

고기구이에서 배출되는 미세입자 (PM_{2.5})의 배출원 구성물질 성분비 개발에 관한 연구

A Study on the Source Profile Development for Fine Particles (PM_{2.5}) Emitted from Meat Cooking

강 병 욱 · 전 준 민¹⁾ · 이 학 성^{2),*}

한국교통대학교 환경공학과, ¹⁾순천제일대학 그린전남환경종합센터,
²⁾서원대학교 환경공학과

(2013년 9월 12일 접수, 2013년 10월 22일 수정, 2013년 11월 6일 채택)

Byung-Wook Kang, Jun-Min Jeon¹⁾ and Hak Sung Lee^{2),*}

Department of Environmental Engineering, Korea National University of Transportation

¹⁾*Green Jeonnam Environmental Complex Center, Suncheon First College*

²⁾*Department of Environmental Engineering, Seowon University*

(Received 12 September 2013, revised 22 October 2013, accepted 6 November 2013)

Abstract

This study was performed to develop the source profiles for fine particles (PM_{2.5}) emitted from the meat cooking.

The characterization of fine particles emitted from beef cooking showed comparably high level of carbon (75%) which mainly composed of OC (73%) and EC (2.3%). Also the level of K⁺, Cl⁻, K, Cl, and Na⁺ has been diagnosed to be relatively high, mainly caused by the Korean spice with sodium component.

The cooking of pork showed similar trend to the beef, resulting high level of OC, EC, K⁺, Cl⁻, K, Cl, and Na⁺ as the major components of fine particles. The high proportions of metal's ingredient such as Zn and Pb have been spotted to be 0.463% and 0.386%, respectively. The higher ratio of OC has been collected for raw pork belly meat compared to seasoned meat in respond to presence of fat.

The cooking of chicken and duck brought similar data that OC, K⁺, K, Cl⁻, Cl, EC, NO₃⁻, and SO₄²⁻ were main components of fine particles. The one notable feature is that Zn and Pb showed to be almost absent.

Key words : Meat cooking, Source profiles, PM_{2.5}, CMB receptor model

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)43-299-8722, Email : hsl@seowon.ac.kr

1. 서 론

여러 역학적인 연구에서 대기 중 입자상물질은 호흡기에 악영향을 주고 심혈관질환에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Pope *et al.*, 2002; Schwartz *et al.*, 1996, 1994; Thurston *et al.*, 1994; Dockery *et al.*, 1993). 이와 같은 악영향으로 인하여 우리나라에서도 2015년 적용되는 대기환경기준을 2.5 μm 이하의 먼지에 대하여 연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 설정하여 적용할 예정이다.

Schauer *et al.* (1996)은 미국 로스앤젤레스 지역에서 CMB (chemical mass balance) 수용모델을 적용하여 유기탄소성분에 대한 고기구이의 기여도를 연구한 결과 미세먼지 중 유기탄소성분의 23%가 고기구이에서 배출되는 것으로 나타났다. 다른 지역의 연구에서도 고기구이가 대기 중 미세먼지 농도에 상당한 정도로 기여하는 것으로 나타났다(He *et al.*, 2004; Kleeman *et al.*, 1999; Schauer *et al.*, 1999). 이와 같이 고기구이는 대기오염물질의 주요 배출원 중 하나이며 고기구이에서 배출되는 입자상물질은 주로 2.5 μm 이하의 미세먼지 크기 범위에 속하는 것으로 밝혀졌다(Kleeman, 1999).

우리나라 1인당 연간 육류소비량 자료에 의하면 소고기는 2000년 8.51 kg에서 2010년 8.9 kg으로 소량 증가하였으며 돼지고기는 2000년 16.5 kg에서 2010년 19.3 kg으로 닭고기 역시 2000년 6.9 kg에서 2010년 10.4 kg으로 육류의 소비량이 증가하는 경향을 나타내고 있으며 (NHRI, 2013), 우리나라의 경우 육류 소비량의 상당량은 구이로 소비되는 특성을 가지고 있다. 육류의 구이 시에 배출되는 미세먼지에 대하여 미국의 캘리포니아 LA 지역에서 연구한 바에 의하면 배출계수를 적용하여 상점에서 일일 고기구이에서 배출되는 입자상오염물질이 11.6톤에 달하는 것으로 산정되었다 (<http://www.pb.net/spc/mii/971130.htm>). (Accessed, 1997).

우리나라의 경우 최근 민원 중에서 음식점 배기로 인한 문제가 대두되기 시작하였고, 주택과 점포가 밀집하여 혼재하고 있는 도심의 경우에는 심각한 대기오염문제로 대두되고 있다. 음식점에서 배출되는 배가스 중에는 미세먼지를 비롯하여 다양한 가스상 오염물질이 배출되고 있으며, 특히 육류의 요리과정 또

는 조리과정에서 나오는 미세먼지는 상가가 밀집되어 있는 도심지역에서는 무시할 수 없는 정도로 배출되고 있다. 아직까지 음식점에서 배출되는 미세먼지에 대한 규제가 없기 때문에 음식점에서 육류의 연소에 의한 미세먼지는 단순 환기 및 국소 배기 형태로 대기 중으로 배출되는 실정이다.

대기 중 미세먼지의 특성과 배출원에 대한 이해는 미세먼지 배출원의 상대적 중요성을 파악하여 미세먼지의 저감을 위한 적합한 정책수립에 중요하다. CMB 수용모델은 입자상 대기오염물질의 배출원을 특성화하여 입자상오염물질에 대한 각 배출원의 기여도를 정량화하는 방법이다(Schauer *et al.*, 1996; Watson, 1984). CMB모델을 수행하기 위해서는 대기환경농도 자료와 더불어 수용지점에 영향을 주는 주요 배출원의 배출원 구성물질 성분비 (source profile) 자료를 필요로 한다.

본 연구의 목적은 우리나라에서 아직 연구가 전무한 고기구이 시 배출되는 미세먼지(PM_{2.5})의 배출원 구성물질 성분비 자료를 직접 측정·분석하여 개발하는데 있다. 본 연구의 결과는 향후 국내에서 CMB 수용모델 이용 시 중요한 자료를 제공할 수 있다고 사료된다.

2. 실험 방법

2.1 고기 및 연료 종류

고기를 굽는 음식점에서 입자상물질의 배출에 영향을 주는 요소는 크게 고기의 종류와 고기를 굽는데 사용하는 연료(숯)의 종류로 분류할 수 있다. 우리나라 음식점에서 연기를 많이 배출하는 굽는 고기의 종류는 크게 소고기, 돼지고기, 닭고기, 오리고기 등으로 구분할 수 있으며, 이를 다시 각각 생고기와 양념고기로 세분화 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 배출원 구성물질 성분비 개발을 위한 고기의 종류로는 소고기 생고기, 소고기 양념갈비, 돼지고기 생고기(삼겹살), 돼지고기 양념(돼지갈비), 닭고기, 오리고기(양념) 등으로 분류하였으며 고기의 종류별 특성은 표 1과 같다.

음식점에서 사용하는 연료의 종류는 크게 국내재료를 이용한 전통적인 숯과 수입된 숯으로 구분할 수 있으며, 현재 시중의 음식점에서 사용하는 국내산

숯은 만드는 재료의 종류에 따라서 참나무, 대나무, 번개탄으로 구분할 수 있다. 외국에서 수입하는 숯의 경우 야자나무를 이용하여 만들어진 숯을 들 수 있으며 생긴 형태는 원통모양을 가지고 있다. 본 연구에서 사용한 고기구이용 연료는 참나무 숯, 대나무 숯, 야자나무 숯, 번개탄 등으로 구분하였으며 연료의 종류는 표 2와 같다.

Table 1. Characteristics of all meat cooking tests.

Meat	Origin	Purchase
Raw beef	Domestic	Super market
Spiced beef rib	Import (USA)	Super market
Raw pork chop	Domestic	Super market
Spiced pork rib	Domestic	Super market
Chicken	Domestic	Super market
Spiced duck	Domestic	Commercial restaurant

Table 2. Classification of fuel tests conducted.

Fuel	Origin	Raw material
Hardwood charcoal	Domestic	Hardwood
Bamboo charcoal	Domestic	Bamboo
Coconut charcoal	Indonesia	Coconut
Kinding wood	Domestic	Sawdust

2. 2 미세입자 시료채취 및 분석방법

고기구이시 배출되는 미세입자의 시료채취를 위한 실험은 실제 고기구이조건과 가장 유사한 조건에서 수행하기 위해서 일반적인 영업점에서 사용하는 식탁과 고기구이 시스템을 구입하여 실제 조건과 가장 유사한 조건에서 실험이 진행되도록 하였다. 시료용 고기를 소량씩 구우면서 발생하는 연기를 레시버식 후드와 연결관(ø2,000 mm)을 통하여 크기가 180 cm × 180 cm × 180 cm인 비닐로 밀폐시킨 챔버에 연결되도록 하였다. 이와 같은 장치는 고기구이 시 발생하는 연기의 온도를 낮추어 주면서 배가스와 공기 사이에 자연적인 반응이 일어나도록 일정한 체류시간을 유지하도록 하는데 있으며 또한 고기구이 시 발생하는 수분과 유분이 시료채취에 영향을 미치지 않도록 하는데 목적이 있다. 시료채취시간은 분석에 필요한 적당량의 시료가 여과지에 채취될 때까지 채취하였다. 고기구이 시 배출되는 미세입자의 시료 채취용 챔버는 그림 1과 같다.

시료채취용 챔버 내에서 미세입자를 채취하기 위한 장치는 이온, 원소, 탄소 측정을 위하여 입경 2.5 μm 이하의 입자만을 분리 포집할 수 있는 싸이클론(cyclone) (URG-2000-30EH), 미세입자의 각 성분을 측



Fig. 1. Sampling system for meat cooking.



Fig. 2. Sampling system of spiced pork cooking.

정하기 위한 47 mm 직경의 여과지를 넣을 수 있는 필터 팩(filter pack)과 펌프로 구성되며, 시료 채취 유량은 16.7 L/min이었다. 수용성 및 원소 성분을 측정하기 위하여 각각 테프론 여과지(1 μm pore size; Gelman Science)를 사용하였고, 탄소성분을 측정하기 위한 여과지는 고온(650°C)에서 가열한 석영섬유여과지(quartz fiber filter, Whatman사제)를 사용하였다. 고기구이 시 미세먼지의 수용성, 원소 및 탄소성분 분석의 기타 세부적인 사항은 Kang and Lee (2012)의 논문에서 자세히 설명하였다.

고기구이 시 배출되는 미세먼지를 채취하기 위한 시료채취시간은 고기와 연료의 종류에 따라서 분석에 필요한 먼지 채취량을 고려하여 경험적으로 결정하였으며, 고기와 연료조합에 따라서 차이가 있지만 5~30분 동안 시료를 채취하였다. 양념돼지갈비 구이 시 미세먼지의 시료 채취 장치의 전체적인 모습은 그림 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소고기구이 시 미세먼지 성분 특성

소고기구이 시 발생하는 미세먼지의 배출원 구성

물질 성분비 자료를 개발하기 위하여 소고기 생고기(등심)와 소고기 양념갈비(미국산) 등에 대하여 참나무 숲, 대나무 숲, 야자나무 숲 등 다양한 고기구이용 연료를 사용하여 구이 시 발생하는 미세먼지에 대하여 질량농도, 이온, 원소, 원소탄소 및 유기탄소성분을 분석하였다. 소고기구이 시 사용되는 연료 중 번개탄의 경우에는 실질적으로 사용하지 않기 때문에 제외하였다. 소고기구이에 대한 배출원 구성물질 성분비는 각 연료별 분석된 결과를 산술평균하여 구하였으며 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3에서 양념을 하지 않은 소고기구이 시 배출되는 미세먼지의 주요성분은 OC(73.006%)>K⁺(3.411%)>Cl⁻(2.562%)>EC(2.320%)>K(1.899%)>Cl(1.744%)>Na⁺(0.899%)>Na(0.653%)>NO₃⁻(0.641%)이었으며, 전체적으로 탄소성분의 비율이 75%를 차지하였다. 이 밖에 원소성분 중 Zn과 Pb의 비율이 각각 0.305, 0.279%로 높은 비율을 나타내었다. 한편 수입산(미국산) 갈비에 양념을 한 소고기구이 시 배출되는 미세먼지의 주요성분은 OC(78.553%)>K⁺(2.868%)>Cl⁻(2.410%)>K(2.217%)>EC(1.730%)>Cl(1.550%)>Na⁺(1.266%)>SO₄²⁻(1.031%)>Na(0.961%)이었으며 원소성분 중 Zn과 Pb의 비율이 각각 0.163, 0.247%로 높은 비율을 나타내었다. 결과를 비교분석해 본 결과 생고기와 양념고기와의 구성 성분 비율은 유사한 경향을 보이고 있다. 본 연구의 결과와 U.S. EPA (2006)의 구성비를 비교해 보면, U.S. EPA의 구성비에서 OC와 EC의 비율이 본 연구보다 10% 정도 상대적으로 높게 나타났으며, 반면에 K⁺, Cl⁻, K, Cl, Na⁺ 등의 성분이 U.S. EPA 성분비에 비하여 본 연구결과가 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 U.S. EPA 구성비는 햄버거 구이에서 발생하는 미세먼지에 관한 측정자료이고, 사용한 연료의 종류도 다르기 때문에 본 연구에서 사용한 소고기구이와 직접적으로 비교하기에는 어려움이 있으며 미국과 달리 국내의 경우에는 생고기에 소금을 사용하고 양념에도 또한 소금 성분이 포함되기 때문에 나타난 결과로 보여진다.

3.2 돼지고기구이 시 미세먼지 성분 특성

돼지고기구이 시 발생하는 미세먼지의 배출원 구성물질 성분비 자료를 개발하기 위하여 돼지고기 삼겹살과 돼지고기 양념갈비 등에 대하여 참나무 숲,

Table 3. Meat cooking source profiles for beef (weight percent of mass).

Species	Raw beef (n=8)	Spiced beef rib (n=6)	U.S. EPA (2006) (profile 4383) (composite)
	PM _{2.5} ± Uncertainty		
Na	0.653 ± 0.145	0.961 ± 0.132	1.163
Mg	0.105 ± 0.042	0.137 ± 0.037	0.191
Al	0.098 ± 0.021	0.106 ± 0.017	0.065
Si	0.002 ± 0.007	0.002 ± 0.006	0.478
P	0.002 ± 0.006	0.002 ± 0.005	0.005
S	0.143 ± 0.006	0.593 ± 0.007	0.246
Cl	1.744 ± 0.008	1.550 ± 0.007	0.718
K	1.899 ± 0.005	2.217 ± 0.005	0.304
Ca	0.032 ± 0.009	0.054 ± 0.007	0.173
Ti	0.000 ± 0.002	0.075 ± 0.002	0.007
Cr	0.000 ± 0.001	0.000 ± 0.001	0.003
Mn	0.001 ± 0.006	0.003 ± 0.005	0.026
Fe	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.000	0.315
Ni	0.000 ± 0.003	0.000 ± 0.003	0.006
Cu	0.002 ± 0.006	0.003 ± 0.005	0.028
Zn	0.305 ± 0.007	0.163 ± 0.006	0.036
Br	0.009 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.007
Cd	0.001 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.001
Pb	0.279 ± 0.003	0.247 ± 0.002	0.013
Cl ⁻	2.562 ± 0.256	2.410 ± 0.241	0.759
NO ₃ ⁻	0.641 ± 0.064	0.550 ± 0.055	0.269
SO ₄ ²⁻	0.573 ± 0.057	1.031 ± 0.103	0.382
Na ⁺	0.899 ± 0.090	1.266 ± 0.127	0.237
NH ₄ ⁺	0.030 ± 0.003	0.048 ± 0.005	0.048
K ⁺	3.411 ± 0.341	2.868 ± 0.287	0.215
Mg ²⁺	0.017 ± 0.002	0.017 ± 0.002	-
Ca ²⁺	0.118 ± 0.012	0.120 ± 0.012	-
OC	73.006 ± 3.656	78.553 ± 3.971	86.633
EC	2.320 ± 0.179	1.730 ± 0.129	10.170

대나무 숯, 야자나무 숯, 번개탄 등 다양한 고기구이 용 연료를 사용하여 구이 시 발생하는 미세입자에 대하여 질량농도, 이온, 원소, 원소탄소 및 유기탄소 성분을 분석하였다. 돼지고기구이에 대한 배출원 구성물질 성분비는 각 연료별 분석된 결과를 산술평균하였으며 요약된 성분비 결과는 표 4에 나타내었다.

표 4에서 삼겹살 구이 시 배출되는 미세입자의 주요성분은 OC (77.229%) > EC (4.736%) > Cl (2.891%) > Cl⁻ (2.658%) > K⁺ (2.453%) > K (2.435%) > Na (1.722%) > Na⁺ (1.565%) > SO₄²⁻ (0.760%) 등 이었으며, 전체적으로 탄소성분의 비율이 81%를 차지하였다. 원소성분 중 Zn과 Pb의 비율이 각각 0.463, 0.386%로 높은 비율을 나타내어 소고기구이와 비슷한 현상을 보였다.

돼지고기 양념갈비 구이 시 배출되는 미세입자의 주요성분은 OC (67.700%) > Cl⁻ (5.986%) > K⁺ (4.572%) > Cl (2.880%) > K (2.554%) > Na⁺ (2.020%) > EC (1.143%) > Na (1.053%) > SO₄²⁻ (1.015%) 이었으며 원소성분 중 Zn과 Pb의 비율이 각각 0.325, 0.351%로 소고기와 같은 높은 비율을 나타내었다. OC의 비율은 생고기인 삼겹살에 지방성분이 많이 포함되어 있기 때문에 양념갈비에 비하여 삼겹살구이 시 더 높은 비율을 나타낸 것으로 판단된다. EC의 경우 생고기가 양념고기보다 약 4배 정도 높게 측정되어서 소고기 구이때와 다른 결과를 나타내었다(표 3).

외국의 경우 돼지고기를 구워먹는 문화가 흔하지 않기 때문에 본 연구의 결과와 비교할 외국의 배출원 구성물질 성분비 자료를 확보하지 못하였다.

Table 4. Meat cooking source profiles for pork (weight percent of mass).

Species	Raw pork chop (n=10)	Spiced pork rib (n=12)
	PM _{2.5} ±Uncertainty	
Na	1.722±0.557	1.053±0.192
Mg	0.118±0.171	0.157±0.055
Al	0.139±0.081	0.159±0.026
Si	0.008±0.028	0.006±0.009
P	0.005±0.025	0.000±0.008
S	0.295±0.026	0.548±0.009
Cl	2.891±0.019	2.880±0.012
K	2.435±0.012	2.554±0.006
Ca	0.067±0.035	0.049±0.011
Ti	0.010±0.008	0.031±0.003
Cr	0.000±0.003	0.000±0.001
Mn	0.001±0.026	0.002±0.008
Fe	0.004±0.002	0.006±0.001
Ni	0.000±0.013	0.000±0.004
Cu	0.002±0.023	0.005±0.007
Zn	0.463±0.026	0.325±0.009
Br	0.025±0.004	0.018±0.001
Cd	0.002±0.017	0.006±0.005
Pb	0.386±0.008	0.351±0.003
Cl ⁻	2.658±0.266	5.986±0.599
NO ₃ ⁻	0.455±0.045	0.557±0.056
SO ₄ ²⁻	0.760±0.076	1.015±0.101
Na ⁺	1.565±0.156	2.020±0.202
NH ₄ ⁺	0.100±0.010	0.160±0.016
K ⁺	2.453±0.245	4.572±0.457
Mg ²⁺	0.025±0.002	0.009±0.001
Ca ²⁺	0.124±0.012	0.000±0.000
OC	77.229±3.974	67.700±3.389
EC	4.736±0.386	1.143±0.113

3.3 닭고기 및 오리고기구이 시 미세먼지 성분 특성

닭고기와 양념된 오리고기 구이 시 발생하는 미세먼지의 배출원 구성물질 성분비 자료를 개발하기 위하여 참나무 숯을 고기구이용 연료로 사용하여 구이 시 발생하는 미세먼지에 대하여 질량농도, 이온, 원소, 원소탄소 및 유기탄소성분을 분석하였다. 닭고기와 오리고기구이 시 발생하는 미세먼지에 대한 배출원 구성물질 성분비 결과는 표 5에 나타내었다.

표 5에서 닭고기구이 시 배출되는 미세먼지의 주요성분은 OC (76.119%)>K⁺ (2.697%)>K (2.157%)>Cl⁻ (2.009%)>Cl (1.448%)>EC (0.718%)>NO₃⁻ (0.404%)>SO₄²⁻ (0.313%) 등 이었으며, 소고기구이와 돼지고기구이와는 다르게 원소성분 중 Zn과 Pb의 비율이 거의 나타나지 않은 것이 특징이라고 할

수 있다. 본 연구의 결과와 U.S. EPA (2006)의 구성비를 비교해 보면, EPA의 구성비는 OC와 EC의 비율이 각각 95.5675, 2.7896%로 본 연구에 비하여 매우 높은 비율을 보였으며 반면에 K⁺, K, Cl⁻, Cl, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na 등의 성분이 U.S. EPA 성분비에 비하여 본 연구결과가 높게 나타났다.

양념된 오리고기구이 시 배출되는 미세먼지의 주요성분은 OC (61.289%)>K⁺ (4.024%)>Cl⁻ (2.940%)>K (2.650%)>Cl (1.760%)>EC (1.029%)>NO₃⁻ (0.958%)>SO₄²⁻ (0.668%)으로 성분비의 구성은 닭고기 구이와 유사한 경향을 나타내었다.

3.4 CMB 적용 및 평가

본 연구에서 개발한 고기구이 배출원에 대한 배출원 구성물질 성분비를 CMB 수용모델에의 활용가능성을 평가하기 위하여 CMB모델 (version 8.2)을 이용하여 배출원 기여도를 추정하였다. 본 연구에서 개발된 배출원 구성물질 성분비 자료를 모델을 통해 실제 도시대기의 미세먼지 측정자료에 적용하기 위한 연구 자료는 본 저자가 미세먼지에 대하여 측정된 자료 중 2008년 1월 14일 광양지역에서 측정된 미세먼지 자료를 사용하였다. 비교 평가를 위하여 동일한 측정자료에 대하여 배출원별 구성물질 성분비 자료에 고기구이 배출원을 포함한 것과 포함하지 않은 것을 수행하여 얻은 결과를 비교 평가하여 표 6에 정리하여 나타내었다. 배출원 기여도 추정에 사용한 배출원별 구성물질 성분비 자료는 본 연구진이 자체적으로 개발한 값을 사용하였다.

표 6에 나타낸 바와 같이 환경측정치에 대한 배출원 기여도를 추정한 결과 CMB 수용모델의 자체적인 진단요소인 R-square의 경우, 각각 1.00, 1.00으로 매우 양호한 값을 보였다. 두 번째 진단요소인 Chi-square의 경우, 각각 1.72, 2.94를 나타내어 적절한 범위의 값을 나타내었다. 세 번째 진단요소인 Percent mass는 각각 96.3, 101.4의 범위 값으로 적절한 값의 범위라고 할 수 있다. 모델수행결과 고기구이를 포함하여 기여도를 추정한 결과 고기구이에 의한 기여도가 0.01 µg/m³으로 적은 농도이지만 미세먼지의 배출원임을 알 수 있다. 따라서 고기구이집이 많은 대도시에서는 PM_{2.5}의 상당한 양이 고기구이집에서 배출될 것으로 판단되어 PM_{2.5} 기여도 추정에 관한 모델 수행 시 고기구이 배출원이 포함되어야 정확한 결과

Table 5. Meat cooking source profiles for chicken and spiced duck (weight percent of mass).

Species	Chicken (n=3)	Spiced duck (n=3)	U.S. EPA (2004) (profile 4338)
	PM _{2.5} ± Uncertainty		
Na	0.213 ± 0.089	0.374 ± 0.234	0.0986 ± 0.0995
Mg	0.125 ± 0.030	0.117 ± 0.081	0.0131 ± 0.0097
Al	0.092 ± 0.013	0.118 ± 0.034	0.0235 ± 0.0038
Si	0.003 ± 0.005	0.057 ± 0.014	0.0893 ± 0.0086
P	0.005 ± 0.004	0.003 ± 0.012	0.0005 ± 0.0022
S	0.093 ± 0.005	0.175 ± 0.013	0.0824 ± 0.0094
Cl	1.448 ± 0.006	1.760 ± 0.011	0.0597 ± 0.0057
K	2.157 ± 0.004	2.650 ± 0.008	0.0430 ± 0.0044
Ca	0.119 ± 0.006	0.109 ± 0.016	0.0987 ± 0.0168
Ti	0.000 ± 0.001	0.000 ± 0.004	0.0000 ± 0.0111
Cr	0.000 ± 0.000	0.001 ± 0.001	0.0002 ± 0.0008
Mn	0.007 ± 0.004	0.002 ± 0.012	0.0014 ± 0.0004
Fe	0.002 ± 0.000	0.003 ± 0.001	0.0437 ± 0.0044
Ni	0.000 ± 0.002	0.000 ± 0.006	0.0005 ± 0.0002
Cu	0.001 ± 0.004	0.000 ± 0.011	0.0080 ± 0.0008
Zn	0.002 ± 0.004	0.000 ± 0.012	0.0120 ± 0.0011
Br	0.003 ± 0.001	0.003 ± 0.002	0.0014 ± 0.0002
Cd	0.000 ± 0.003	0.001 ± 0.008	0.0000 ± 0.0028
Pb	0.001 ± 0.001	0.000 ± 0.003	0.0005 ± 0.0011
Cl ⁻	2.009 ± 0.201	2.940 ± 0.294	0.0354 ± 0.0432
NO ₃ ⁻	0.404 ± 0.040	0.958 ± 0.096	0.0636 ± 0.0398
SO ₄ ²⁻	0.313 ± 0.031	0.668 ± 0.067	0.1138 ± 0.0924
Na ⁺	0.240 ± 0.024	0.316 ± 0.032	0.0602 ± 0.0097
NH ₄ ⁺	0.046 ± 0.005	0.078 ± 0.008	0.000 ± 0.0396
K ⁺	2.697 ± 0.270	4.024 ± 0.402	0.0196 ± 0.0053
Mg ²⁺	0.050 ± 0.005	0.039 ± 0.004	-
Ca ²⁺	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-
OC	76.119 ± 3.838	61.289 ± 3.479	95.568 ± 11.1231
EC	0.718 ± 0.067	1.029 ± 0.145	2.790 ± 0.7892

Table 6. Source contributions obtained from CMB model.
(unit: µg/m³)

Source type	Result (include meat cooking)	Result (except meat cooking)
Soil	0.00	1.04
Meat cooking	0.01	-
Gasoline vehicles	1.98	1.84
Diesel vehicles	0.10	0.00
Steel	0.53	0.00
Industrial Boiler	0.32	0.20
Marine aerosol	0.00	0.01
Biomass burning	10.49	11.88
Coal-fired power plant	0.87	0.86
Ammonium sulfate	3.87	3.93
Ammonium nitrate	11.09	11.05
Measured mass	30.4	30.4
Calculated mass	29.3	30.8
R-square	1.00	1.00
Chi-square	1.72	2.94
Percent mass	96.3	101.4

를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고기구이 시 배출되는 미세입자 (PM_{2.5})에 대한 배출원 구성물질 성분의 특성을 조사하였는데, 특성 조사결과는 다음과 같다.

1) 소고기구이 시 배출되는 미세입자의 주요 구성 성분은 OC (73%)와 EC (2.3%)를 합하여 탄소성분의 함량이 75%로 매우 높은 수준을 보였으며, 원소성분으로는 K⁺, Cl⁻, K, Cl, Na⁺의 비율이 높았으며 우리나라의 경우 소금을 포함한 양념의 사용으로 이와 같은 성분 특성을 나타낸 것으로 판단된다.

2) 돼지고기구이 시 배출되는 미세입자의 주요 성분은 OC, EC, Cl, Cl⁻, K⁺, K, Na⁺ 등의 비율이 높게

나타나 소고기구이 시와 유사한 경향을 보였으며 금속성분인 Zn과 Pb의 비율이 각각 0.463, 0.386%로 높은 비율을 나타내었다. 생고기인 삼겹살에 지방성분이 많이 포함되어 있기 때문에 양념갈비에 비하여 삼겹살구이 시 OC의 비율이 더 높은 비율을 나타내었다.

3) 닭고기와 오리고기구이 시 배출되는 미세먼지의 주요성분은 OC, K⁺, K, Cl⁻, Cl, EC, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등으로 두 종류 모두 유사하였으며 금속성분 중 Zn과 Pb의 비율이 거의 나타나지 않은 것이 특징이라고 할 수 있다.

4) 고기구이에 대한 배출원 구성물질 성분비 자료를 모델에 적용하여 평가한 결과 R-square, Chi-square, Percent mass 등의 자체적인 진단결과가 적절한 수준을 나타내었으나, 실제 적용 시 식물연소 등과의 공선성 문제가 발생할 가능성이 크기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(R01-2007-000-20313-0)을 받아 수행된 연구임.

References

Dockery, D.W., C.A. Pope III, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, E.F. Martha, B.G. Ferris Jr., and F.E. Speizer (1993) An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *New England Journal of Medicine*, 329, 1753-1759.

He, L.-Y., M. Hu, X. Feng-Huang, B.-D. Yu, Y.-H. Zhang, and D.-Q. Liu (2004) Measurement of emissions of fine

particulate organic matter from Chinese cooking, *Atmos. Environ.*, 38, 6557-6564.

Kleeman, M.A., J.J. Schauer, and G.R. Cass (1999) Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling and cigarettes, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3516-3523.

NHERI (2013) <http://www.nheri.re.kr>

Pope III, C.A., R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito, and G.D. Thurston (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *Journal of American Medical Association*, 287, 1132-1141.

Schauer, J.J., M.A. Kleeman, G.R. Cass, and B.R.T. Simoneit (1999) Measurement of emissions from air pollution sources. I. C1 through C29 organic compounds from meat charbroiling, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 1566-1577.

Schauer, J.J., W.F. Rogge, L.M. Hildemann, M.A. Mazurek, and G.R. Cass (1996) Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers, *Atmos. Environ.*, 30(22), 3837-3855.

Schwartz, J., D.W. Dockery, L.M. Neas, D. Wypij, J.H. Ware, J.D. Spengler, P. Koutrakis, F.E. Speizer, and B.G. Ferris (1994) Acute effects of summer air-pollution on respiratory symptom reporting in children, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 150, 1234-1242.

Schwartz, J., D.W. Dockery, and L.M. Neas (1996) Is daily mortality associated specifically with fine particles?, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 46, 927-939.

Thurston, G.D., K. Ito, C.G. Hayes, D.V. Bates, and M. Lippmann (1994) Respiratory hospital admissions and summertime haze air pollution in Toronto, Ontario: Consideration of the role of acid aerosols, *Environ. Res.*, 65, 271-290.

U.S. EPA (2006) SPECIATE 4.0 Speciation database development documentation.

Watson, J.G. (1984) Overview of receptor model principles, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 34, 619-623.