

생물성연소에서 발생하는 미세먼지의 장치별 집진 특성: 고기구이를 중심으로

Collection Characteristics of Particulate Matters from Biomass Burning by Control Devices: Mainly Commercial Meat Cooking

박성규 · 최상진* · 박건진 · 김진윤 · 봉춘근¹⁾ · 박성진¹⁾ · 김종호²⁾ · 황의현³⁾

(주)케이에프이앤이 코퍼스트R&D센터, ¹⁾그린솔루스(주)

²⁾한서대학교 환경공학과, ³⁾경북도립대학 토목과

(2011년 2월 19일 접수, 2011년 4월 30일 수정, 2011년 11월 21일 채택)

Seong-Kyu Park, Sang-Jin Choi*, Geon-Jin Park, Jin-Yun Kim,
Choon-Keun Bong¹⁾, Seong-Jin Park¹⁾, Jong-Ho Kim²⁾ and Ui-Hyun Hwang³⁾
KOFIRST R&D Center, KF E&E Co. Ltd., ¹⁾Green-solus Co. Ltd.
²⁾Department of Environmental Engineering, Hanseo University
³⁾Department of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

(Received 19 February 2011, revised 30 April 2011, accepted 21 November 2011)

Abstract

The aim of this study is to understand the characteristics of exhausting particulate matters (PM) and to control emitted PM from meat cooking restaurants. We found that $PM_{2.5}$, $PM_{5.0}$ occupy 69.2% and 98.6% of total PM from pork cooking, respectively. Therefore, we can see that it is not easy to remove PM generated from a pork cooking process. The collection efficiencies of various control devices, which are a condensing scrubber, a cyclone, an impactor, an oil filter and an electrostatic precipitator (ESP), were measured and compared. ESP had the highest collection efficiency (88.6%) and condensing scrubber had the lowest one (68.0%). However, the system recovering property should be considered to choose a control device because PM from meat cooking process are extremely stickiness. Therefore, we can recommend that ESP following an impactor or a cyclone is the best combination to remove PM generated from meat cooking restaurants.

Key words : Meat cooking, Particulate matters, Cyclone, Electrostatic precipitator, Biomass burning

1. 서 론

환경부는 1995년 1월부터 $10\mu m$ 이하의 미세먼지

(PM_{10})를 대기환경기준으로 정해서 관리하고 있다. 환경기준이 설정되어 있는 PM_{10} 에 비하여 $PM_{2.5}$ 는 농도는 낮으나 인체에 미치는 영향은 더 커서 그동안 환경기준 설정의 필요성이 제기되어 왔다. 이에 환경부는 초미세먼지 ($PM_{2.5}$)의 대기환경기준을 2015년 1월부터 시행하기로 발표하고 있다 (MOE in Korea,

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-429-0834, E-mail : kofirstene@hanmail.net

2011). 이미 미국과 EU, WHO 등에서는 PM_{2.5} 대기 환경기준을 강화하거나 신규 설정하여 적용하고 있다. 대기중 PM_{2.5} 농도가 증가하면 호흡계 질환 사망, 심혈관계 사망의 위험도는 증가하는 것으로 보고되고 있으며 (WHO, 2004), 우리나라의 대도시 미세먼지 (PM₁₀) 중 초미세먼지 (PM_{2.5})가 차지하는 비율은 약 50~80%로 상당히 높은 것으로 나타났다 (KOSEA, 2007).

서울의 경우 고기구이 음식점은 약 1만개소로 숯, 가스를 이용하여 고기를 구울 때 발생하는 미세먼지는 연간 약 500톤으로 추정하고 있다. 이는 서울시내 대기 중 배출되는 미세먼지의 약 2.4%를 차지하는 것으로 추정하고 있지만, 현재 대부분의 고기구이 음식점에서는 후드, 송풍기 등을 통한 환기만 실시하고 있는 실정으로 고기구이 음식점 등에서 배출되는 미세먼지 및 악취 등을 줄이기 위해서는 적정 방지시설의 설치가 필요하다 (Lee *et al.*, 2010).

쇠고기 및 돼지고기와 같은 육류의 조리과정에서 발생하는 유적과 유증기 등의 기름성분은 처리장치의 성능유지에 상당한 장애요소로 고려되고 있다. 이 기름성분은 온도가 낮아지면 점착성이 높아져서 장치의 표면이나 벽면에 부착 고정되어 장치의 기능을 저하시키거나 장치의 성능을 심하게 저하시키는 원인이 되고 있다. 특히, 불포화지방산과 증기인 경우에는 이를 액화하고 수집하는 과정에서 그 유적이 액체나 고체가 되면서 공기 중의 산소와 수증기 등과 반응하여 경화(硬化)되거나 고체상태의 미립자가 되어 배관과 협소부분, 굴곡 부분, 돌출 부분과 여과백, 활성탄 등의 내부 충전물질에 달라붙고 점차 덩어리가 커짐으로써, 장치의 효율을 저하시켜 유지보수와 내부 충전물질의 교환을 빈번하게 하는 등의 비용을 증가시키는 단점이 있다. 유적 및 유증기를 제거하기 위한 방법으로 흡수법 또는 세정법을 도입할 수 있겠지만, 폐수처리의 과정과 겨울철 동파의 우려 등으로 유지 관리의 어려움이 예상되기 때문에 전식 처리가 가장 유력하므로 이에 대한 해결 방안이 필요한 실정이다 (Park *et al.*, 2009).

싸이클론의 미세먼지 처리의 효율 향상을 위한 연구에서 Yoshida *et al.* (2009)은 중위경 (median diameter)이 1.8 μm인 입자 처리의 효율을 향상시키기 위해 2차 유량을 추가하는 방법과 유입 가이드 플레이트 방법을 통하여 기존의 일반적인 싸이클론보다

집진효율을 향상시킬 수가 있다고 하였다. 또한, Kang *et al.* (2000)은 일반 싸이클론에서는 전체 집진 효율이 가스의 유입속도가 약 13 m/s 정도에서 최고 값을 보이지만, 2단 선회류 약화가 싸이클론에 도입할 경우 약 17 m/s까지 집진효율이 증가한다고 하였다. 일반적으로 초미세먼지를 처리하기 위한 전기집진기는 설치비가 많이 들고 비저항 (resistivity)이 큰 입자는 제거하기 힘들다는 단점이 있는 반면, 저 동력으로 많은 유량을 처리할 수 있고 광범위한 온도 범위에서 설계가 가능한 장점이 있으며, 작은 입자에 대한 상대적 집진효율이 높기 때문에 산업 및 공기정화용 집진 장치로 널리 이용되고 있다. 1단식 전기집진기는 소각장, 용광로, 발전소 등에서 발생하는 배출가스를 정화하는데 사용되며, 용접 작업장이나 가공 공장에서 발생하는 용접 흄 (fume), 오일 미스트 (oil mist) 등의 처리와 일반 공조용으로 2단식 전기집진기가 적합하다 (Hwang and Park, 2001; Park and Park, 2000; Park *et al.*, 2000)고 하였다.

따라서, 도심의 미세먼지 저감을 위해 생물성연소의 주요 배출원인 고기구이 음식점에서 배출되는 미세먼지의 특성을 파악하고, 이에 가장 적합한 저감수단이 무엇인지 파악하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 고기구이 음식점에서 배출되는 유적과 미세먼지의 배출특성과 이에 대한 장치별 집진 특성을 파악하여 실제 고기구이 음식점 제거장치 적용에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 고기구이 음식점에서 배출되는 미세먼지의 배출특성과 방지시설의 효율을 파악하기 위하여 고기를 구울 수 있는 실제 불판을 사용하여 발생하였고, 후드와 덕트를 설치하여 송풍기를 통하여 배출하도록 하였다. 실험에 사용한 고기의 종류는 현재 국내에서 가장 많이 판매되고 있는 대표적인 육류로 돼지고기를 선정하였으며, 구이형태로는 생 돼지고기 (삼겹살)를 선정하여 실험하였다. 국내에서는 고기를 굽기 위해서 숯과 가스를 많이 이용하지만, 고기구이 시 일정한 온도 조건을 유지하기 위하여 고기구이 열원으로는 그림 1과 같은 전기그릴팬을 이용하여 불판의 온도를 강으로 고정하여 사용하



Fig. 1. Meat cooking method (a) and oil mist generation for long time test (b).

였다. 매회 실험에 사용한 고기의 양은 500g으로 동일하게 하였고, 구이 시간도 30분 정도로 일반인이 먹을 수 있을 정도로 일관성 있게 타지 않을 정도로 각각 3회 반복 실험을 실시하였다. 또한, 고기구이의 유적 및 미세먼지 발생에 따른 처리장치의 장기 운전 효과를 파악하기 위하여 지방이 많은 부위의 돼지고기를 가열하여 얻은 돼지기름을 가열하여 미세먼지의 발생을 정성적으로 재현하였다. 현장조사결과 고기구이 음식점의 1개 테이블 당 송풍기 처리유량은 3~5 m³/min로 파악되었으며, 각 처리장치의 실험에서 처리유량은 5 m³/min로 동일하게 설정하였다. 이송 덕트의 내경은 10cm하여 덕트 내부의 유속은 10m/s 이상 유지되어 이송 도중에 침착되지 않도록 하였다.

고기구이 음식점에서 발생하는 미세먼지를 제거시키는 처리장치의 구성은 후드 및 덕트를 통하여 배출되는 가스를 유입하여 미세먼지를 조대화하기 위하여 응축 및 냉각시키는 장치, 원심력을 이용한 싸이클론 집진장치, 관성충돌 집진장치, 유분필터를 이용한 제거장치, 전기집진기를 이용한 제거장치로 구성하였다. 장치의 구성을 모듈화함으로써 발생 특성에 따라 적합한 모듈을 조합하여 적용 가능하도록 구성하였다.

발생된 미세먼지를 후드를 통해 흡인한 후 발생지점으로부터 약 1m가 지난 지점에서 측정을 하였다. 이 지점에서의 측정 결과를 발생 농도로 하였다. 실험 장치의 구성과 측정지점은 그림 2와 같으며, 미세먼지의 측정 위치는 덕트 내부의 중심으로 하였다.

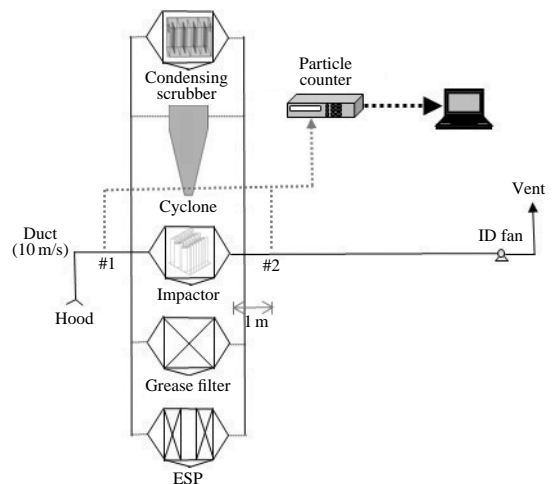


Fig. 2. Schematic diagram of control method modules from meat cooking restaurants (#1: sampling point upstream of control devices, 1 meter away from generation point).

집진효율 측정에 사용한 측정기는 32채널 [0.25~32 μm (31channels), >32 μm]의 먼지입경을 측정할 수 있는 광산란 방식의 Grimm 1.109 (Portable Aerosol Monitor, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 사용하였으며, 등속흡인을 위해 Grimm 1.152 (Iso-kinetic channel probe, Grimm Aerosol Technik, Germany)를 사용하였다. 또한, 미세먼지의 측정에 사용한 probe 및 노즐은 매회 실험에 사용한 후 세척하여 사용하였다. 입경별 측정 결과는 광학적지검의 개수

농도이며, 이를 C-factor (C-factor=칭량한 필터의 무게/기기에 의한 이론적 필터의 무게) 값을 '1'로 가정하여 무게농도로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세먼지 발생 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지를 제거하는 장치의 제거 특성을 파악하기 위하여 생 돼지고기를 이용하여 발생 특성을 파악하였다. 처리장치는 가동하지 않은 상태에서의 발생농도는 각 측정지점에서 3회 실험을 실행하고, 이를 각 지점의 평균값으로 하였다. 각 지점에서의 입경분포는 생 돼지고기의 경우는 그림 3과 같이 나타났으며, 입경별 누적 분포는 그림 4와 같이 나타났다.

생 돼지고기의 경우 발생농도는 입경 2.5µm 영역에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, PM_{2.5}가 전체 미

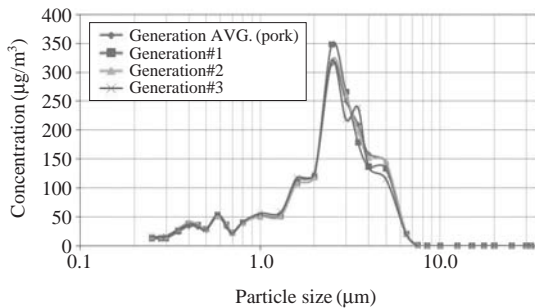


Fig. 3. Particle size distribution from pork belly cooking.

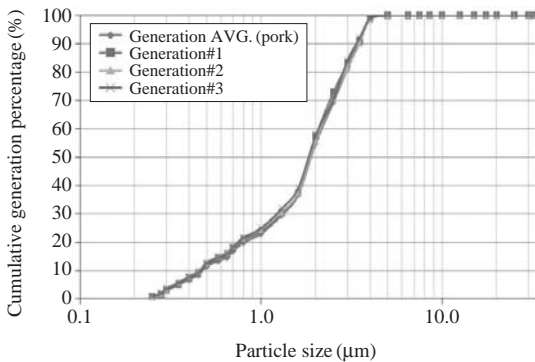


Fig. 4. Cumulative particle size distribution from pork belly cooking.

세먼지 중 약 69.2%를 차지하였으며, PM_{5.0} 이하의 입경이 98.6% 이상으로 나타났다. 이는 Lee *et al.* (2009)이 돼지 삼겹살과 목살을 대상으로 한 실험 결과와 유사하게 나타났다. 먼지의 입경별 질량 농도는 PM₁₀이 총 배출된 먼지 중 99.2~99.5%를 차지하는 것으로 나타났으며, 생 돼지고기의 발생 농도는 평균 약 1,750.9 µg/m³로 나타났다.

고기구이에서 발생하는 미세먼지를 제거하는 장치의 장기적인 제거 특성을 파악하기 위하여 생 돼지고기를 구울 때 발생하는 미세먼지의 입경분포를 재현하는 방법으로 돼지기름을 230°C로 가열하는 방법을 선택하였다. 생 돼지고기와 230°C로 가열한 돼지기름에서 발생하는 미세먼지의 발생은 그림 5와 같이 나타났으며, 돼지기름에서 발생하는 미세먼지 농도는 생 돼지고기의 경우 보다 약 20배 정도 높게 발생하였지만, 입경별 분포는 비슷하게 나타났다.

돼지기름의 경우는 가열 온도에 따른 발생농도를 파악하기 위하여 기름의 온도를 190°C에서 230°C까지 가열을 했을 때 약 220°C에서 백연이 발생하기 시작하여, 발생농도가 급격히 높게 나타났으며, 230°C에서 생 돼지고기와 비슷한 입경별 분포를 보이는 것을 확인하였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 고기구이 중 생 돼지고기에서 발생하는 미세먼지의 발생 특성이 입경분포가 동일하고, 유적의 점착성이 동일하다고 가정하고, 각각의 처리 장치별 처리효율 실험에 적용하여 결과를 분석하였다.

3.2 응축 및 냉각에 의한 제거 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지의 냉각에 의한 응축 효과에 의한 입자의 조대화가 처리장치의 효율

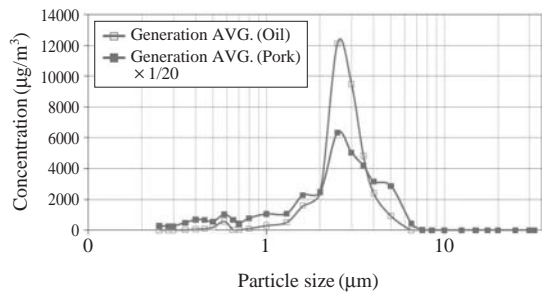


Fig. 5. Comparison of particle size distribution from pork belly cooking and pork oil.

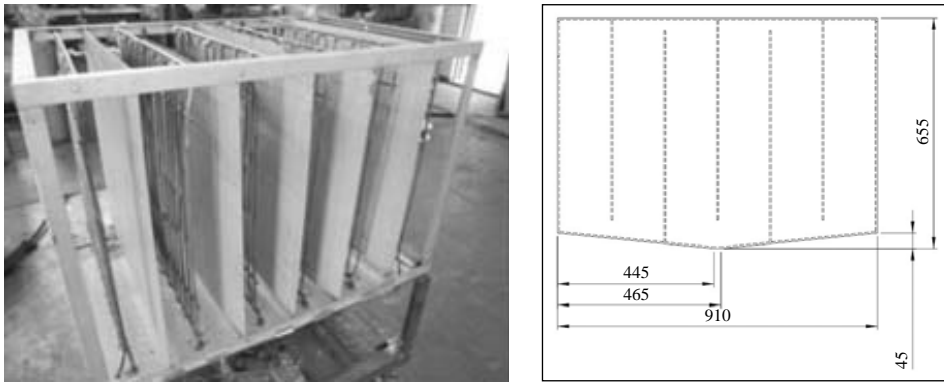


Fig. 6. Condensing scrubber to remove particulate matters.

에 미치는 영향을 파악하기 위하여 발생장치 후단에 컴프레샤 냉각장치를 설치하였다. 컴프레샤 냉각장치의 크기는 600 mm (W) × 640 mm (H) × 900 mm (L)로 냉각코일을 6열로 구성하였다(그림 6).

생 돼지고기를 구울 때 발생하는 배출가스의 온도는 발생 1 m 지점에서는 43°C로 나타났으며, 컴프레샤 냉각장치를 통과한 후의 1 m 지점에서의 온도는 35°C로 약 8°C 정도의 온도 강하가 나타났다. 생 돼지고기에서 발생한 미세먼지의 입경분포와 컴프레샤 냉각장치를 통과한 후의 입경분포는 유사하게 나타났다지만, 제거 효율은 약 68.0%로 나타났다. 이는 온도에 의한 응축 및 냉각 효과에 의한 것이라기보다는 냉각 챔버 내의 냉각 코일과 격벽에 의한 접촉 차단 효과로 인한 제거로 판단된다 (Lee and Park, 2010a). 생 돼지고기 구이로부터 발생한 미세먼지를 응축기를 이용하여 제거할 경우, 응축에 의한 크기 성장과 중력침강에 의한 제거가 거의 없기 때문에 제거되는 먼지들은 관성 또는 난류확산에 의한 것임을 알 수 있다.

3. 3 싸이클론에 의한 제거 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지의 싸이클론에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 입구 유속이 12 m/s이고, 몸통직경 (D)이 12 cm, 전체길이가 84 cm로 한 표준 싸이클론을 제작하여 실험하였다.

생 돼지고기의 처리 효율은 약 86.1%로 나타났다. 이는 싸이클론의 경우 2.5 μm 이하의 초미세입자 처리에는 상대적인 처리 효율이 낮은 것을 반영한다고

판단된다. Lee and Park (2010b)은 음식점에서 배출되는 악취와 미세먼지를 처리하기 위하여 흡착제를 에어로졸화하여 덕트 상에 분사하고 이를 싸이클론으로 제거하여 악취와 미세먼지를 제거하는 기술을 제안하였다. 따라서, 실험에 사용한 싸이클론은 표준형으로 10 μm 이하의 미세먼지를 고효율로 처리하기에는 한계가 있지만, 고기구이에서 발생하는 미세먼지는 일반적인 산업용 배출가스 중의 미세먼지보다 점착성이 높아 벽면 부착 효과에 의한 집진효율이 크게 나는 것으로 판단되며, 표준형 싸이클론에 2차 유량을 추가하는 방법과 2단 선회류 약화기 등의 방법을 채택한다면 건식으로 처리하기 편리한 처리장치가 될 수 있다고 판단된다.

3. 4 관성충돌에 의한 제거 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지의 관성충돌에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 그림 7과 같은 지그재그형 충돌판을 구성하였다. 관성충돌 장치의 크기는 275 mm (W) × 275 mm (H) × 275 mm (L)로 통과 속도는 약 1.1 m/s로 하였다.

관성충돌장치를 이용하여 생 돼지고기 구이로부터 발생하는 배출가스를 처리하는데 약 81.2%의 처리 효율을 얻었다. 이는 생 돼지고기에서 배출되는 미세먼지가 점착성이 높아서 관성에 의한 충돌과 벽면 부착 등에 의해 처리 효과가 나타나는 것으로 판단된다.

Park and Lim (2008)은 선회유동 가상 관성충돌 방식 (Virtual Cyclone)의 여과집진장치와 싸이클론을

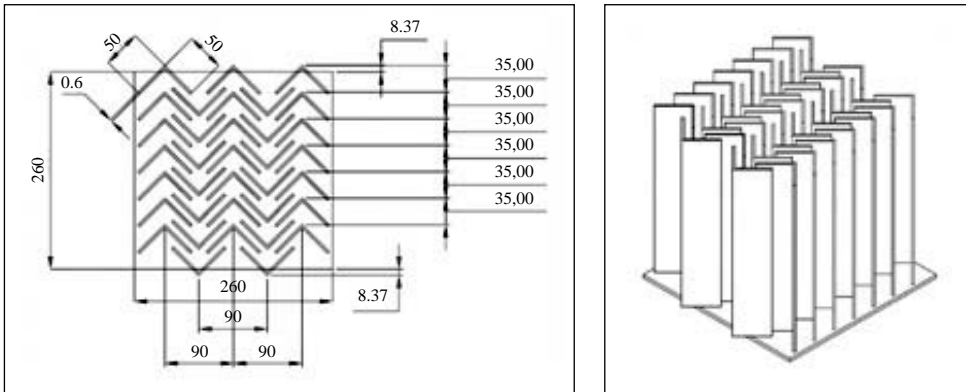


Fig. 7. Geometry of an impactor to remove particulate matters.

하나의 몸체로 제작한 하이브리드 집진장치를 이용하여 후단의 여과집진필터의 먼지부하를 감소시키는 방법을 채택하였다. 이 Virtual Cyclone 기술에 적용된 fly ash와 오일 입자를 사용한 경우 오일 입자의 효율이 fly ash에 비해 약 20~40% 정도 집진 효율이 높게 나타났는데 이는 fly ash 입자가 재비산으로 인해 집진효율이 감소한 것으로 판단하였다. 이에 생 돼지고기를 구울 때 발생하는 배출가스에는 점착성이 높은 미세먼지를 제거하는 장치로서 지그재그형 충돌판으로 구성된 관성충돌 장치도 간단하고 손쉽게 제거할 수 있는 처리장치가 될 수 있다고 판단된다.

3. 5 유분필터에 의한 제거 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지의 관성충돌에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 평판형 유분필터를 적용하여 실험하였다. 유분필터의 크기는 275 mm (W)×275 mm (H)×15 (T)로 통과속도는 약 1.1 m/s로 하였다. 실험에 사용한 유분필터는 중성능 필터로서 화섬부직포 (Non Woven Fiber) 재질의 기공율이 90~94% 이고, 단위표면적이 2,000 m²/m³이었다.

유분필터의 경우 생 돼지고기의 경우 약 69.0%의 처리효율을 나타내었다. 이는 생 돼지고기에서 배출되는 미세먼지의 점착성이 높아서 관성에 의한 충돌과 접촉 차단 등에 의해 처리 효과가 나타나는 것으로 판단된다. 그러나, 유분필터의 경우 미세먼지의 발생량이 많을 경우 필터사이의 공극이 막혀 정압이 상승하여 가스의 배출에 문제가 될 것으로 판단된다.

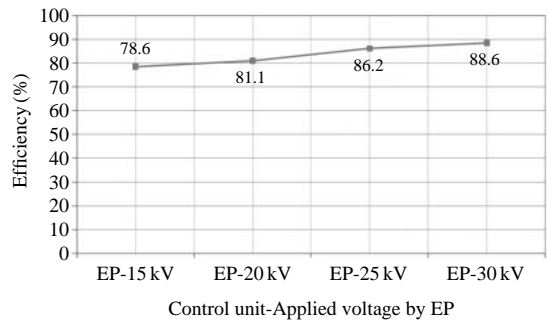


Fig. 8. Particle removal efficiency of an ESP as a function of applied voltage.

3. 6 전기집진에 의한 제거 특성

고기구이에서 발생하는 미세먼지의 전기집진에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 2단형 전기집진장치를 구성하였다. 전기집진장치는 크기는 275 mm (W)×275 mm (H)×275 mm (L)로 집진판의 간격은 11 mm, 집진판의 면적은 160 mm (W)×275 mm (H)×26 (EA)×2로 하였으며, 통과속도는 약 1.1 m/s로 하였다.

생 돼지고기에서 배출되는 미세먼지를 전기집진장치에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 인가전압 (V.)은 15~30 kV로 5 kV 단위로 효율을 평가하였으며, 점착성이 높은 미세먼지가 집진에 미치는 장기적인 영향을 파악하기 위하여 돼지기름을 지속적으로 발생시켜 실험하였다. 전기집진장치의 경우 인가전압 및 방전극의 형상에 따라서 집진 성능에 차이가 나

고, 결과적으로 처리 효율에 영향을 미친다. 인가전압에 따른 입경별 제거 효율 결과는 그림 8과 같이 나타났다. 전체 집진효율은 인가전압이 15 kV에서 30 kV로 높아질 때 처리 효율은 15 kV일 경우 78.6%, 인가전압을 높일수록 효율이 높아져 30 kV에서 88.6%로 나타났다.

3.7 처리 장치별 제거 특성

일반적으로 산업계에서 싸이클론은 먼지농도가 높거나 대용량의 가스를 처리하고자 할 때의 전처리장치로 사용되고 있다. 그러나, 낮은 유지보수비나 조작성의 간편성을 제외하고는 큰 먼지입자의 처리에는 용이하지만, 5 μm 이하의 먼지입자 처리에는 낮은 집진 효율을 보이는 단점이 있다. 점착성이 높은 미세먼지를 제거하는 장치로서 관성충돌 장치도 간단하고 손쉽게 제거할 수 있는 처리장치가 될 수 있고, 미세먼지를 건식으로 처리하기에는 전기집진장치가 유리하지만, 점착성이 높은 미세먼지가 함유된 경우에는 탈리의 어려움이 예상된다.

일반적인 산업용 집진장치의 처리용량과 규모, 초

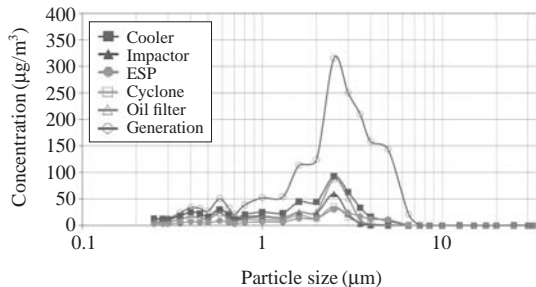


Fig. 9. Particle collection characteristic by control devices (condensing scrubber, cyclone, impactor, oil filter and ESP).

기비용, 사후 관리 등을 고려하여 고기구이에서 발생하는 미세먼지의 입경분포가 대부분 10 μm 이하이고, 중위경이 2.5 μm로 미세먼지가 주를 이루는 배출가스를 각 집진장치에 의한 처리 효율을 파악하기 위하여 응축기, 싸이클론, 관성충돌장치, 유분필터, 전기집진장치에 대하여 기본적인 적용에 대한 실험을 수행하고 이에 대한 적용에 대한 검토하였다.

생 돼지고기의 미세먼지의 발생과 각 장치별 처리 후의 입경분포는 그림 9와 같으며, 각 장치별 처리 효율은 표 1과 같다. 각 장치별 부분집진효율 (fractional collection efficiency)의 계산식은 식 1과 같다.

$$\eta_n [\%] = \frac{\sum C_{n_i} - \sum C_{n_o}}{\sum C_{n_i}} \times 100 \tag{1}$$

여기서, η_n : n 입자 크기의 부분집진효율 (%)

$\sum C_{n_i}$: 전단의 n 입자 크기의 누적농도 (μg/m³)

$\sum C_{n_o}$: 후단의 n 입자 크기의 누적농도 (μg/m³)

집진효율의 측면에서는 전기집진장치가 88.6%로 가장 높게 나타났으며, 응축기가 68.0%로 가장 낮게 나타났다. 입경별 부분집진효율은 전기집진장치의 경우 PM_{2.5}, PM_{5.0}, PM₁₀의 부분집진효율은 각각 59.8%, 88.1%, 88.6%, 88.6%로 나타났다. 처리 장치별 대부분의 누적 집진 효율은 4.0~5.0 μm의 입경에서부터 각 집진장치의 최고 집진효율에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 배출가스 중의 입자가 PM_{5.0} 이하의 입경이 98.6% 이상인 점을 고려한다면, 본 연구에 적용한 고기구이에서 발생하는 미세먼지 집진율의 한계점이라고 할 수 있다. 또한, 각 집진장치의 장기 운전에 따른 집진 부하를 최대로 하였을 때 전기집진장치는 역전리가 발생하고, 집진효율이 감소하여 집진판에 부착된 점착성이 높은 집진먼지를 효

Table 1. Particle collection efficiencies of air pollution control devices.

Items	Cyclone	Condensing scrubber	Impactor	Oil filter	Electrostatic precipitator (30 kV)	
Inlet concentration [μg/m ³]			1750.9			
Outlet concentration [μg/m ³]	243.4	560.4	329.2	542.8	199.7	
Particle collection efficiency (%)	PM _{2.5}	55.5	41.1	49.0	41.3	59.8
	PM _{5.0}	85.8	67.4	79.5	68.5	88.1
	PM ₁₀	86.1	68.0	81.2	69.0	88.6
	Total	86.1	68.0	81.2	69.0	88.6

울적으로 제거하는데 수단이 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 입자의 크기에 따른 제거 효율적인 측면에서 대부분의 입자가 $PM_{5.0}$ 이하의 입경이 98.6% 이상임을 고려할 때 전기집진장치의 적용이 필요하지만, 처리 대상의 배출가스가 점착성이 높은 미세먼지를 함유하고 있기에 싸이클론, 관성충돌, 유분필터의 집축 차단 효과에 의해 일반적인 산업용 배출가스 제거 효율 보다 높게 나타났다고 판단된다. 따라서, 실제 생 돼지고기와 같이 점착성이 높은 미세먼지를 함유한 배출가스를 처리하는 장치로 상대적으로 초기 설치 비용이나 운전 시 유지관리가 쉬운 싸이클론과 관성충돌 장치를 전처리 장치로 활용하여 대부분의 미세먼지를 제거하고, 초미세먼지는 전기집진장치를 이용하여 제거한다면, 전기집진장치의 집진부하를 감소시키는 조합형 처리장치가 바람직하다고 판단된다.

4. 결 론

도심의 생물성연소 주요 배출원인 고기구이 음식점에서 배출되는 미세먼지의 배출특성과 미세먼지 제거 장치별 특성을 파악하기 위하여 실제 고기구이를 재현하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 생 돼지고기의 경우 발생농도는 입경 $2.5\mu m$ 영역에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, $PM_{2.5}$ 이하 입경의 먼지가 전체 미세먼지 중 약 69.2%를 차지하였으며, $PM_{5.0}$ 이하 입경의 먼지가 약 98.6% 이상으로 나타났다. 먼지의 입경별 질량 농도는 PM_{10} 이 총 배출된 먼지 중 99.2~99.5%를 차지하는 것으로 나타났다.
- 2) 고기구이에서 발생하는 유적 및 미세먼지의 처리 효율을 파악하기 위하여 응축기, 싸이클론, 관성충돌장치, 유분필터, 전기집진장치에 대하여 기본적인 적용에 대한 검토 결과, 집진효율의 측면에서는 전기집진장치가 88.6%로 가장 높게 나타났으며, 응축기가 68.0%로 가장 낮게 나타났다.
- 3) 전기집진장치의 경우 $PM_{2.5}$, $PM_{5.0}$, PM_{10} 의 부분집진효율은 각각 59.8%, 88.1%, 88.6%로 나타났으며, 처리 장치별 대부분의 누적 집진 효율은 4.0~

$5.0\mu m$ 의 입경에서부터 각 집진장치의 최고 집진 효율에 도달하는 것으로 나타났다.

- 4) 고기구이와 같이 점착성이 높은 미세먼지를 함유한 배출가스를 처리하는 집진장치는 상대적으로 초기 설치비용이나 운전 시 유지관리가 쉬운 싸이클론과 관성충돌장치를 전처리 장치로 활용하여 대부분의 입자의 크기가 큰 유적을 제거하고, 초미세먼지는 전기집진장치를 이용하여 제거한다면, 전기집진장치의 집진부하를 감소시키는 조합형 처리장치가 바람직하다고 판단된다.
- 5) 본 연구에서는 점착성이 높은 구기구이 음식점에서 배출되는 미세먼지를 제거하기 위한 장치의 적용성을 실험한 것으로 각 장치별 적용의 한계와 장·단점을 고찰하였다. 이를 토대로 실제 적용을 위한 장치의 개발 시 처리의 기술적인 측면과 설치·유지관리의 경제적인 측면 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 실제 현장에 적용하기 위한 집진장치의 효율을 향상시킬 수 있는 장치의 고효율화를 위해서는 고기구이와 같은 점착성이 높은 유적이 다량으로 함유된 미세먼지의 입경과 밀도, 배출계수 등에 대한 물리적 특성에 대한 연구도 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2009년 차세대 핵심환경기술 개발사업(031-091-015)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Hwang, U.H. and S.K. Park (2001) Uniformity of gas distribution for collection efficiency in electrostatic precipitator, *Journal of Korean Society of City Environment*, 1(1), 35-40.
- Kang, S.K. and J.S. Yoo (2000) Effects of two stage vortex finder on the particulate collection efficiency of cyclone separator, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(6), 633-640.
- Korean Society for Atmospheric Environment (2007) The study on measures research air quality management in the metropolitan.

- Lee, J.B., H.J. Kim, K. Jung, and S.H. Kim (2009) Emission characteristics of particulate matters from under-fired charbroiling cooking process using the hood method, *Journal of Environmental Health Science*, 35(4), 315-321.
- Lee, J.B., H.J. Kim, Y.H. Kim, S.H. Jo, Y.K. Rho, I.S. Kim, J.H. Kim, and K. Jung (2010) Emission Rates of Particulate Matters from Under-fired Charbroiling Restaurants in Seoul, *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment in Fall*, 270.
- Lee, M.H. and B.H. Park (2010a) Effect of temperature gradient and residence time on droplet formation of gaseous Di-Octyl Phthalate, *Particle and Aerosol Research*, 6(1), 1-7.
- Lee, M.H. and B.H. Park (2010b) Effect of Particle Physical Properties on Cyclone Separation Efficiency, *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment in Fall*, 89.
- Ministry of Environment in Korea (2011) http://me.go.kr/kor/notice/notice_02_01.jsp?id=notice_02&mode=view&idx=177302.
- Park, H.S. and K.S. Lim (2008) Performance evaluation of virtual cyclone dust collectors, *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment in Spring*, 133-134.
- Park, S.H. and C.Y. Park (2000) Effects of the block distance of collection plate and particle size on the particle deposition efficiency in the two-state electrostatic precipitator, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(2), 165-177.
- Park, S.H., C.Y. Park, and T.K. Kim (2000) Effects of the block arrangement on the collection efficiency in the two-stage electrostatic precipitator with charging plate, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(6), 641-652.
- Park, S.K., S.J. Choi, J.Y. Kim, C.K. Bong, S.J. Park, and U.H. Hwang (2009) Experimental Study on the Removal of Oil Mist and Fine Particles from Cooking Restaurant Treatment Device, *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment in Fall*, 604-605.
- Yoshida, H., Y. Inada, K. Fukui, and T. Yamamoto (2009) Improvement for gas-cyclone performance by use of local fluid flow control method, *Powder Technology*, 193, 6-14.