

조리시 발생하는 입자상 및 가스상 오염물질의 특성 -육류와 생선구이를 중심으로

원수란 · 지현아 · 권명희 · 황은설 · 이정섭 · 심인근[†]

국립환경과학원 생활환경연구과

Characteristics of Particles and Gaseous Pollutants Generated from Roasting Fish and Meat in Kitchens

Soo Ran Won, Hyun Ah Ji, Myunghee Kwon, Eun Seol Hwang, Jeong-Sub Lee, and In-Keun Shim[†]

*Indoor Environment & Noise Research Division, National Institute of Environmental Research, Hwangyeong-ro 42,
Seo-gu, Incheon 22689, Korea*

Received November 4, 2019 / Revised November 24, 2019 / Accepted November 26, 2019

Various pollutants are emitted and released during cooking, smoking, cleaning, and building materials in indoor environments. Indoor air quality management in kitchens is important because a considerable amount of pollutants are produced by the high temperature and combustion conditions associated with the cooking process. In this study, the correlation between the concentration characteristics of several indoor pollutants generated during cooking, and the detected concentration of these pollutants is investigated based on the ventilation pattern. When liquefied natural gas was burned for one hour without ingredients, the levels of CO and NO₂ were 6-7 times higher compared with the background concentration due to incomplete combustion. When fish was roasted, PM_{2.5} concentration was approximately three times higher compared with when meat was roasted. However, the level of gaseous pollutants was higher for the latter. Based on the evaluation of the ventilation effect during the operation of the range hood, the concentration of particulate and gaseous pollutants (CO, NO₂) was approximately ten times lower compared with the off state. In addition, when the hood is turned off, the time taken to decrease the concentration in the pre-cooked state is five hours or more, indicating that ventilation is necessary for indoor cooking.

Key words: Indoor air quality, Indoor pollutants, Cooking, Roasting, Ventilation

1. 서 론

현대인들의 대부분이 하루 중 80% 이상의 시간을 실내공간에서 생활하고 있으며 주택에서 보내는 시간은 하루의 60% 정도이다. 특히 어린이나 노약자 등 환경오염에 취약한 집단은 더 많은 시간을 주택에서 보내는 것으로 조사되었다.¹⁾ 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 공기오염에 의한 사망자가 600만명이며, 이 중 47%는 실내공기오염에 의한 것이라고 발표하였다.²⁾ 이에 환경부와 국토교통부에서는 “실내공기질 관리법”과 “청정건강주택 건설기준”을 제정하여

주택에 들어가는 건축자재나 신축공동주택의 실내공기질 권고기준, 입주 후 유지관리 단계까지 주택을 청정하게 관리할 수 있도록 관련 법령을 정하여 놓았다. 이러한 노력에도 불구하고 황사나 자동차 배출가스 등 외부오염물질의 유입, 흡연, 실내 난방기구, 조리 등 실내공기질의 오염원과 발생원이 매우 다양하여 지속적으로 문제가 되고 있다. 특히, 가정 내에서 식품을 조리할 시 연료의 불완전연소로 발생하는 일산화탄소를 비롯하여 이산화질소, 입자상 물질 등이 배출되어 실내에 머물게 되면서 거주자에게 피해를 주게 된다. 또한, 실내 환기가 제대로 이루어지지 않을 경우 주방뿐 아니

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-32-560-8324, Fax: 82-32-567-7097, E-mail: inkeun77@korea.kr

라 거실과 방 등 주거공간 전체에 오염물질들이 체류하고 있어 이에 대한 관리가 시급하다.

국립암센터 자료에 따르면 2015년 기준 암으로 사망한 사람이 총 76,855명 중 폐암으로 인한 사망자수는 22.6%인 17,399명으로 조사되었다.³⁾ 폐암의 원인으로는 흡연이 가장 주목을 받고 있으나 우리나라 흡연율은 남성 37.9%, 여성 3.2%로 불구하고 여성의 폐암 환자 중 87.8%가 흡연 경력이 없는 것으로 조사되었다. 폐암을 유발하는 원인은 직접흡연 뿐 아니라 간접흡연, 음식을 조리할 때 기름이나 연료 등에서 발생하는 오염물질 등이 발암인자가 될 수 있다는 연구들이 보고되고 있다.^{4,5)} Metayer et al. (2002)에 따르면⁶⁾ 조리습관에 따라 폐암이 발생할 가능성이 있다고 보고 하였으며, 한 달에 31회 이상 볶음 요리를 하는 그룹이 15회 이하로 요리하는 그룹보다 폐암 발생가능성이 2.24배 높다고 하였다. 기름사용량이 한 달에 3L 이상인 그룹이 1.5L 이하 사용하는 그룹에 비하여 1.22배 높고 조리 경력이 50년 이상은 그룹이 29년 이하인 그룹에 비하여 폐암 발생 가능성이 2.46배 높다고 보고하였다.

조리시 사용되는 재료와 방법, 환기 등에 따라 오염물질의 종류나 농도가 달라질 수 있으므로 재실자의 건강을 위하여 연구가 필요한 실정이다. 특히 면역력이 약한 영·유아나 노약자는 주방의 조리과정에서 발생하는 입자상 오염물질이나 이산화질소, 일산화탄소와 같은 가스상 오염물질이 건강에 치명적일 수 있다.⁷⁾ 중국의 경우 고온에서 볶거나 튀기는 요리가 많아서 오래 전부터 음식 조리과정에서 발생하는 실내공기질에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.^{8,9)} 반면, 우리나라에서는 실내 조리 시 발생된 오염물질의 현황 조사를 통한 단기간 실내농도의 변화를 검토한 연구가 있지만,^{10,11)} 환기 등의 변수에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 우리나라 사람들이 즐겨먹는 식품 중 하나인 삼겹살과 고등어구이를 조리할 때 발생하는 오염물질의 농도 특성과 환기유무에 따른 농도 변화 추이를 알아보고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구는 주방에서의 실제 조리과정을 재현하고 다른 오염원에서의 교차오염을 방지하기 위하여 경기도 지역에 위치한 A연구소의 주거환경 실증실험동에서 측정이 이루어졌다. 실증실험동은 아파트 84 m² 크기를 실제 크기로 똑같이 재현한 곳으로, 방 3개와 화장실 2

개, 거실과 주방으로 구성되어 있었다. 주방 공기의 인위적 확산을 차단하기 위하여 측정시 방과 화장실, 현관문, 베란다 창문은 모두 닫고, 집안의 공조기는 작동하지 않은 상태로 주방 공기의 확산을 최소화하였다는 가정하에 식품 조리시 발생하는 오염물질을 측정하도록 실험을 설계하였다.

측정은 온습도를 포함하여 초미세먼지(PM_{2.5}), 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소이었으며, 각 물질은 10분 간격으로 데이터를 저장하여 실시간 농도 변화를 측정하였다. 초미세먼지(PM_{2.5}) 측정에 사용된 기기는 SidePak AM510 aerosol monitor (TSI, USA)로, 1.7 L/min의 유속으로 공기 중 먼지를 채취하여 광산란 방식으로 먼지의 농도를 측정하는 기기이며, 측정범위는 1~20,000 µg/m³이었다. 광산란법 기기의 보정은 필터를 이용한 중량법과의 농도 차이로 교정 값을 구하였으며, factor값을 0.73으로 정하였다. 이산화탄소와 일산화탄소 측정에 사용된 기기는 Model 7545 IAQ-CALCTM (TSI, USA)로, 이산화탄소는 비분산적외선법을 측정원리로 하며, 측정범위는 0~5000 ppm이었고, 일산화탄소는 전기화학법을 측정원리로 하며, 측정범위는 0~500 ppm이었다. 이산화질소는 화학발광방식의 연속측정기기 (EC9841, ECOTECH)을 이용하였고, 측정범위는 0~20 ppm이었다. 시료 채취지점은 가스레인지 바로 옆, 후드와 가스레인지의 2/3의 높이에서 측정하였으며, 이 높이는 가스레인지에서 조리를 할 때 실험자가 호흡하는 높이와 동일한 위치였다(Fig. 1).

실험에 사용된 연료는 액화천연가스(LNG; Liquefied Natural Gas)였으며, 시험방법은 다음과 같다. 1) 조리하는 하지 않은 상태로 1시간동안 가스레인지만을 켜두어 연료 연소시 배출되는 오염물질의 농도를 측정을 하였다. 2) 지름 28 cm 정도의 프라이팬에 삼겹살(폭 5 cm, 길이 15 cm, 두께 1 cm)을 3~4쪽씩 굽는 방식으로 진행하였다. 한 번 구울 때의 삼겹살의 무게는 평균 385 g 정도였으며, 10분 정도의 조리시간이 소요되어 1시간 동안 6번 진행하여 약 2,300 g의 삼겹살이 사용되었다. 3) 동일한 프라이팬에 고등어(폭 10 cm, 길이 15 cm, 두께 1 cm)를 2~3쪽씩 굽는 방식으로 진행하였다. 한 번 구울 때의 고등어의 무게는 평균 330 g 정도였으며, 6분 정도의 조리시간이 소요되어 1시간 동안 9번 진행하였으며, 총 2,900 g 정도의 고등어를 사용하였다. 수행 전 충분한 환기를 하여 오염물질의 농도가 조리를 하긴 전 상태까지 도달한 후에 3가지 방법을 3회씩 반복 수행하였다. 환기유무에 따른 오염물질의 농도변화는 창문

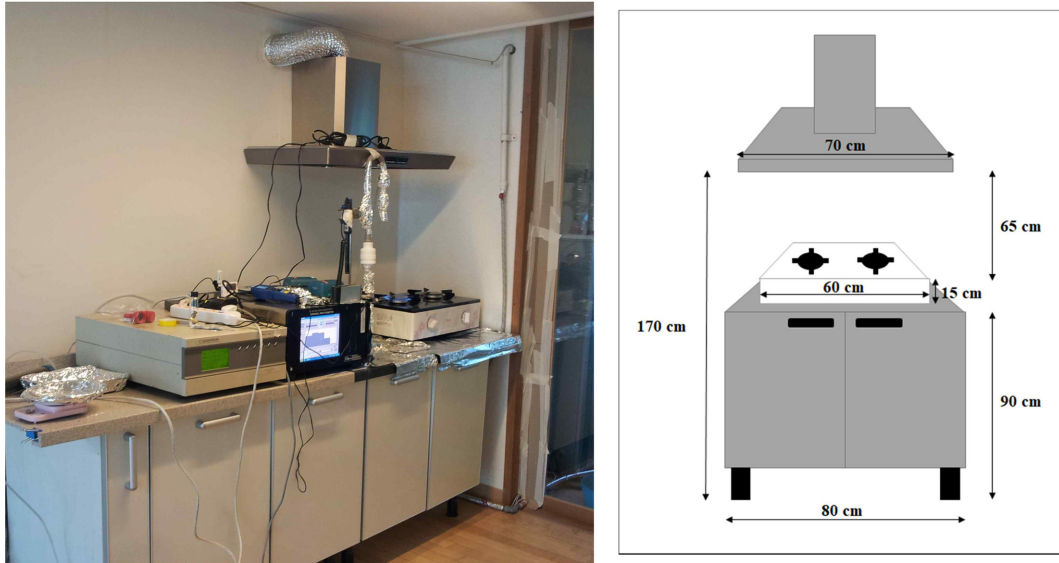


Fig. 1. Equipment used to measure the indoor air pollution generated during cooking.

을 개폐하지 않은 상태에서 후드의 가동여부만으로 살펴 보았다. 후드는 바닥으로부터 약 1.8 m 높이에 위치 하였으며, 작동시 최고풍량으로 가동시켰고, 이때 후드의 유속은 약 0.4 m/sec이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조리 대상에 따른 오염물질 특성

본 연구에서는 연료 연소 및 삼겹살과 고등어를 굽기 방법으로 조리할 때 발생하는 오염물질의 평균 농도는 Table 1과 같다. 연료 연소시, 조리전에 비해 실내 온도는 최고 33도까지 올라갔고, 이산화질소와 일산

화탄소의 농도가 약 7~8배까지 증가하는 경향을 보이고 있었으나, 초미세먼지의 농도는 크게 변화가 없었다. 연료 연소시와 삼겹살 및 고등어를 구울 때를 비교하면, 연료만 연소하였을 때에 비하여 초미세먼지와 이산화질소, 일산화탄소의 농도는 조리를 하였을 때가 높은 것을 볼 수 있다. 즉, 삼겹살과 고등어를 구울 때, 재료 자체에서 나오는 수분과 기름 등의 증기로 인하여 초미세먼지가 발생하고, 굽기 방법을 특성상 재료가 타면서 이산화질소 및 일산화탄소가 발생하는 것으로 보여진다. 조리대상에 대해 비교해보면, 삼겹살은 고등어를 구웠을 때보다 가스상 물질(이산화질소나 일산화탄소, 이산화탄소)의 농도가 높게 조사되었다. 이산화질소

Table 1. Comparison of concentration of indoor pollutants (arithmetic mean (range)) generated during the fuel combustion and the roasting process of pork meat and mackerel

	Unit	Before cooking	Fuel combustion	Roasting of pork meat	Roasting of mackerel
Temperature	°C	24.3 (24.2-24.4)	31.9 (29.7-33.0)	28.9 (27.5-30.1)	27.8 (25.8-29.5)
Humidity	%	55.9 (54.2-57.0)	42.9 (42.3-45.1)	44.9 (38.9-50.2)	40.9 (37.5-44.5)
PM _{2.5}	µg/m ³	58 (47-69)	60 (55-65)	878 (188-2,524)	3,480 (335-6,087)
NO ₂	ppm	0.02 (0.02-0.03)	0.14 (0.08-0.17)	0.17 (0.10-0.23)	0.16 (0.11-0.21)
CO	ppm	0.2 (0.2-0.3)	1.6 (0.8-2.2)	6.4 (3.6-9.3)	4.9 (2.1-7.8)
CO ₂	ppm	563 (413-698)	2,701 (1,346-3,697)	1,724 (1,025-2,270)	1,503 (990-1,932)

의 경우, 실내공기질 관리법의 다중이용시설의 권고기준인 0.05 ppm을 3배 정도 초과하는 수준이었으나, 연료 연소시에 비하면 크게 농도가 증가하지 않는 것으로 조사되어 조리재료에 의한 영향보다는 연료 연소시 불완전 연소에 의해 발생하는 영향이 큰 것으로 나타났다. 보통 이산화질소의 농도가 0.15 ppm보다 높으면 노약자나 어린이 등 민감군에게 유해한 영향이 유발되는 수준이며, 일반인도 건강상 불쾌감을 경험할 수 있는 수준이다. 일산화탄소는 무색, 무취의 독성가스로, 실내와 같이 밀폐된 공간에서 호흡을 통해 인체로 들어와 혈액 내 헤모글로빈과 결합하여 산소운반능력을 방해해

저산소증이나 조직의 산소결핍을 유발한다. 민병우, 이상우 (2002)는 체내로 유입된 일산화탄소가 헤모글로빈 결합으로, 일산화탄소에 대한 독성 메커니즘을 유발한다고 보고하고 있다.¹¹⁾ 삼겹살과 고등어구이를 조리할 때 발생된 일산화탄소의 농도는 실내공기질 유지기준 이하로 나타났지만, 조리과정에서 연료의 불완전연소 및 재료가 타면서 발생하는 그을음 등으로 단기간 높은 농도를 보였다. 이산화질소와 일산화탄소의 경우, 조리 전에 비하면 연료가 연소하는 과정에서 발생하는 영향이 크기 때문에 Dennekamp et al. (2001)의 연구¹²⁾와 같이 가스레인지보다 전기그릴을 사용한다면 질소산화

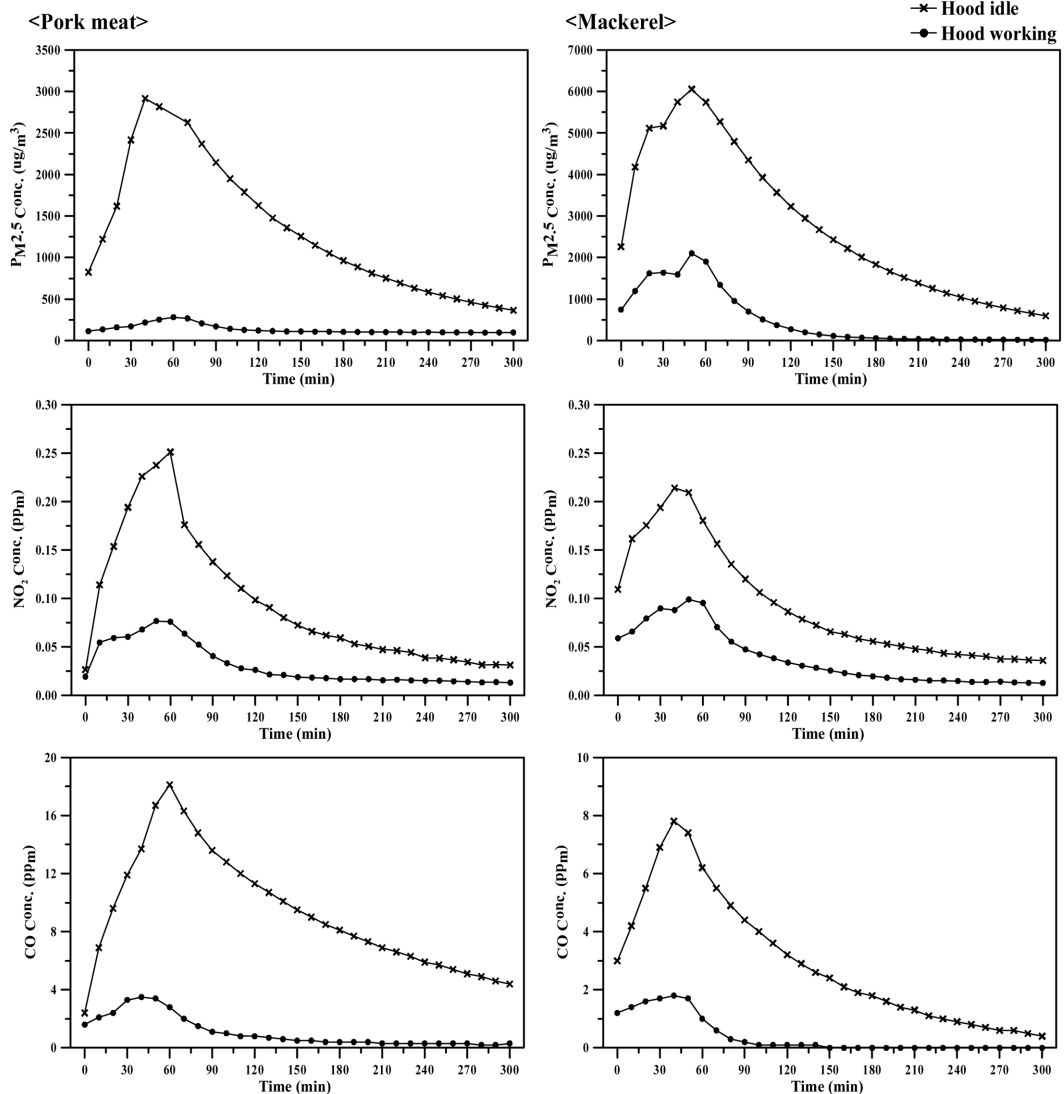


Fig. 2. Variation of PM_{2.5}, NO₂, and CO concentration according to the duration of hood operation.

물이나 일산화탄소의 발생을 상당히 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이산화탄소는 실내공기질 기준인 1,000 ppm보다 높았지만 이 정도 수준은 재실자의 호흡 영향으로 판단된다. 초미세먼지는 고등어를 구웠을 때가 삼겹살을 구웠을 때보다 3배 넘게 높게 측정되었다. To and Yeung (2011)의 연구에서는¹³⁾ 본 연구와 마찬가지로 가스레인지에서 팬프라이용으로 육류를 구웠을 때, 미세먼지 농도는 $1,020 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었고, 이명구 외(2018)의 연구에서는¹⁴⁾ 삼겹살 170g을 구웠을 때, 6분동안 초미세먼지의 농도는 $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가한 반면, 같은 양의 고등어를 구웠을 때는 $3,850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 올라가는 것으로 조사되어 두 연구 모두 본 연구결과보다 더 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었다. 이명구 외(2018)의 연구에서는 이를 삼겹살은 포화지방이 많고 고등어는 불포화지방이 많이 함유되어 미세먼지의 농도 차이를 발생시킨다고 하였다.

3.2. 환기유무에 따른 오염물질 농도추이

후드용량을 최고 상태로 작동하고 조리를 진행하였을 때와 후드작동을 하지 않은 상태에서 조리하였을 때를 비교하여 후드를 이용한 환기유무에 대한 오염물질의 농도변화를 살펴보았다(Fig. 2). 조리를 시작할 때부터 6시간까지 시간별 추이를 지켜본 결과, 초미세먼지의 경우 작동유무에 따라 최대 10배 정도 농도차이를 보이고 있었다. 뿐만 아니라 고등어구이를 할 때 후드를 작동함에도 불구하고 약 $2,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 농도가 올라가는 경향성을 보이면서 후드작동 외에도 창문 등을 열어 자연환기 및 환기시스템의 작동 등 추가 환기방법이 병행되어야 할 것으로 보여진다. 이명구 외(2018)의 연구에서도¹⁴⁾ 자연환기와 후드작동 단계에 따라 농도를 비교하였는데, 후드를 2단으로 작동하는 경우 자연환기 상태와 비슷한 값을 보여 후드와 자연환기를 동시에 하는 것이 바람직하다고 하였다.

조리 후 초미세먼지 농도가 조리전의 농도로 낮아지는데 걸린 시간은 가스상 물질들에 비해 오래 걸렸으며, 후드를 작동하지 않았을 경우는 조리 후 5시간 이상의 시간이 걸리는 것으로 나타났다. 초미세먼지의 경우, 오염물질 특성상 공기 중에 오래 머물러 있으면서 재실자의 활동이나 환기를 할 때 다시 재비산하면서 농도감소 폭이 적어지기 때문이라고 판단된다. 이산화질소와 일산화탄소와 같은 가스상 물질은 후드 작동여부에 따라 최대 6배 정도 농도차를 보이고 있었으며, 삼겹살을 구울 때가 고등어구이를 할 때보다 농도가 증

가 폭이 큰 경향을 보이고 있었다. 가스상 물질은 후드를 작동하였을 때 조리 후 1시간 정도의 시간이 지나면 조리 전 농도로 감소하였지만, 후드작동이 없는 상태에서는 초미세먼지의 결과와 같이 5시간이 지나도 농도감소가 되지 않는 것으로 조사되었다. 신철웅, 박준석 (2010)의 보고에 따르면¹⁵⁾ 우리나라의 주부들은 환기의 중요성에 대해 인식함에도 불구하고 전기요금이나 에너지 소비 증가로 환기설비가 있음에도 사용에 적극적이지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 조리 활동시 환기장치의 사용에 대한 홍보를 병행하여 환기설비 이용을 권장하도록 하여야 한다.

4. 결 론

우리나라 국민들이 즐겨먹는 삼겹살과 고등어구이를 대상으로 조리시 발생하는 오염물질에 대한 농도 특성을 살펴보았다. 연료 연소시, 조리 전인 배경농도에 비하여 가스상 물질(이산화질소, 일산화탄소, 이산화탄소)의 농도가 최고 7배까지 높게 나타났다. 조리 대상인 삼겹살과 고등어를 굽기 방법으로 조리할 때는 연료 연소시에 비해 초미세먼지와 일산화탄소의 농도가 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있었다. 오염물질 별로 비교하여 보면, 초미세먼지는 배경농도보다 삼겹살 및 고등어구이를 조리할 때 각각 15, 30배 높았고, 고등어를 구웠을 때가 삼겹살 조리시에 비해 약 3.5배 이상 높게 발생된 것으로 조사되었다. 가스상 오염물질인 이산화탄소와 이산화질소, 일산화탄소 등은 고등어구이보다 삼겹살구이를 조리할 때 더 높은 농도로 발생하여 같은 굽기 방법이어도 재료에 의한 차이를 나타내고 있었다. 특히, 불포화지방이 많이 함유된 생선류가 포화지방으로 이루어진 육류에 비해 구울 때 재료 자체에서 발생하는 기름이나 수분 등으로 인하여 온도가 급격하게 올라가 타거나 그을리면서 오염물질의 발생량이 높아지는 것으로 보여진다.

창문과 방문 등 모든 문을 닫은 채로 후드의 작동유무로 환기여부를 살펴본 결과, 초미세먼지와 이산화질소, 일산화탄소 모두 후드를 작동하였을 때가 그렇지 않은 경우보다 약 10배 정도의 차이를 보이고 있었다. 또한, 후드를 작동한 경우 조리전 상태로 농도가 감소하기까지 걸리는 시간은 조리 후 보통 1시간정도였지만 후드를 작동하지 않은 경우는 5시간이 지나도 농도가 회복되지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 조리활동으로 발생하는 실내공기 오염물질의 노출을 줄이기 위

해서 후드 작동과 같은 기계환기와 자연환기(창문개방) 등을 병행하여 조리시 발생하는 오염물질의 제거를 위해 노력해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다. (NIER-RP2013-398)

참고문헌

1. 한국법제연구원, “생활공간의 공기질 개선을 위한 법제 연구”, **2010**.
2. WHO (World Health Organization), “The world health report. Reducing risks promoting healthy life”, **2002**.
3. 국립암센터, “국가암등록사업 연례보고서(2015년 암등록통계)”, **2017**.
4. Y. Huang, S. S. H. Ho, K. F. Ho, S. C. Lee, J. Z. Yu, and P. K. K. Louie, “Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong”, *Journal of Hazardous Materials*, **2011**, 186(1), 344-351.
5. S. W. See and R. Balasubramanian, “Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods”, *Atmospheric Environment*, **2008**, 42, 8852-8862.
6. C. Metayer, Z. Wang, R. A. Kleinerman, L. Wang, A. V. Brenner, H. Cui, J. Cao, and J. H. Lubin, “Cooking oil fumes and risk of lung cancer in women in rural Gansu, China”, *Lung Cancer*, **2002**, 35, 111-117.
7. 김종범, 이광재, 류성희, 이재영, 우성호, 이승복, 윤성택, 배귀남, “도로 인접 어린이집의 실내공기질 일변화 특성”, *실내환경 및 냄새 학회지*, **2014**, 13(1), 28-39.
8. L. Y. He, Y. Lin, X. F. Huang, S. Guo, L. Xue, Q. Su, M. Hu, S. J. Luan, and Y. H. Zhang, “Characterization of high-resolution aerosol mass spectra of primary organic aerosol emissions from Chinese cooking and biomass burning”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **2010**, 10, 11535-11543.
9. L. L. Yeung, and W. M. To, “Size distributions of the aerosols emitted from commercial cooking processes”, *Indoor and Built Environment*, **2008**, 17, 220-229.
10. 이동주, 박진철, 이언구, “공동주택 주방의 취사시 실내공기환경에 관한 측정연구”, *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, **2002**, 541-544.
11. 민병수, 이상우, “취사로 인한 실내 공기 오염과 가스레인지 후드의 성능 평가에 관한 연구”, *대한건축학회 논문집 계획계*, **2002**, 18(11), 279-286.
12. M. Denneamp, S. Howarth, C. A. J. Dick, J. W. Cherrie, K. Donaldson, and A. Seaton, “Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking”, *Occupational Environmental Medicine*, **2001**, 58, 511-516.
13. W. M. To and L. L. Yeung, “Effect of fuels on cooking fume emissions”, *Indoor and built Environment*, **2011**, 20, 555-563.
14. 이명구, 정명진, 강민지, “주방 조리시 미세먼지 (PM2.5) 배출 특성과 관리방안”, *문화기술의 융합*, **2018**, 325-329.
15. 신철웅, 박준석, “공동주택에서 재실자 생활패턴을 고려한 환기운전방안 제안에 관한 연구”, *대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계*, **2010**, 483-484.