port, duck and chicken) in a pilot-scale cooking facility were investigated in this study. The analyzed air pollutants include gaseous species (CO, NO, SO₂, NH₃ and PAHs) as well as particulate matters (TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and black carbon). The emission factors of PM₁₀ and PAHs were in the range of 3~47 g-PM/kg-meat and 0.6~11.41 mg-PAHs/kg-meat, respectively, depending on the type of a meat. In addition, the results also revealed that the high ratio of PM_{2.5} to TSP in a meat charbroiling should be considered to design and to operate air pollution control devices.

Key words : Meat Cooking, Oil Mist, PM, CO, OC/EC, PAHs.

1. 서 론

도시의 미세먼지 발생원은 자동차, 산업시설, 도로 비산먼지, 고기구이 음식점, 숯가마, 화목난로 등을 들 수 있다(Park *et al.*, 2009). 대기질 정책의 수단으로써 경유 자동차의 경우에는 매연저감장치 설치와 CNG 버스의 보급 등이 수행되고 있으며, 도로 비산먼지 저감을 위해서는 진공 청소차의 도입 등을 진행시키고 있다. 하지만, 생물성 연소에 의한 미세먼지 배출원인으로 간주되고 있는 고기구이 음식점, 숯가마, 화목난로 등에 의한 배출원 관리에 대한 정책수단은 부재한 상황이다.

도심은 거리협곡(street canyon)현상으로 인하여 대기오염물질의 확산이 매우 불리한 구조적 특징을 가지며, 배출된 대기오염물질은 도심 거주자 및 사무실 근로자 등의 호흡기 질환 등의 직접적인 피해를 유발하고 있다(Park *et al.*, 2004). 고

기구이 음식점 등에서 배출되는 미세먼지는 먼지 그 자체로서 유해성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 발암물질인 다환방향족탄화수소류(PAHs)가 다량으로 함유(Seo *et al.*, 2010)되어 있어 적극적인 배출원 제어가 필요한 실정이다. 또한, 음식점의 요리과정과 고기구이 과정에서 발생하는 악취는 민원 발생의 주요 원인이 되고 있으며, 음식점 악취를 처리하기 위한 방안으로는 단순 환기 및 국소 배기 후 확산 희석 등의 기본적인 방법이 주로 적용되고 있다(Park *et al.*, 2009). 고기구이 시 대기오염물질 발생에 관한 연구는 주로 PM₁₀을 중심으로 한 입자상 오염물질과 악취물질에 초점을 맞추고 있으며(Park *et al.*, 2011a, Kang *et al.*, 2014), 가스상 오염의 배출특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

최근 지구온난화에 영향을 미치는 주요 물질 중 하나로 블랙카본(Black Carbon, BC)이 지목되어 많은 연구와 분석이

† Corresponding author : kimd@seoultech.ac.kr

Received December 4, 2015 / Revised December 14 2015 / Accepted December 24, 2015

이루어지고 있다(Lee *et al.*, 2013; U.S. EPA, 2012). 블랙카본이란 석유, 석탄 등의 화석연료나 식물, 육류 등의 생물성 물질이 불완전 연소하여 생기는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2013). 에어로졸인 블랙카본은 대기 중에서 열을 흡수할 뿐만 아니라, 국소적으로 도심 기온을 상승시켜 열섬효과(Heat Island Effect)를 유발하는 것으로 보고되고 있다(Ramanathan and Carmichael, 2008; US EPA, 2012).

본 연구에서는 고기구이에서 배출되는 대기오염물질 중 가스상 물질과 입자상 물질의 배출농도와 배출계수를 파악하고자 하였다. 가스상 물질에는 CO와 NO, SO₂, NH₃ 및 PAHs, 입자상물질에는 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, 블랙카본을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

2.1 모형발생장치 및 구이 육종의 선정

고기구이 시 발생하는 대기오염물질의 배출 특성을 파악하기 위해 가로 6 m, 세로 2.6 m, 폭 2.4 m의 대형 모형 챔버를 제작하여 실제 음식점 조건에 맞는 장치를 구성하였다. 대형 모형 챔버 내부에는 실제 음식점에서 사용되고 있는 고기구이용 식탁 6개를 설치하였으며, 탁자 위로 6개의 후드와 1개의 덕트를 설치하였다. 후드의 지름은 8 cm이며, 덕트의 지름은 25 cm이었다. 덕트의 끝부분에는 연소가스를 강제로 흡입할 수 있는 송풍기를 설치하였다. 시료채취를 위한 채취구는 연소가스의 흐름에 방해되지 않게 덕트에서 지름의 3배 이상 직관이 유지되는 지점에 설치하였다.

선정된 육종은 쇠고기(소생구이, 소내장구이), 돼지고기(돼지생구이, 돼지양념구이), 오리생구이, 닭생구이로 하였다. 사용연료는 일반음식점에서 많이 사용하는 백탄 참숯으로 하였으며, 구이에 사용된 연료의 양은 각 식탁마다 약 350 g이었다. 불판의 형태는 직화구이용 석쇠를 사용하였다. 육종별로 6개 식탁에 일정량을 굽는 방법으로 고기를 굽는 실험을 각각 총 3회씩 진행하였다. 고기구이 실험에 앞서 실험시간과 덕트 내의 흡입유속을 설정하기 위해 각 조건별로 예비실험을 시행하여 고기의 가장 먹기 좋은 상태까지의 굽기 정도를 실험시간으로 설정하였다(Table 1).

2.2 시료채취 및 분석방법

가스상 오염물질인 CO, NO, SO₂는 실시간 가스분석기(BACHARACH, ECA-450)를 사용하여 고기굽이 실험시간 동안 실시간 연속 측정되었다. 암모니아 분석을 위하여 붕산용액(0.5 w%)을 흡수액으로 사용하였으며, 고기구이 실험시간동

Table 1. Consumed amount of a meat and charbroiling duration

Meat		Consumption (kg)	Cooking period (min)
Beef	Raw	1.5	30
	Gut	0.7	30
Pork	Raw	2.0	25
	Marinated	2.0	40
Duck	Raw	9.0	120
Chicken	Raw	2.0	30

안 배출가스를 흡수하였으며, 흡수 완료 후 실험실로 신속히 이동하여 인도폐놀법으로 분석하였다. 배출가스 중 PAHs 분석은 대기오염공정시험법에 준하여 굴뚝 먼지채취기를 이용하여 석영여지에 채취하여 유기용매에 추출/농축하였다. 추출 후 유도체화 방법에 의하여 유도체화 반응을 거친 후, USA EPA TO-13A method에 준하여 GC/MS를 이용하여 분석하였다.

입자상 오염물질은 굴뚝먼지측정기(Stack sampling system, CAE, USA)를 이용하여 구이 실험시간 동안 등속흡인하여 채취되었으며, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}로 구분하기 위하여 총 3대의 Stack Sampler에 TSP 홀더, PM₁₀ Cyclone Kit, PM_{2.5} Cyclone Kit가 이용되었다. TSP를 측정하기 위하여 사용된 여지는 원통형 여지(ADVANTEC, 88R)와 PM₁₀, PM_{2.5}를 측정하기 위하여 사용된 여지는 원형 여지(Whatman, QMA, 47 mm)를 사용하였으며, 중량농도를 분석하기 위해 마이크로 천칭(0.01 mg 단위)을 사용하였다. 블랙카본 분석을 위한 OC/EC의 분석은 Stack sampler와 USA EPA method 201A PM₁₀ Cyclone package (USA, Clean DAE)를 이용하여 배출가스 중 PM₁₀ 시료를 채취하였다. 사용한 여지는 직경이 60 mm, 공극 0.2 μm인 석영(Quartz, Whatman) 필터를 600°C 전기로에서 5시간 동안 구워서 불순물을 제거하여 사용하였다. OC/EC 분석은 직화구이 열광학적 분석방법(TOR Thermal/Optical Reflectance)에 기초한 Desert Research Institute(DRI) Inc.의 탄소분석 장치를 이용하였다. 이 분석 장치는 단계적으로 온도를 승온 및 강하시킬 수 있으며, NIOSH protocol에 따라 OC와 EC를 정량하였으며, 최근 입자상 OC와 EC를 분석하는데 광범위하게 적용되고 있다. 본 연구의 직화구이에서 배출되는 블랙카본은 기후과학적인 측면에서의 빛을 흡수하는 탄소성분을 지칭하고, 미세먼지 중에 존재하는 광흡수성이 강한 성분인 Elemental Carbon(EC) 영역의 블랙카본(Black Carbon) 성분과 광흡수성

이 약한 성분인 Organic Carbon(OC) 영역의 브라운 카본(Brown Carbon) 성분을 총칭하였다.

2.3 배출계수 산정방법

미세먼지를 포함한 대기오염물질의 배출계수 산출방법은 미세먼지 농도에 덱트로부터 배기되는 가스량을 곱하고, 고기 사용량으로 나누어 산출한다. 배출계수 산출식은 식 (1)과 같다(Pechan, 2003; EPA, 1997; Park *et al.*, 2011). 미세먼지 외 대기오염물질의 배출계수는 동일한 산출식을 적용하였다.

$$\text{미세먼지 배출계수(g/kg)} = \frac{\text{미세먼지 농도(mg/m}^3\text{)} \times \text{배기가스량(m}^3\text{)}}{\text{고기사용량(kg)}} \times 10^{-3} \quad (1)$$

3. 실험 결과

3.1 가스상 오염물질의 배출 특성

고기구이에서 배출되는 가스상 오염물질에 대한 육종별 배출되는 CO, NO, SO₂의 배출농도와 배출계수는 각각 Table 2 와 같으며, 가스상 오염물질 중에서 농도가 가장 높은 CO의 시간 경과에 따른 배출농도의 변화는 Fig. 1과 같다. CO의 경우, 배출농도는 육종별로 차이가 크게 나타났으며, 평균적으로 159.2~300.1 ppm의 농도 수준으로 나타났다. 특히, 소내장구이의 CO 배출농도는 300.1 ppm, 배출계수는 168.1 g/kg으로 가장 높게 나타났는데, 이는 소내장구이의 특성상 양념과 고기 육즙의 기름 성분이 불판 아래로 떨어지면서 연료와 육즙의 기름 성분이 불완전연소에 기인하는 것으로 판단된다. NO의 농도 수준은 2 ppm 이하로 나타났으며, SO₂의 농도 수준

Table 2. Emission factor (E.F.) and concentration of CO, NO, SO₂, and NH₃ from meat charbroiling

Meat		CO		NO		SO ₂		NH ₃	
		Conc. (ppm)	E.F. (g/kg)	Conc. (ppm)	E.F. (g/kg)	Conc. (ppm)	E.F. (g/kg)	Conc. (ppm)	E.F. (g/kg)
Beef	Raw	159	54.5	1.43	0.53	0.67	0.30	1.47	0.52
	Gut	300	16.8	1.70	1.02	0.77	0.98	2.50	0.85
Pork	Raw	261	54.9	1.27	0.29	0.67	0.32	1.50	0.19
	Marinated	202	68.7	1.57	0.57	0.53	0.41	1.37	0.28
Duck	Raw	240	26.4	1.40	0.16	0.63	0.16	1.23	0.08
Chicken	Raw	286	70.9	1.53	0.41	0.63	0.36	1.17	0.18

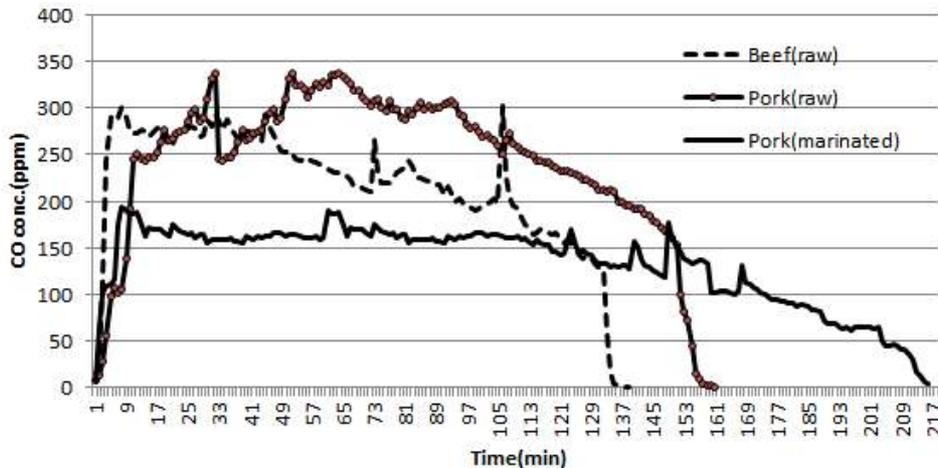


Fig. 1. Temporal variation of CO concentration.

은 1 ppm 이하로 미미한 수준으로 나타났으며, 배출계수 수준도 1 g/kg 이하로 나타났다. NO 및 SO₂는 주로 연료 연소에 기인하는 것으로 보이며, 이는 연료를 사용하는 참숯의 원소조성(Park *et al.*, 2013)에 포함된 미량의 N와 S이 연소되면서 발생하는 것으로 판단된다. 암모니아의 농도는 1~3 ppm 수준으로 나타났으며, 배출계수는 1 g/kg 이하로 나타났다. 측정 지점에서의 배가스 온도는 평균적으로 32~35°C 정도로 나타났으며, 초기에 2~3°C 정도 높았다가 점차 낮아지는 경향이 나타났다.

3.2 입자상 오염물질의 배출 특성

고기구이에서 배출되는 입자상 오염물질에 대한 육종별 배출되는 배출농도와 배출계수, TSP 중에서 PM_{2.5}와 PM₁₀이 차지하는 비율은 Table 3과 같다. 고기구이에서 배출되는 유적 및 미세먼지를 포함하는 입자상 오염물질의 배출농도 수준은 21~223 µg/m³로 나타났으며, 이 중에서 소내장구이의 배출농도 수준이 가장 높게 나타났다. 또한, 고기구이의 배출계수 수준은 3~47 g-PM/kg-meat로 나타났으며, 이 중에서 소내장구이의 배출계수가 가장 높은 수준으로 TSP 46.97 g-PM/kg-meat, PM₁₀ 44.06 g-PM/kg-meat, 42.61 g-PM/kg-meat로 나타났다.

TSP 중에서 PM₁₀이 차지하는 비율은 90.7~96.3 %로 나타났으며, PM_{2.5}가 차지하는 비율은 85.9~91.6 %로 나타났었다. 이는 박성규 등(2011)의 연구 결과에서도 입경별 분포를 분석하면 쇠고기와 돼지고기의 모든 구이방식에서 발생하는 미세먼지는 거의 PM₁₀의 형태로 배출되는 것을 확인하였으며, PM₁₀ 중에서 PM_{2.5}가 차지하는 비율은 약 77~98% 정도로 분석하였다.

고기구이에서 배출되는 입자상 오염물질에 대한 국내·외 배출계수에 대한 연구 결과는 Table 4와 같다. 미국 EPA를 중심으로 입자상 오염물질에 대한 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}에 대한 2000년대 초반에 발표되었었고, 국내에서는 고기구이에서 배출되는 미세먼지에 대한 배출계수 실험은 ‘HOOD Method’를 이용한 직화구이 음식점의 미세먼지 배출 특성(Lee *et al.*, 2011)’에서 본격적으로 제시되었으며, 그 이후 육종별, 불판형태별로 미세먼지에 대한 배출계수 실험결과를 ‘생물성 연소에서 발생하는 미세먼지 배출계수 개발에 관한 연구: 고기구이를 중심으로(Park *et al.*, 2011)’에서 발표하였다. 특히, 본 연구에서는 육종별(쇠고기, 돼지고기, 닭구이, 오리구이) 직화구이에서 배출되는 입자상 대기오염물질인 PM₁₀ 및 PM_{2.5}의 배출 농도와 배출계수 등에 대한 배출 특성에 대하여 현장조사와 모형실험을 통하여 조사 연구한 결과를 포함하여 비교

Table 3. Emission factor and concentration of TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} from meat charbroiling

Meat		Concentration (mg/m ³)	Emission factor (g-PM/kg-meat)	PM/TSP
Raw	TSP	36.52	2.96	1.000
	PM ₁₀	35.18	2.85	0.963
	PM _{2.5}	31.00	2.52	0.849
Beef	TSP	222.91	46.97	1.000
	PM ₁₀	209.12	44.06	0.938
	PM _{2.5}	202.21	42.61	0.907
Pork	TSP	79.19	8.53	1.000
	PM ₁₀	76.04	8.19	0.960
	PM _{2.5}	72.53	7.82	0.916
Marinated	TSP	39.88	5.02	1.000
	PM ₁₀	37.48	4.72	0.943
	PM _{2.5}	32.94	4.15	0.829
Duck	TSP	51.10	1.57	1.000
	PM ₁₀	49.24	1.51	0.963
	PM _{2.5}	40.99	1.26	0.802
Chicken	TSP	25.20	12.41	1.000
	PM ₁₀	22.86	11.26	0.907
	PM _{2.5}	21.97	10.82	0.859

분석하였다.

고기구이에서 배출되는 입자상 오염물질은 대부분 미세먼지 영역으로 쇠고기의 경우 미국은 다소 높게 나타났지만, 국내의 연구 결과는 2.5~3 g-PM/kg-meat로 나타났는데, 이는 구이 방식의 차이로 보인다. 소내장구이의 경우, 국내에만 있는 식습관에 의한 육류 소비 형태에 기인하는 것으로, 주로 소의 양과 대창을 적절하게 손질하여 구워먹는 과정에서 배출되는 미세먼지의 배출계수가 43~45 g-PM/kg-meat로 가장 높게 나타났다. 돼지고기의 경우, 직화구이에서 배출되는 미세먼지의 배출계수는 7~8 g-PM/kg-meat로 돼지양념구이 4~5 g-PM/kg-meat보다 높게 나타났다. 가금류구이에서 닭생구이의 경우 11~12 g-PM/kg-meat로 나타났으며, 오리생구이의 경우 1~2 g-PM/kg-meat 수준으로 나타났다.

Table 4. Comparison of emission factors by recent meat charbroiling studies

(Unit : g-PM/kg-meat)

Items	Equipment type (Fuel)	US EPA ¹⁾			SJVAPCD ²⁾ (PM ₁₀)		SCAQ- MD ³⁾ (PM)	Lee et. al. (2009) ⁴⁾ (PM ₁₀)	Lee et. al. (2010) ⁵⁾ (PM ₁₀)	Park et. al. (2011) ⁶⁾ (PM ₁₀)	This study			
		PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}					TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	
Beef	Raw	Flat griddle (LPG)	-	-	-	4.5	3.4	2.8	-	-	0.4	-	-	-
		Under fired charbroiling grill	8.1	7.5	7.1	15.6	15.2	16.0	-	3.82	2.8	2.96	2.85	2.52
	Marinated	Flat griddle (LPG)	-	-	-	4.5	3.4	2.8	-	-	N/D	-	-	-
		Under fired charbroiling grill	9.5	9.2	8.7	15.6	15.2	16.0	-	-	6.3	-	-	-
Gut of a cattle	Raw	Under fired charbroiling grill	-	-	-	-	-	-	-	6.59	-	46.97	44.06	42.61
Pork	Raw (belly)	Flat griddle (LPG)	-	-	-	-	-	2.8	-	-	1.6	-	-	-
		Under fired charbroiling grill	-	-	-	9.5	9.0	16.0	7.77	4.08	7.4	8.53	8.19	7.82
	Marinated (shoulder)	Flat griddle (LPG)	-	-	-	-	-	2.8	-	-	0.5	-	-	-
		Under fired charbroiling grill	-	-	-	9.5	9.0	16.0	5.24	-	3.3	5.02	4.72	4.15
Chicken	Raw	Flat griddle (Electric)	N/D	N/D	N/D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Under fired charbroiling grill	10.5	10.5	9.9	-	-	-	-	8.22	-	12.41	11.26	10.82
Duck	Raw	Under fired charbroiling grill	-	-	-	9.5	9.0	(Poul- try)	(Poul- try)	-	-	2.3	-	-
	Marinated	Under fired charbroiling grill	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	1.57	1.51	1.26

1) US EPA (2002) : Source was EPA (1999) and Norbeck (1997), Beef was flank steak, chicken was thigh meat.

2) San Joaquin Valley Air Pollution Control District (2009), 690-Commercial Cooking Operations.

3) Sacramento Metropolitan Air Quality Management District (2002) : Welch and Norbeck, 1998)

4) Lee *et al.* (2009) : Model Result of Under fired Charbroiling Cooking using the Hood Method

5) Lee *et al.* (2010) : Field Test Result of Under fired Charbroiling Cooking Restaurants in Seoul

6) Park *et al.* (2011) : Model Result of Under fired Charbroiling Cooking using the Hood Method

3.3 블랙카본

고기구이에서 배출되는 블랙카본(OC/EC)에 대한 실험 결과는 모형실험을 통하여 육종별(쇠고기, 돼지고기, 닭구이, 오리구이)로 직화구이에서 배출되는 PM₁₀ 중의 블랙카본(OC/EC)에 대한 배출계수와 미세먼지 중에서 OC/EC가 차지하는

분율에 대한 것은 Table 5와 같다.

고기구이에서 배출되는 블랙카본(OC/EC)이 가장 높은 수준으로 배출되는 구이는 소내장구이로 OC의 경우 28.47 g-OC/kg-meat, EC의 경우 1.55 g-EC/kg-meat로 나타났다. 그 외 구이별로 OC의 경우 0.4~3.9 g-OC/kg-meat, EC의 경우 0.1~

Table 5. Organic and elemental carbon content in PM₁₀ filter sampled from meat charbroiling

Items	Emission factor (g/kg-meat)		Organic carbon in PM ₁₀ (wt%)	Emission factor (g/kg-meat)		Elemental carbon in PM ₁₀ (wt%)	
	OC	PM ₁₀		EC	PM ₁₀		
Beef (PM ₁₀)	Raw	1.79	2.52	71.03	0.05	2.52	1.98
	Gut of a cattle	28.47	42.61	66.82	1.55	42.61	3.64
Pork (PM ₁₀)	Raw	3.86	7.82	49.36	0.10	7.82	1.28
	Marinated	3.03	4.15	73.01	0.04	4.15	0.96
Duck (PM ₁₀)	Raw	3.32	10.82	30.68	0.27	10.82	2.50
Chicken (PM ₁₀)	Raw	0.41	1.26	32.54	0.09	1.26	7.14

0.3 g-EC/kg-meat로 나타났다. 고기구이 미세먼지 중에서 OC의 분율은 쇠고기와 돼지고기의 경우 50~73% 수준으로 나타났으며, 가금류의 경우 31~33% 수준으로 나타났다. EC의 분율은 쇠고기와 돼지고기의 경우 1~4% 수준으로 나타났으며, 가금류의 경우 3~7% 수준으로 나타났다. 이는 서영화 등 (2010)의 연구 결과에서 쇠고기 및 돼지고기 구이에서 OC는 PM₁₀ 중에서 약 50~60% 수준으로 나타났으며, EC는 PM₁₀ 중에서 약 0.6~4% 수준으로 나타났다.

3.4 PAHs

다환방향족 탄화수소(PAHs)는 연소과정에서 유기탄소 화합물들이 불완전연소되면서 발생하는 부산물로서, 그중 일부는 발암성, 염색체돌연변이성 등 강한 독성을 가지고 있으면서 가스상 및 입자상 형태로 존재한다(Seo *et al.*, 2010). 이 고기구이에서 배출되는 배가스 중에도 PAHs가 배출되고 있

는 실정이며, 고기구이에서 배출되는 PAHs에 대한 농도 및 배출계수를 서영화 등(2010)에서 발표하였다. 본 연구의 현장 조사를 통하여 육종별(쇠고기, 돼지고기, 닭구이, 오리구이)로 고기구이에서 배출되는 PM₁₀ 중의 입자상 PAHs에 대한 배출계수와 미세먼지 중의 PAHs가 차지하는 분율에 대한 것은 Table 6과 같다.

고기구이에서 배출되는 PAHs가 가장 높은 수준으로 배출되는 구이는 소내장구이로 약 11.41 mg-PAHs/kg-meat로 나타났다. 그 외 구이별로 0.6~2.9 mg-PAHs/kg-meat 수준으로 나타났다. 고기구이에서 배출되는 PM₁₀ 중의 PAHs가 차지하는 분율은 닭생구이가 0.23730 wt%으로 가장 높게 나타났으며, 소생구이의 경우 0.02500 wt%, 돼지양념구이 0.05590 wt%를 나타내었다. 이는 서영화 등(2010)에 발표한 농도와 유사한 수준으로 고기를 구울 때 떨어지는 기름과 육질이 타면서 고기 표면에도 PAHs를 생성되기도 하고, 배가스에도 PAHs 상당히 배출하는 것으로 나타났다.

Table 6. Emission factors of PAHs from meat charbroiling

Meat	This study			Seo <i>et al.</i> , (2010)	
	PAHs emission factor (mg-PAHs/kg-meat)	PM ₁₀ emission factor (g-PM/kg-meat)	Total PAHs in PM ₁₀ (wt%)	Total PAHs in PM ₁₀ (wt%)	
Beef (PM ₁₀)	Raw	0.63	2.52	0.02500	0.06630
	Gut	11.41	42.61	0.02678	-
Pork (PM ₁₀)	Raw	0.42	7.82	0.00537	0.02585
	Marinated	2.32	4.15	0.05590	0.03182
Duck (PM ₁₀)	Raw	0.03	10.82	0.00028	-
Chicken (PM ₁₀)	Raw	2.99	1.26	0.23730	-

4. 결 론

본 연구는 고기구이에서 배출되는 대기오염물질 중 가스상 물질과 입자상 물질의 배출농도와 배출계수 등의 배출 특성을 파악하고자 하였다. 모형실험과 현장조사를 통하여 분석한 고기구이의 배출가스에 포함된 가스상 및 입자상 대기오염물질의 배출 특성은 다음과 같다.

- 1) 고기구이에서 배출되는 가스상 오염물질에 대한 육종별 배출되는 CO의 경우, 배출농도는 육종별로 차이가 크게 나타났으며, 평균적으로 159.2~300.1 ppm의 농도 수준으로 나타났다. NO의 농도 수준은 2 ppm 이하로 나타났으며, SO₂의 농도 수준은 1 ppm 이하로 미미한 수준으로 나타났으며, 배출계수 수준도 1 g/kg 이하로 나타났다. NH₃의 농도는 1~3 ppm 수준으로 나타났으며, 배출계수는 1 g/kg 이하로 나타났다.
- 2) 고기구이에서 배출되는 유적 및 미세먼지를 포함하는 입자상 오염물질의 배출농도 수준은 21~223 µg/m³로 나타났으며, 이 중에서 소내장구이의 배출농도 수준이 가장 높게 나타났다. 또한, 고기구이의 배출계수 수준은 3~47 g-PM/kg-meat로 나타났으며, 이 중에서 소내장구이의 배출계수가 가장 높은 수준으로 TSP 46.97 g-PM/kg-meat, PM₁₀ 44.06 g-PM/kg-meat, PM_{2.5} 42.61 g-PM/kg-meat로 나타났다. TSP 중에서 PM₁₀이 차지하는 비율은 90.7~96.3%로 나타났으며, PM_{2.5}가 차지하는 비율은 85.9~91.6 %로 나타났다.
- 3) 고기구이에서 배출되는 블랙카본(OC/EC)이 가장 높은 수준으로 배출되는 구이는 소내장구이로 OC의 경우 28.47 g-OC/kg-meat, EC의 경우 1.55 g-EC/kg-meat로 나타났다. 구이별로 OC의 경우 0.4~3.9 g-OC/kg-meat, EC의 경우 0.1~0.3 g-EC/kg-meat로 나타났다.
- 4) 고기구이에서 배출되는 PAHs가 가장 높은 수준으로 배출되는 구이는 소내장구이로 약 11.41 mg-PAHs/kg-meat로 나타났다. 그 외 구이별로 0.6~2.7 mg-PAHs/kg-meat 수준으로 나타났다. 고기구이에서 배출되는 PM₁₀ 중의 PAHs가 차지하는 비율은 닭생구이가 0.23730 wt%로 가장 높게 나타났으며, 소생구이의 경우 0.02500 wt%, 돼지양념구이 0.05590 wt%를 나타냈다.

사 사

본 연구는 환경부의 2012년 차세대 에코이노베이션기술개발사업(401-112-018) 및 서울특별시 2012년 서울형 녹색기술(GT) 육성 R&D 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bong CK, Park SJ, Kim JH, Park SK, Jeon JM, Hwang UH. 2009. Characteristics of odorous pollutants from cooking of meats. *Journal of Korean Society of Urban Environment* 9(2):49-56.
- Kang BW, Jeon JM, Lee HS. 2014. A study on the source profile development for fine particles emitted from meat cooking. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 30(1):18-25.
- Kang BW, Lee HS. 2012. A study on the source profile development for fine particles(PM_{2.5}) emitted from biomass. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 28(4):384-395.
- Lee JB, Kim HJ, Jung K, Kim SD. 2009. Emission characteristics of particulate matters from under-fired charbroiling cooking process using the hood method. *Journal of Environmental Health Sciences*. 35(4):315-321.
- Lee SK, Jeon EC, Park SK, Choi SJ. 2013. Characteristics of greenhouse gas emissions from charcoal kiln. *Journal of Korean Climate Change Research* 4(2):115-126.
- Lee JY, Choi BS, Sa JH, Jeon EC, Choi SJ, Park SK. 2013. Emission characteristics of black carbon generated by wood combustion through a stove. *Journal of Korean Climate Change Research* 4(1):41-49.
- Park SK, Choi SJ, Kim JY, Lee HJ, Jang YK, Bong CK, Kim JH, Hwang UH. 2011a. A study on the development of particulate matters emission factors from biomass burning : Mainly commercial meat cooking. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 27(4):426-435.
- Park SK, Choi SJ, Park GJ, Kim JY, Bong CK, Park SJ, Kim JH, Hwang UH. 2011b. Collection characteristics of particulate matters from biomass burning by control device: mainly commercial meat cooking. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 27(6):641-649.
- Park SK, Choi SJ, Park GJ, Kim JY, Bong CK, Park SJ, Hwang UH, Kim JH. 2009. Experimental study on the controller of oil mist and PM from meat cooking. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 9(2):93-98.
- Park SK, Choi SJ, Park GJ, Kim JY, Hwang UH, Lee JJ,

- Kim TS. 2013. A field survey on the characteristics of air pollutants emission from commercial charcoal kiln. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 29(5):601-614.
- Ramanathan V, Carmichael G. 2008. Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience* 1:221-227.
- Seo YH, Ko KY, Jang YK. 2010. Determination of cholesterol, fatty acids and polyaromatic hydrocarbons in PM₁₀ particles collected from meat charbroiling. *Journal of KSEE* 32(2):155-164.
- U.S. EPA. 2012. Report to congress on black carbon.
- U.S. EPA. 1997. AP-42 Section 9.5 Introduction to animal & meat products preparation.