

고기구이에서 발생하는 입자상물질의 배출특성에 관한 연구

The Study on the Emission Characteristics of Particulate Matters from Meat Cooking

봉춘근[†] · 박성진 · 박성규* · 김종호** · 황의현***

CK Bong[†] · SJ Park · SK Park* · JH Kim** · YH Hwang***

(주)그린솔루스 · *(주)케이에프이앤이 · **한서대학교 환경공학과 · ***경북도립대학 토목과
Greensouls · *KF E&E Co. Ltd. · **Department of Environmental Engineering, Hanseo University
***Department of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

(2010년 3월 4일 접수, 2011년 3월 30일 채택)

Abstract : Emission from meat cooking may contribute to the concentration of the Particulate Matters(PM) in the city. This study is to investigate the particle size and the emission characteristics of particulate matters from pork and beef cooking. The chamber was installed for sampling of PM generated from pork belly and beef sirloin cooking including seasoned ones. Cascade Impactor and Portable Aerosol Monitor (PAM) were used to analyse the particle size distribution. At the result of the Cascade Impactor sampling, particulate matters from the pork cooking was higher than that of beef. The gravimetric concentration of PM according to the size was highest at the range of 1.95~3.2 μm and the gravimetric concentration of PM from the non-seasoned meat was higher than that of the seasoned one. The emission factors from pork, pork seasoned, beef and beef seasoned were 1.36 g/kg, 1.03 g/kg, 1.23 g/kg, 0.92 g/kg respectively. To see the result of PAM sampling, the ranges of 1.6~2.5 μm and 2.5~3.5 μm were revealed as highest. The ration of $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ from pork and beef was 0.56~0.58. The emission factors from pork, pork seasoned, beef and beef seasoned measured by PAM were revealed as 3.37 g/kg, 2.76 g/kg, 2.93 g/kg, 2.77 g/kg respectively.

Key Words : Meat Cooking, Particulate Matter, Emission Factor, Particle Size

요약 : 본 연구는 최근 들어 대도시 대기오염물질의 주요 배출원 중 하나로 대두되고 있는 음식점 고기구이로부터 배출되는 미세먼지의 배출 특성에 대하여 연구한 것이다. 본 연구에서는 돼지고기와 소고기의 구이 시 발생하는 미세 입자상물질의 배출특성을 파악하기 위해 고기구이 시 발생하는 미세먼지를 효과적으로 채취할 수 있는 고기구이 챔버를 제작하였으며, 다단충돌식 입경분리기와 광산란식의 미세먼지 측정기를 사용하였다. 연구 결과 다단충돌식 입경분리기를 사용하여 측정된 미세먼지 농도 결과에서는 전반적으로 돼지고기의 경우가 소고기보다 높게 나타났다. 미세먼지의 입경분포 특성을 살펴본 결과 돼지고기와 소고기 모두 1.95~3.2 μm 의 입경에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 고기 1 kg당 배출되는 미세먼지의 배출계수는 돼지생고기, 돼지양념고기, 소생고기, 소양념고기에서 각각 1.36 g/kg, 1.03 g/kg, 1.23 g/kg과 0.92 g/kg으로 나타났다. 광산란식 측정기를 사용하여 측정된 결과에서는 돼지고기와 소고기 모두 1.6~2.5 μm 와 2.5~3.5 μm 입경에서 가장 높은 농도로 나타나 2.5 μm 를 중심으로 높은 농도로 나타난 다단충돌식 결과와 유사한 특성을 보였다. 광산란식에 의해 측정된 배출계수는 돼지생고기, 돼지양념고기, 소생고기, 소양념고기에서 각각 3.37 g/kg, 2.76 g/kg, 2.93 g/kg과 2.77 g/kg으로 나타나 다단충돌식 결과보다 2배에서 3배 이상 높게 측정되었다. 또한 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 의 비는 돼지생고기, 돼지양념, 소생고기, 소양념고기에서 각각 0.56, 0.58, 0.56 그리고 0.58로 나타나 중량농도에서도 $\text{PM}_{2.5}$ 가 많음을 알 수 있었다. 중량농도를 입자의 비중을 1로 가정하여 산출한 개수농도로 환산한 결과를 보면 다단충돌식 입경분리기로 측정된 결과는 10^{19} 개로 나타났고, 광산란식으로 측정된 결과에서는 10^{16} 개 수준으로 나타나 다단충돌식 입경분리기의 경우에서 보다 높은 것으로 나타났다.

주제어 : 고기구이, 입자상물질, 배출계수, 입경분포, 다단충돌식 입경분리기

1. 서론

최근 도시의 인구증가와 육류의 소비율이 높아짐에 따라 고기구이 음식점에서 배출되는 미세먼지가 전체 미세먼지의 주요 배출원 중 하나로 대두되고 있다. 고기구이에 의한 미세먼지는 유적 및 각종 유기성 에어로졸, 미연탄소분 등 유해대기오염물질을 포함하며, 직접적인 건강상의 위해 및 2차오염도 유발하고 있다.¹⁾ 또한 최근 환경에 대한 시민들의 인식이 높아져 음식점 악취 및 먼지 등에 대한 민원도 지속적으로 증가하고 있으나, 대부분의 고기구이 음식점이 경제성 등을 이유로 방지시설을 설치하지 않고 있어 향후 적극적으로 해결해야 할 도시 생활형 공해로 그에 대한 보다

심층적인 연구가 필요한 실정이다.

미국의 경우에는 캘리포니아 등의 일부 도시에서 고기구이 먼지 배출에 관한 규칙을 제정하여 시행하고 있다. 일본에서도 고기구이 음식점의 경우 도쿄 및 요코하마시 등의 각 지자체에서 조례 등을 제정하여 미세먼지에 대한 규제를 시행하고 있으며,³⁾ 다양한 연구 및 시범사업 등이 진행되고 있다.

그러나 국내에서는 최근이야 그에 대한 연구가 시작되고 있는 단계로 고기구이에 의한 배출계수 및 배출특성 등의 연구가 부족한 실정이다. 따라서 보다 신뢰적이고 체계적인 관리를 위하여 고기구이에 의한 미세먼지의 배출원 분류 및 배출계수의 산정 등 특성파악이 향후 방지장치 설치 및

[†] Corresponding author E-mail: greenbeemai@naver.com Tel: 070-8290-5056 Fax: 0505-829-5060

관리정책 수립 등에 반드시 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 소고기, 돼지고기 구이 시에 발생하는 유적 등 미세먼지의 배출농도, 배출계수 등의 배출특성을 파악하고, 미세먼지의 입경별 분포를 분석하여 향후 관리방안 및 방지장치의 도입 시 기초자료로 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험조건

고기구이 시 발생하는 미세먼지의 채취를 위해 챔버를 제작하여 설치하였으며, 고기의 종류는 음식점에서 가장 많이 소비되는 소고기(등심)와 돼지고기(삼겹살)로 선정하였다(Fig. 1). 연료는 부탄가스로 하였으며, 불판은 철판으로 설치하여 각 3회에 걸쳐 같은 조건하에 채취하였다.³⁾

또한, 소고기와 돼지고기는 생고기와 양념고기로 구분하여 각각의 배출량 및 배출특성을 파악하였다. 실험 시 사용한 고기의 양은 1 kg으로 하고, 매회 1시간 동안 일반인이 먹을 수 있을 정도로 타지 않게 익히면서 측정하였다.

2.2. 실험방법

휴대용 가스렌지에 일반적으로 사용하는 고기구이용 철판위에서 고기구이를 시행하였으며, 발생하는 미세먼지를 채취하기 위해 챔버를 자체제작하고 샘플링 위치의 후단에 송풍기를 가동하여 챔버상단으로 발생먼지가 배출되도록 설치하였다.

후드와 연결된 덕트는 내경 8.5 cm의 알루미늄 주름덕트를 사용하였고, 덕트의 길이는 6 m로 하였다. 덕트의 후단 부분에 송풍기(송풍용량 3.75 m³/min)를 설치하고 일정한 풍량을 유지하여 가능한 고기구이 철판으로부터 발생하는 미세먼지를 모두 채취할 수 있도록 하였다.⁴⁻⁶⁾

시료 채취부는 챔버에서 1 m 떨어진 덕트부분에 직경의 5 배 이상 유속의 흐름이 급격하지 않은 직관이 유지되는 부

분에 설치하였고, 유속 등을 동시에 측정하면서 시료를 채취하였으며, 이때 온도의 범위는 33~35℃를 유지하였다.

실험용 고기는 국내산 소고기(등심)와 돼지고기(삼겹살) 냉장육을 사용하였으며, 양념은 소고기와 돼지고기의 경우 고기구이 식당에서 제공하는 양념육을 구입하여 사용하였다.

고기구이 시 철판위에 발생하는 기름 및 양념 등은 실험 시간 동안은 철판 밑으로 떨어지는 것 이외에 인위적으로 닦아내지는 않았으며, 그에 따른 고기구이 시 발생하는 유적이나 수분이 가능한 챔버를 통해 모두 채취되도록 하였다.

미세먼지의 채취는 두 가지 방법을 동시에 사용하였는데, 먼저 다단충돌식 입경분리기(Cascade Impactor Model Mark III, Anderson Co. USA)는 부유입자상 물질을 입경별로 나누어 채취하는 방법으로 제트 플레이트(jet plate), 관성채취판, 말단여지(backup filter), 유량계, 흡입펌프로 구성되어 있다. 이 채취기는 입경별 다단으로 구성되어 있으며, 각 단(stage)의 입경은 공기동역학적(aerodynamic) 계산에 의해서 결정된다. 하단으로 갈수록 제트 플레이트의 구멍이 작아져 노즐을 통과하는 유속이 점차로 증가하게 된다. 흡인 공기 중에 포함되어 있는 부유입자상 물질은 제트 플레이트에서 가속되고 충돌채취판에 관성충돌하여 채취되며, 여지는 Φ47 Glass Fiber (Milipore Co. Ltd.)를 사용하였다.

또 하나는 실시간의 미세먼지를 측정할 수 있는 광산란방식(Portable Aerosol Monitor (Grimm 1.109, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 사용하였으며, 등속흡인을 위해 Isokinetic channel probe (Grimm 1,152, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 사용하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 육류별 미세먼지 입경분포 특성(Cascade Impactor 측정결과)

Cascade Impactor로 측정한 돼지고기 및 소고기에 대하여 각각의 생고기와 양념고기의 입경별 분포결과를 살펴보면, PM은 전체적으로 돼지생고기의 경우가 돼지양념고기,

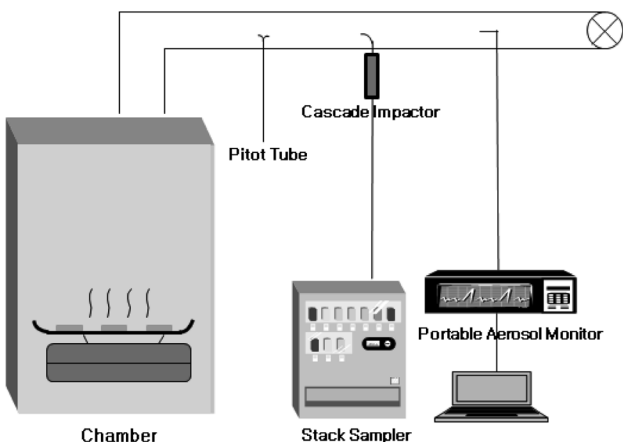


Fig. 1. Experimental diagram for the measurement of PM emission from meat cooking.

Table 1. Size distribution of particulate matters by cascade impactor (unit : μg/m³)

Size (μm)	Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning
~0.06	338	248	158	45
0.06~0.2	271	135	45	271
0.2~0.38	7	0	0	0
0.38~0.66	17	0	113	68
0.66~1.18	139	113	474	338
1.18~1.95	26	23	902	789
1.95~3.2	3,360	2,381	2,774	2,007
3.2~7	857	1,105	564	226
7~13	1,015	564	451	338
TSP (μg/m ³)	6,030	4,569	5,481	4,082

소고기의 생고기와 양념고기보다도 다소 높은 농도를 나타내었다. 돼지고기와 소고기 모두 양념고기보다는 생고기의 농도가 각 입경별로도 대부분 높게 나타났는데, 돼지고기의 경우 3.2~7 μm의 입경에서와 소고기의 경우 0.06~0.2 μm의 입경에서는 양념고기가 생고기보다 농도가 높은 경향을 나타내었다(Table 1).

총 발생먼지와 농도가 가장 높은 입경범위인 1.95~3.2 μm의 비율을 보면 돼지생고기가 55.7%, 돼지양념고기 52.1%, 소생고기 50.6%, 소양념고기 49.2%로 나타나 전체의 약 50%를 차지하였다. 이는 기존 연구²⁾에서와 유사한 결과로 대체로 2.5 μm 부근에서의 입경이 가장 높은 비율을 차지하였다(Table 1).

Fig. 2는 Table 1의 결과를 각 입경별 농도를 단위 입경간격(dp)인 1 μm를 기준으로 측정입경에서의 농도를 표현하기 위해 나타낸 것이다. 그림에서 볼 때 입경전반에 대한 농도는 중위경 2.5 μm에서의 비율이 높은 것을 알 수 있으나, 중위경 0.03 μm에서의 단위입경에 대한 농도가 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 개수농도를 고려할 경우 0.1 μm 이하의 입경에서 상당히 많은 수의 먼지가 배출되고 있음을 추측할 수 있다.

3.2. 육류별 미세먼지 입경분포 특성(광산란 방식 측정 결과)

광산란방식 먼지측정기로 측정한 입경별 분포결과를 보면 Cascade Impactor로 측정한 결과와 대체로 비슷한 경향을 나타냈으나 발생농도는 2.6배 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 광산란방식의 경우 육류에서 발생하는 수분이 실험 시 발생한 유적과 응집하여 미세먼지로 측정되었을 가능성이 있었을 것으로 추측된다. 또한, Cascade Impactor 측정 시에는 수분이 채취이후에 상당부분 증발함으로써 수분 이외의 유분과 미세먼지만이 측정됨으로써 광산란방식으로 측정된 미세먼지 총량보다 낮은 농도를 나타낸 것으로 추측된다.

육류별 PM₁₀ 농도는 생고기의 경우에는 돼지고기가 소고기보다 다소 높았는데 이는 실험에 사용된 돼지고기 삼겹살의 유분함량이 소고기 등심에 비해 많은 것에 기인한 것으로 추정된다.

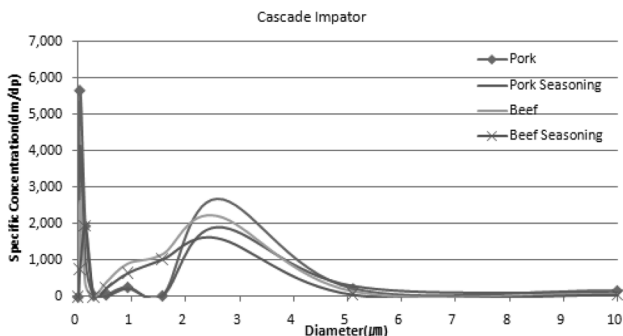


Fig. 2. Size distribution of particulate matters from pork and beef cooking measured by cascade impactor.

Table 2. Size distribution of particulate matters by portable aerosol monitor (unit : μg/m³)

Size (μm)	Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning
0.22~0.28	274	231	232	201
0.28~0.35	389	312	394	352
0.35~0.45	673	542	572	568
0.45~0.58	708	578	612	578
0.58~0.7	532	495	442	491
0.7~1	772	723	711	739
1~1.6	1,351	1,208	1105	1169
1.6~2.5	3,720	3,010	3,294	3114
2.5~3.5	3,876	2,994	3,487	3104
3.5~5	2,522	2,063	2,065	1894
5.0~7.5	201	124	138	137
7.5~10	1	0	5	0
TSP (PM ₁₀) (μg/m ³)	15,019	12,280	13,057	12,347

또한, 양념고기가 생고기보다 미세먼지의 배출농도가 낮는데 이는 양념이 고기의 표면을 덮고 있어 고기구이 시 표면으로부터의 유적의 배출이 줄어들게 됨에 따라 전체 미세먼지의 농도도 낮게 나타난 것으로 판단된다(Table 2).

Fig. 3은 Fig. 2와 같은 방식을 적용하여 광산란방식으로 측정된 입경분포를 단위입경에 해당하는 값으로 표현한 것이다. 돼지고기와 소고기의 입경별 분포를 보면 모든 실험에서 1.6~2.5 μm와 2.5~3.5 μm가 비슷한 농도 수준에서 가장 높게 나타났으며, 이는 Cascade Impactor를 사용한 입경분포 실험에서와 마찬가지로 입경 2.5 μm 부근에서 미세먼지 농도가 전체농도의 상당부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

3.3. PM_{2.5}/PM₁₀의 비율 특성

Table 3은 Cascade Impactor 방식으로 입경분포를 측정된 결과인 Table 1을 활용하여 각 고기의 육류별 PM_{2.5} 이하의 입경분포 총량과 PM₁₀ 이하의 입경분포 총량을 구하여 농도분포 결과를 나타낸 것이다. PM_{2.5}/PM₁₀의 비는 돼지생고기 0.41, 돼지양념고기 0.37, 소 생고기 0.55, 소 양념고기가 0.61로 나타났다.

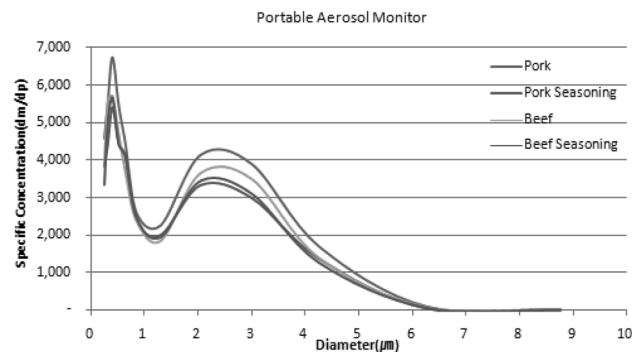


Fig. 3. Size distribution of particulate matters from pork and beef cooking measured by portable aerosol monitor.

Table 3. The concentrations and ratios of PM_{2.5} and PM₁₀ by Cascade Impactor

Items	Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning	Average
PM _{2.5} (µg/m ³)	2,276	1,567	2,913	2,394	2,288
PM ₁₀ (µg/m ³)	5,523	4,287	5,256	3,913	3,674
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.41	0.37	0.55	0.61	0.49
TSP (µg/m ³)	6,030	4,569	5,481	4,082	5,041

Table 4. The concentrations and ratios of PM_{2.5} and PM₁₀ by portable dust monitor

Items	Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning	Average
PM _{2.5} (µg/m ³)	8,419	7,099	7,362	7,212	7,523
PM ₁₀ (µg/m ³)	15,019	12,280	13,057	12,347	13,176
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.56	0.58	0.56	0.58	0.57
TSP (µg/m ³)	15,019	12,280	13,057	12,347	13,176

Table 4는 광산란방식으로 입경분포를 측정된 결과인 Table 2를 활용하여 각 고기의 육류별 PM_{2.5} 이하의 입경분포 총량과 PM₁₀ 이하의 입경분포 총량을 구하여 농도분포 결과를 나타낸 것이다. PM_{2.5}/PM₁₀의 비는 돼지생고기 0.56, 돼지양념고기 0.58, 소 생고기 0.56, 소 양념고기가 0.58로 모두 비슷한 결과를 보여주었다.

3.4. 돼지고기와 소고기의 배출계수

Fig. 4는 Cascade Impactor 및 광산란방식 먼지측정기로 측정하여 산출한 돼지고기 삼겹살 및 소고기 등심의 생고기 및 양념고기의 배출계수이다. 배출계수는 입경별 농도의 합인 PM₁₀ 농도에 유량과 측정시간을 곱하고 시료의 무

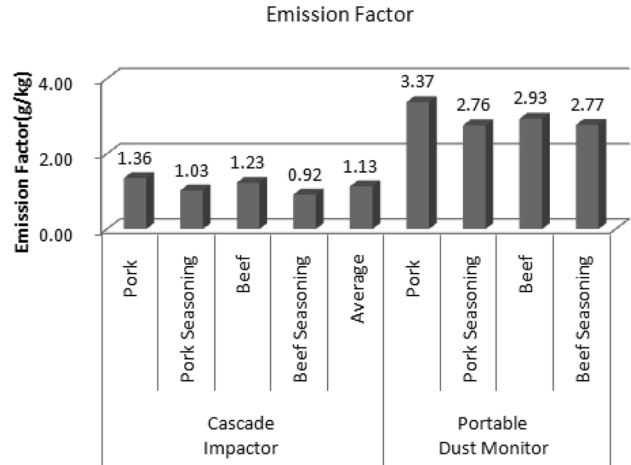


Fig. 4. Emission factors of pork and beef cooked with portable gas range.

계(1 kg)로 나누어 각 시료별 g/kg으로 나타내었다.

먼저 Cascade Impactor로 산출한 배출계수는 돼지생고기 1.36 g/kg, 돼지양념고기 1.03 g/kg, 소생고기 1.23 g/kg, 소양념고기 0.92 g/kg로 나타났으며, 광산란방식 먼지측정기로 산출한 배출계수는 돼지생고기 3.37 g/kg, 돼지양념고기 2.76 g/kg, 소생고기 2.93 g/kg, 소양념고기 2.77 g/kg로 나타났다.

이 결과는 미국 Pechan의 소고기 직화구이시 배출계수인 8.1 g/kg에 비해⁷⁾ Cascade Impactor의 경우 약 15%, 광산란방식의 경우 약 40% 정도 수준이었다. 그 이유는 Pechan의 경우 숯을 사용한 직화구이에서의 실험결과이고, 본 연구에서는 철판을 이용한 간접구이에서의 결과라서 직접 단순 비교는 어려울 수 있다.

또한, 이준복 등의 연구에서 산출된 돼지삼겹살 생고기의 배출계수는 7.59~7.95 g/kg인데,²⁾ 본 연구에서 광산란방식 먼지측정기로 산출된 돼지삼겹살 생고기의 배출계수는 3.37 g/kg로 약 43% 정도로 낮게 나타났다. 이는 직화구이와 가스렌지를 이용한 구이에 따른 차이뿐만 아니라, 고기구이 시 익힘의 정도 및 그 밖에 실험시간, 사용한 시료의

Table 5. Number concentration of particulate matters by cascade impactor

size (µm)	Mean Diameter (µm)	Particle Number Concentration (N/m ³)				Particle Mass (g)	Particle Density (g/cm ³)	Particle Volume (m ³)
		Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning			
0	0.00							
~0.06	0.03	2.4E+19	1.8E+19	1.1E+19	3.2E+18	1.4E-23	1.0	1.4E-23
0.06~0.2	0.13	2.4E+17	1.2E+17	3.9E+16	2.4E+17	1.2E-21	1.0	1.2E-21
0.2~0.38	0.29	5.5E+14	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-20	1.0	1.3E-20
0.38~0.66	0.52	2.3E+14	0.0E+00	1.5E+15	9.2E+14	7.4E-20	1.0	7.4E-20
0.66~1.18	0.92	3.4E+14	2.8E+14	1.2E+15	8.3E+14	4.1E-19	1.0	4.1E-19
1.18~1.95	1.57	1.3E+13	1.1E+13	4.5E+14	3.9E+14	2.0E-18	1.0	2.0E-18
1.95~3.2	2.58	3.8E+14	2.7E+14	3.1E+14	2.2E+14	8.9E-18	1.0	8.9E-18
3.2~7	5.10	1.2E+13	1.6E+13	8.1E+12	3.3E+12	6.9E-17	1.0	6.9E-17
7~13	10.00	1.9E+12	1.1E+12	8.6E+11	6.5E+11	5.2E-16	1.0	5.2E-16
Total		2.4E+19	1.8E+19	1.1E+19	3.4E+18	6.0E-16		6.0E-16

Table 6. Number concentration of particulate matters by portable aerosol monitor

size (μm)	Mean Diameter (μm)	Particle Number Concentration (N/m^3)				Particle Mass (g)	Particle Density (g/cm^3)	Particle Volume (m^3)
		Pork	Pork Seasoning	Beef	Beef Seasoning			
0,22								
0,22~0,28	0,25	3,3E+16	2,8E+16	2,8E+16	2,5E+16	8,2E-21	1,0	8,2E-21
0,28~0,35	0,32	2,4E+16	1,9E+16	2,4E+16	2,2E+16	1,6E-20	1,0	1,6E-20
0,35~0,45	0,40	2,0E+16	1,6E+16	1,7E+16	1,7E+16	3,4E-20	1,0	3,4E-20
0,45~0,58	0,52	9,9E+15	8,1E+15	8,6E+15	8,1E+15	7,2E-20	1,0	7,2E-20
0,58~0,7	0,64	3,9E+15	3,6E+15	3,2E+15	3,6E+15	1,4E-19	1,0	1,4E-19
0,7~1	0,85	2,4E+15	2,2E+15	2,2E+15	2,3E+15	3,2E-19	1,0	3,2E-19
1~1,6	1,30	1,2E+15	1,1E+15	9,6E+14	1,0E+15	1,2E-18	1,0	1,2E-18
1,6~2,5	2,05	8,2E+14	6,7E+14	7,3E+14	6,9E+14	4,5E-18	1,0	4,5E-18
2,5~3,5	3,00	2,7E+14	2,1E+14	2,5E+14	2,2E+14	1,4E-17	1,0	1,4E-17
3,5~5	4,25	6,3E+13	5,1E+13	5,1E+13	4,7E+13	4,0E-17	1,0	4,0E-17
5~7,5	6,25	1,6E+12	9,7E+11	1,1E+12	1,1E+12	1,3E-16	1,0	1,3E-16
7,5~10	8,75	2,9E+09	0,0E+00	1,4E+10	0,0E+00	3,5E-16	1,0	3,5E-16
Total		9,6E+16	7,9E+16	8,5E+16	7,9E+16	5,4E-16		5,4E-16

양, 기타 실험조건에 의한 차이 때문으로 판단된다.

3.5. 개략적인 개수농도 산출 결과

Table 5와 Table 6은 Cascade Impactor 및 광산란방식 먼지측정기로 측정된 자료를 활용하여 각 육류별/입경분포별 개수농도를 개략적으로 산출한 결과를 나타낸 것이다. 이때 미세먼지의 형상을 구체로 가정하고, 유적은 주로 탄소덩어리로 되어있어 밀도를 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 으로 가정하여 전체 측정된 중량을 단위입경 산출중량으로 나누어 각 입경분포별 개수농도를 산출하였다.

Cascade Impactor로 측정한 돼지고기 및 소고기의 개수농도 산출결과는 $10^{18}\sim 10^{19}$ (N/m^3)로 나타났으며, $\text{PM}_{2.5}$ 입경분포구간까지 산출된 개수농도합이 전체 개수농도합의 약 99.931~99.996%로 나타났다. 또한, Portable dust monitor로 측정한 돼지고기 및 소고기의 개수농도 산출결과는 10^{16} (N/m^3)로 나타났으며, $\text{PM}_{2.5}$ 입경분포구간까지 산출된 개수농도 합이 전체 개수농도합의 약 31.1~34.9%로 나타났다. $\text{PM}_{2.5}$ 부근 이하까지의 입경분포를 보면 발생량은 총발생량에 비해 적지만, 이에 존재하는 개수농도는 훨씬 더 많은 것으로 나타났다.

Cascade Impactor로 측정산출된 총개수농도합은 돼지 양념고기와 생고기의 경우, Portable dust monitor로 측정산출된 것에 비해 250배 정도 많은 것으로 나타났다. 또한, 소 양념고기와 생고기의 경우에는 43~131배 정도 많은 것으로 나타났다.

Table 1, 2에서의 총먼지질량농도 합과 Table 5, 6에서의 총개수농도 합을 비교분석해 보면, Cascade Impactor로 측정된 질량농도 합이 Portable dust monitor로 측정된 질량농도 합에 비해 약 33~42%에 상응하나, 산출된 개수농도 합은 이와는 반대로 Cascade Impactor로 측정산출된 개수농도 합이 43~252배로 훨씬 더 많게 나타났다.

4. 결론

본 연구결과 고기구이 시 발생하는 미세먼지의 입경분포, 배출계수 및 배출특성을 실험 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Cascade Impactor로 측정한 돼지고기 및 소고기로부터 배출되는 TSP는 돼지고기의 경우가 소고기보다 높은 농도를 나타내었다. 입경별 분포를 보면 생고기 및 양념고기 모두 $1.95\sim 3.2 \mu\text{m}$ 의 입경에서 가장 높은 것으로 나타났으며, $3.2\sim 7 \mu\text{m}$ 와 $7\sim 13 \mu\text{m}$ 입경에서도 두 번째로 높은 경향을 보여주었다.

광산란방식 먼지측정기로 측정한 입경별 분포는 Cascade Impactor로 측정한 결과와 대체로 비슷한 경향을 나타냈으나 발생농도는 2.6배 정도 높은 것으로 나타났고 생고기의 경우에는 돼지고기가 소고기보다 다소 높았는데 이는 실험에 사용된 돼지고기 삼겹살의 유분함량이 소고기 등심에 비해 많은 것에 기인한 것으로 추정된다.

전반적으로 돼지나 소고기의 양념고기가 생고기보다 미세먼지의 총 배출농도가 낮았는데 이는 양념에 의한 도포가 육류의 표면으로부터의 유적의 발생이 줄어들어 전체 미세먼지 농도도 낮게 나타난 것으로 판단된다.

배출계수는 Cascade Impactor로 산출한 결과, 돼지생고기 $1.36 \text{ g}/\text{kg}$, 돼지양념고기 $1.03 \text{ g}/\text{kg}$, 소생고기 $1.23 \text{ g}/\text{kg}$, 소양념고기 $0.92 \text{ g}/\text{kg}$ 으로 나타났고, 광산란방식 먼지측정기로 산출한 배출계수는 돼지생고기 $3.37 \text{ g}/\text{kg}$, 돼지양념고기 $2.76 \text{ g}/\text{kg}$, 소생고기 $2.93 \text{ g}/\text{kg}$, 소양념고기 $2.77 \text{ g}/\text{kg}$ 으로 나타났다. 전체적으로 돼지고기가 소고기보다 높았고, 생고기가 양념고기보다 높은 배출계수를 보여주었다.

본 연구에서 산출된 배출계수 값은 연구대상이 유사한 다른 연구에 비해 낮게 나타났는데 이는 숯을 사용한 직화구이에서 시료를 전소했을 경우보다는 가스렌지 위에 철판을 설치하여 일반인이 취식할 수 있을 정도로 익혔을 경우의

배출농도가 낮았기 때문에 판단된다. 향후 실험시간, 시료의 양, 기타 실험조건 및 방법 등을 변경하여 다양한 검증 실험을 수행할 예정이다.

개략적인 개수농도를 산출한 결과, Cascade Impactor로 측정된 돼지고기 및 소고기의 개수농도 산출결과는 $10^{18} \sim 10^{19}$ (N/m^3)로 나타났으며, Portable dust monitor로 측정된 돼지고기 및 소고기의 개수농도 산출결과는 10^{16} (N/m^3)로 나타나 입경이 큰 입자의 배출이 높은 것으로 나타나는 특성을 보였다.

사사

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술 개발사업(과제번호 : 031-091-015)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

KSEE

참고문헌

1. 안상영, 최성우, 악취오염 개론, 동화기술(2005).
2. 이준복, 김홍주, 정권, 김신도, "Hood Method를 이용한 직화구이 음식점의 미세먼지 배출특성," 한국환경보건의학회지, **35**(4), 315~321(2009).
3. 전의찬, 사재환, 김선태, 홍지형, 김기현, "생활악취 배출원의 악취배출 특성 연구," 한국대기환경학회지, **22**(3), 337~351(2006).
4. 전준민, 황의현, "서울시 실내공기질 개선을 위한 대형음식점 등의 악취오염물질 규명 및 제어방법 연구," 서울지역환경기술개발센터(2008).
5. 일본환경성 환경관리국 대기생활환경실, 탈취장치 선택가이드(2003).
6. 일본환경성 환경관리국 대기생활환경실, 악취민원 대응사례집-도쿄도에 있어서의 악취지수 및 악취중도 규제의 운용사례(2003).
7. Pechan, Methods for developing a national emission inventory for commercial cooking process: Technical memorandum(2003).