

기술자료

직화구이 음식점의 대기오염물질 배출 특징과 지원사업 추진을 위한 정책 제언

Characteristics of Air Pollutants Emitted from Direct-Fired Grill Restaurants and Policy Proposal for Small-scale Facility Support Project

장은희, 황규철, 노수진¹⁾, 김동호²⁾, 김정호³⁾, 신인철⁴⁾, 김영준⁵⁾, 박세찬⁶⁾, 김종범*

충남연구원 서해안기후환경연구소, ¹⁾대림대학교 보건안전학과,
²⁾강원대학교 미세먼지특성화대학원, ³⁾열린공간,
⁴⁾충청남도보건환경연구원 환경조사팀, ⁵⁾인천녹색환경지원센터 대외협력실,
⁶⁾충남녹색환경지원센터 기업지원팀

접수일 2025년 1월 12일
수정일 2025년 2월 1일
채택일 2025년 2월 4일

Received 12 January 2025
Revised 1 February 2025
Accepted 4 February 2025

*Corresponding author
Tel : +82-(0)41-630-3924
E-mail : kjb0810@cni.re.kr

Eunhee Jang, Kyuchool Hwang, Sujin Noh¹⁾, Dongho Kim²⁾, Jeongho Kim³⁾, In-Chul Shin⁴⁾, Young-Joon Kim⁵⁾, Sechan Park⁶⁾, Jong Bum Kim*

Seohaean Research Institute, Chungnam Institute, Hongseong, Republic of Korea

¹⁾Department of Health & Safety, Daelim University, Anyang, Republic of Korea

²⁾Department of Integrated Particulate Matter Management, Kangwon Nataional University, Chuncheon, Republic of Korea

³⁾Open Space, Seoul, Republic of Korea

⁴⁾Chungcheongnam-do Institute of Health & Environmental Research, Hongseong, Republic of Korea

⁵⁾Incheon Green Environment Center, Incheon, Republic of Korea

⁶⁾ChungNam Green Environment Center, Hongseong, Republic of Korea

Abstract As concerns about air pollution increase, interest in indoor air quality (IAQ) is also increasing. Ministry of Environment (MOE) is implementing a policy for small-scale support project. Among small-scale facilities, direct-fire grill restaurants are a major source of biomass emissions and in urban areas. Direct-fired grill restaurants emit various harmful air pollutants during the combustion process, which can cause health problems for workers and customers. It also causes environmental pollution and unpleasant odor complaint. In the past, a prevention facilities support project was promoted for direct-fire grill restaurants in Seoul and Gyeonggi-do. However, as a results of the investigation of previous projects, there have been numerous reports of facilities not operating properly due to difficulties in maintaining the prevention facilities. MOE announced a new pilot project to improve the air quality at restaurants in 2025. Accordingly, this study proposed improvement measures for new policy promotion through analysis of existing cases.

Key words: Direct-Fired Grill Restaurants, Cooking, Cooking facilities, Air pollutants, Policy proposal, Small-scale facility support project

1. 서 론

초미세먼지 (particulate matter less than 2.5 μm , $\text{PM}_{2.5}$)를 비롯한 대기오염물질에 대한 관심이 증가하

면서 실내공기질 (indoor air quality, IAQ) 관리의 중요성도 더욱 부각되고 있다 (Viegi *et al.*, 2004; Jones, 1999). 외부 대기오염의 경우 국내 배출원뿐만 아니라, 국외 유입 등 다양한 요인이 혼재되어 있어 효과적

인 관리가 어렵다(Koponen *et al.*, 2001). 반면 IAQ는 외부 오염물질의 유입을 차단하고 내부 배출원을 적절히 관리하면 외부 대기질 대비 높은 개선 효과를 기대할 수 있다. 환경부에서 국민의 활동 패턴을 조사한 결과, 하루 중 90% 이상을 실내에서 머무르는 것으로 나타나(Belias and Licina, 2023; Ruan and Rim, 2019; MOE, 2019a) IAQ 관리의 중요성이 더욱 강조되고 있다(Gonzalez-Martin *et al.*, 2021; Tran *et al.*, 2020; Karotki *et al.*, 2013).

환경부는 2019년에 수립된 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」의 배출 저감 정책의 일환으로 소규모 사업장 방지시설 설치 지원사업을 추진하고 있다(MOE, 2019b). 여기서 소규모 사업장은 방지시설을 통과하기 전 총부유분진(total suspended particulate, TSP), 질소산화물(nitrogen oxides, NO_x), 황산화물(sulfur oxides, SO_x)의 총 배출량을 기준으로 연간 10톤 미만을 배출하는 4종 및 5종 사업장을 의미하며, 일부 지자체에서는 그 이상의 사업장도 지원 대상으로 포함하고 있다(MOE, 2016). 본 사업은 국비 50%, 시비 40%, 자부담 10%의 비율로 진행되며, 입자상 및 가스상 오염물질 방지시설 설치비용을 최대 2.7억 원까지 지원한다. 2019년부터 2023년까지 국비 기준 총 4,929억 2800만 원이 투입되었으며, 이를 통해 11,756개소의 노후 방지시설이 교체되었다. 지역별로는 경기도가 4,167건으로 가장 많은 지원이 이루어졌으며, 서울(1,269건), 경상남도(1,004건), 인천(1,000건) 순으로 4개 시도에서 1,000건 이상의 지원사업이 진행되었다. 업종별로는 제조업이 6,803건(57.9%)으로 가장 큰 비중을 차지했으며, 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업(3,225건, 27.4%), 기타 시설(연소 조절 시설, 1,266건, 10.4%)이 뒤를 이어 상위 3개 분야에서 전체 사업의 95.7%가 진행되었다(IGEC, 2024).

한편, 환경부는 「제2차 미세먼지 관리 종합계획(2025~2029)」을 통해 조리 과정에서 발생하는 매연에 대한 단계별 관리 방안을 예고했다. 2023년에는 직화구이 음식점 6개소를 대상으로 저감시설 설치 지원사업을 시범 운영했으며, 2024년부터 전국적으로 확대 추진하고 있다(MOE, 2024a). 조리 과정에서는 다

양한 대기오염물질이 배출되며, 특히 직화구이는 발암물질로 알려진 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)를 비롯해 NO_x, 나노입자(nanoparticles, NP), 일산화탄소(carbon monoxide, CO), 암모니아(ammonia, NH₃) 및 BTEX를 포함한 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs) 등 다양한 유해 물질을 배출한다(Lee *et al.*, 2019; Kwon and Lee, 2016; Park *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2015). 이 물질들은 흡입 및 노출 경로를 통해 인체 건강에 악영향을 미칠 수 있으며(Won *et al.*, 2019), 도시 지역 내 생물성 연소(biomass burning)의 주요 배출원으로도 작용한다(Seo and Jang, 2014; Park *et al.*, 2011).

현재 직화구이 음식점의 후단 방지시설 설치 및 운영은 2010년부터 사업장 규모 100 m² 이상의 대형 음식점을 중심으로 시행되고 있다. 그러나 직화구이의 특성상 다양한 오염물질이 동시에 배출되며, 기름 성분이 많아 방지시설 유지·관리가 어렵다(KEI, 2023). 이에 환경부는 「음식점 냄새 관리 가이드북」을 제작하여 조리 시설에서 배출되는 대기오염물질의 특성, 관리 방안 및 방지시설 표준 모델을 제시했다(MOE, 2017). 그러나 정부의 지속적인 개선 노력에도 불구하고, 직화구이 음식점의 대기오염 문제는 꾸준히 제기되어 왔다. 직화구이는 대기오염 측면에서 생물성 연소의 주요 배출원으로 평가되지만, 이를 관리할 법적 규정이 미비하며, 방지시설 설치도 의무사항이 아닌 시범사업 형태로 운영되고 있어 개선 효과가 제한적인 것으로 나타났다(Seo *et al.*, 2021).

이에 본 연구에서는 직화구이 과정에서 발생하는 대기오염물질의 특성과 주변 환경에 미치는 영향을 분석하고, 기존 지원사업의 추진 결과를 검토하여 향후 조리시설 방지시설 설치 지원사업의 정책 방향을 제안하고자 한다.

2. 직화구이 시설의 특성과 관리 동향

2.1 직화구이 시설 대기오염물질 배출특성

직화구이 조리 시 발생하는 대기오염물질의 종류

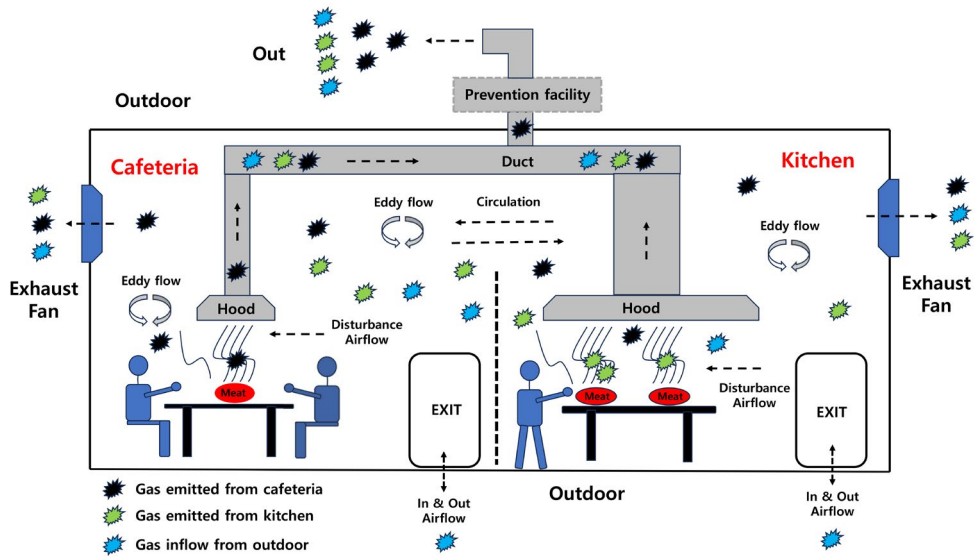


Fig. 1. Generation pathways of air pollutants at direct-fired grill restaurants.

와 특징을 파악하기 위해 선행 연구결과를 기반으로 조사를 수행하였다. 정보 검색은 정보 포털인 구글 (Google), DBpia, 한국대기환경학회 및 한국실내환경학회에서 발간하고 있는 저널의 논문을 대상으로 하였다. 검색 키워드는 생물성 연소 (biomass burning), 직화구이 (direct-fired grill), 고기구이 (meat cooking), 요리 (cooking), 조리시설 (cooking facilities), 조리매연 (cooking emissions) 등을 사용하였다.

그림 1은 일반적인 직화구이 음식점에서 대기오염물질의 발생과 배출 경로를 나타낸 것이다. 직화구이 음식점의 경우 발생원이 크게 주방과 직화구이 공간으로 구분된다. 주방에서는 이용객의 주문에 따라 직화구이 요리를 초벌하거나, 다양한 찌개, 튀김, 볶음 등의 요리를 조리하며, 이 과정에서 발생한 오염물질은 후드와 이송 덕트를 통해 외부로 배출된다. 요리를 위해 숯 (charcoal), 액화천연가스 (liquefied natural gas, LNG), 액화석유가스 (liquefied petroleum gas, LPG) 등이 연료로 사용되며, 일부 작업장에서는 전기 인덕션 (electric induction)이 사용되기도 한다. 직화구이 공간에서는 주로 숯이 연료로 사용하며, 일부 음식점에서는 LNG나 LPG와 같은 가스 연료를 사용하

기도 한다.

직화구이 과정에서는 고기의 종류나 굽기 형태에 따라 발생하는 오염물질의 종류와 양이 달라지며, 조리 숙련도가 낮은 경우 더 많은 오염물질이 배출될 가능성이 크다. 또한, 음식점 출입문 및 개방된 창문 등을 통해 외부 오염물질과 실외 공기가 유입되며, 이는 실내 기류 이동에 영향을 미친다. 직화구이 음식점 내에는 배출된 오염물질을 제거하기 위해 국소 배기장치 (local exhaust system, LES)와 환기팬 (ventilation fan)이 운영된다. 하지만 외부 공기 유입과 국소배기로 인해 형성된 와류는 공간 내 기류를 방해하여 후드를 통한 오염물질 포집 효과를 감소시킨다. 따라서 외부로 배출되지 못한 오염물질이 실내에서 축적 및 순환하며, 이는 근로자와 이용객의 건강에 악영향을 미칠 수 있다. 이와 함께, 직화구이 음식점 내 배출된 오염물질을 제거하기 위해 LES가 설치·운영되고 있지만, 대부분 실내 오염물질을 외부로 배출하는 목적으로 운영되고 있어 대기질 악화 및 악취 문제를 유발하고 있다 (Apte and Salvi, 2016; Jeon et al., 2014). 이러한 문제를 예방하기 위해 인구 밀집 지역인 서울과 경기 지역을 중심으로 직화구이 음식

점의 방지시설 설치 지원사업이 추진되어 왔다.

2.2 소규모 사업장 지원사업 추진 현황

환경부에서는 대기질 개선을 위한 방안으로 소규모 사업장의 방지시설 및 사물인터넷 (internet of things, IoT) 측정기기 부착지원 사업을 추진해 왔다. 사업 운영 규정에 따르면, 방지시설의 종류와 용량에 따라 보조금 지원액에 차이를 두고 있으며, 「대기환경보전법 시행규칙」 별표 4에 정의한 방지시설을 대상으로 한다. 해당 방지시설에는 중력 집진시설, 관성력 집진시설, 원심력 집진시설, 세정 집진시설, 여과 집진시설, 전기 집진시설, 음파 집진시설, 흡수에 의한 시설, 흡착에 의한 시설, 직접연소에 의한 시설, 촉매반응을 이용하는 시설, 응축에 의한 시설, 산화, 환원에 의한 시설, 미생물을 이용한 처리시설, 연소조절에 의한 시설 등이 포함된다. 배출시설과 방지시설의 적정 운영을 위한 IoT 측정기기는 전류계 (ammeter), 차압계 (differential pressure gauge), 온도계 (thermometer), pH meter, 게이트웨이 (gateway), 가상사설망 (virtual private network, VPN)으로 구성된다.

1~3종 사업장은 통합환경관리 및 굴뚝원격감시체계 (tele-monitoring system, TMS)를 통해 굴뚝으로 배출되는 오염물질의 농도와 가동 현황을 관리할 수 있지만, 4~5종 사업장은 전산화되지 않은 인허가 서류 및 자가 측정 자료만이 유일한 관리 수단이므로 체계적인 관리에 어려움이 있었다. 이에 따라 해당 사업장의 배출시설 및 방지시설의 가동 현황을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 IoT 측정기기 도입 사업이 추진되었다 (MOE, 2023).

지원사업 운영 현황을 살펴보면, 방지시설 지원의 경우 10년 이상 경과한 노후 방지시설, 특정대기유해물질 배출사업장, 주거지 인근 민원 발생 사업장을 우선 지원 대상으로 권고하고 있다. IoT 측정기기의 경우 설치 연도 및 배출 업종을 고려하여 2026년 6월까지 모든 4~5종 사업장에 부착·운영하도록 고시하고 있다. 보조금을 지원받아 방지시설을 설치한 사업장은 설치 후 최소 3년 이상 시설을 운영해야 하며,

IoT 측정기기를 통해 생성된 데이터는 환경공단이 운영하는 그린링크 (Greenlink)에 전송해야 한다. 또한, 관련 관리기관에서는 반기별로 데이터 전송 여부를 점검하도록 규정되어 있다. 만약 지원사업을 통해 설치된 방지시설 및 IoT 측정기기가 3년 이상 운영되지 않을 경우, 미가동 기간에 따라 보조금이 환수된다 (MOE, 2024).

2.3 직화구이 시설에 대한 관리 동향

직화구이 음식점의 배출량은 대기정책지원시스템 (clean air policy support system, CAPSS)에서 생물성 연소에 포함된다. 생물성연소는 노천소각, 농업잔재물 소각, 고기 및 생선구이, 아궁이, 숯가마, 목재 난로 및 보일러 등 6개 항목으로 분류되며, 직화구이 음식점의 배출량은 고기 및 생선구이 항목에 포함된다 (NAIR, 2024a). 2022년 CAPSS 데이터 기준, 전체 대기오염물질 배출량 3,482,626톤 중 생물성연소 배출량은 347,991톤 (10.0%)을 차지한다. 물질별 배출 비율은 PM_{2.5} 20.6%, CO 24.0%, BC 20.6% 순으로 나타났다. 특히, 생물성연소 중 고기 및 생선구이 배출량은 전체의 0.3% (1,020톤)로 상대적으로 작지만, 입자상 오염물질 기준으로 보면 TSP 2.6%, PM₁₀ 5.3%, PM_{2.5} 5.5%를 차지하며, 미세입자로 갈수록 그 비율이 증가하는 경향을 보인다 (NAIR, 2024b). 이러한 이유로 다수의 선행연구에서는 직화구이 음식점이 도심 지역의 주요 대기오염물질 배출원이며, 지역주민 및 근로자의 건강 보호를 위해 보다 체계적인 관리가 필요하다는 의견이 제기되었다 (Si *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2020; McDonald *et al.*, 2012; Buonanno *et al.*, 2009). 한편, 국내에서는 지자체를 중심으로 직화구이 시설에 대한 지원사업이 추진되고 있다. 서울시는 2010년부터 직화구이 시설 중 100 m² 이상인 사업장을 대상으로 방지시설 설치비 지원사업을 추진하고 있다. 경기도는 2017년부터 「생물성연소 배출원 개선 지원에 관한 조례」를 발의하여 200 m² 이상 규모의 직화구이 음식점을 대상으로 설치지원 사업을 시행하고 있다. 경상북도·충청남도 등의 일부 시·도에서

는 2024년부터 조리시설의 미세먼지 및 악취 방지시설 설치지원을 시범 사업으로 추진하고 있다(CNI, 2024). 이러한 사업은 2024년 12월에 고시된 「제2차 미세먼지 관리 종합계획(2025~2029년)」에서 직화구이 음식점 등 조리 매연 다량 배출시설에 대한 미세먼지 및 악취 저감시설 설치지원 사업을 단계적으로 확대 추진하겠다는 방침에 따라 추진되고 있으며, 지자체별로 선제적인 대응 방안을 마련하고 있다(MOE, 2024b). 또한 최근 근로자의 폐암 발생 등으로 인해 사회적 문제로 대두됨에 따라, 학교 급식 조리실에 대한 환기설비 개선 및 지원, 오븐활용 등 급식환경 개선, 조리 매연 관리 지침과 안내 가이드라인 마련 등을 포함한 조리시설에서 발생하는 대기오염물질 관리 대책이 마련되고 있다.

3. 직화구이 시설의 배출관리

3.1 직화구이 시설의 대기오염물질 배출관리

직화구이 시설의 대기오염물질 배출 관리는 사업장의 입지 조건에 가장 큰 영향을 받는다. 대기오염물질을 다량 배출하는 직화구이 시설이 주변 지역에 직·간접적인 피해집단이 없는 경우, 대기오염물질 및 악취로 인한 피해와 영향은 상대적으로 미미할 수 있다. 그러나 대부분의 직화구이 시설이 도시의 상업지구 및 주거지역과 인접해 있어, 잠재적인 대기오염 문제 및 악취 관련 민원이 지속적으로 발생하고 있다.

직화구이 시설에서 발생한 오염물질은 상부 후드를 통해 포집된 후 덕트를 거쳐 외부로 배출되는 구조를 갖는다. 특히, 직화구이는 동물성 지방을 포함한 고기류를 조리하는 과정에서 다량의 유분이 발생하며, 이 유분은 점성이 높아 LES나 후처리장치에 점착된다. 이로 인해 설비 효율이 급격히 감소하며, 유지·관리가 어려워지는 문제가 발생한다. 이러한 이유로 기존에는 100m² 이하의 소규모 사업장에 대해 방지시설 설치 대신 주로 공기 희석 방법을 적용해 왔다. 그러나 이 방법은 적절한 방지시설 없이 오염물질을

그대로 외부로 배출하는 문제를 초래하였으며, 국지적인 대기오염 및 악취 발생의 주요 원인으로 작용하였다.

표 1은 직화구이 시설에서 사용되는 후처리장치와 각 장치별 특징을 정리한 것이다(MOE, 2017). 개별 장치로는 전기집진장치, 활성탄 흡착, 세정시설, 여과시설, 공기희석 등이 있으며, 이들 기술을 복합적으로 활용한 3가지 하이브리드 장치도 제시되고 있다(Yoo *et al.*, 2024).

전기 집진시설은 입자상 오염물질에 대해 높은 제거 효율을 보이지만, 가스상 오염물질의 제거가 어렵고, 설치비가 고가인 대신 운전비가 저렴하다. 유분 함량이 높을 경우, 화재 위험이 있어 유지관리가 중요하며, 주로 대형사업장에 적합하다. 활성탄 흡착에 의한 시설은 유기성 가스와 악취물질에 탁월한 효과를 보이지만, 입자상 오염물질 처리를 위해 전처리 장치가 필요하다. 설치비가 저렴하고 유지관리가 비교적 쉬운 장점이 있다. 다만 활성탄 소재 비용이 고가이며, 활성탄의 재생·재이용이 없으면 운영 비용이 증가한다. 세정시설의 경우 입자상 오염물질과 가스상 오염물질을 동시에 처리할 수 있으며, 설치비와 운전비가 저렴하다. 하지만 운영 과정에서 폐수가 발생하고 겨울철 동파 방지를 위한 보온 설비가 필요하다. 또한 유분이 다량 발생하는 경우 세정액 교체 주기가 짧아질 수 있어 세정액 관리가 중요하다. 이러한 이유로 전반적으로 중소형 시설에 적용되고 있다. 여과시설은 여과포를 이용하여 입자상 오염물질을 처리하는 장치로 시설 구조가 간단하고 설치 및 운전비가 저렴하다. 가스상 오염물질의 처리가 어렵고 교체 주기가 가장 짧아 유지·관리가 어려워 주로 소형 시설에 적용되고 있다. 마지막으로 공기 희석시설은 앞서 4개의 시설과 다르게 오염물질의 제거가 목적이 아닌 희석을 통한 배출 농도 저감을 목적으로 한다. 별도 설비가 필요 없이 단순히 희석 팬의 설치를 통해 배출되는 오염물질의 농도를 희석·확산시키는 방법으로 악취나 오염물질 배출량이 적은 시설에 적용된다. 반대로 배출량이 많거나 유분이 많은 시설에

Table 1. Characteristics of prevention facilities.

Type	Cost		Characteristic
	Installation	Operation	
Electrical Precipitator (EP)	High	Low	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent removal efficiency for PM* • low pressure loss • If oil accumulates, Fire Can occur • Difficulty processing in gaseous pollutants • Suitable for large facilities
Activated Carbon Adsorption (ACA)	Low	High	<ul style="list-style-type: none"> • Low removal efficiency for PM* • Capable treating of various gaseous pollutants • High cost of replacing activated carbon • Preprocessing device required • Suitable for medium to large facilities
Wet Scrubber (WS)	Middle	Low	<ul style="list-style-type: none"> • Capable of simultaneously treating particulate and gaseous pollutants • Easy to maintain • Wastewater treatment required • Replacing cycle of washing water becomes shorter, when there is a lot of oil • Freezing protection is required in winter • Suitable for small to medium facilities
Filtration (F)	Low	Middle	<ul style="list-style-type: none"> • The simplest equipment • Lowest installation cost • Only particulate matter can be treated • Shortest maintenance period • Suitable for small facilities
Air Dilution (AD)	Low	Low	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable to facilities with low emissions • Difficult to apply when there is a lot of oil • Higher dilution effect than removal effect • Dilution effect varies greatly depending on the amount of emissions • Suitable for small facilities
Hybrid type I EP + ACA	High	High	<ul style="list-style-type: none"> • Capable of simultaneously treating particulate and gaseous pollutants • Difficult to maintain • Installation and operating costs are the highest • Highest efficiency among hybrid type • Suitable for large facilities
Hybrid type II WS + ACA	Middle	High	<ul style="list-style-type: none"> • Capable of simultaneously treating particulate and gaseous pollutants • Highest odor-related treatment efficiency • Wastewater treatment required • The pressure loss is the greatest among hybrid type • Suitable for medium to large facilities
Hybrid type III F + ACA	Low	High	<ul style="list-style-type: none"> • Shortest maintenance period due to filter replacement • Filter replacement cycle varies depending on oil content • Suitable for small to medium facilities

*PM : particulate matter

는 적용이 어렵다.

최근에는 직화구이 시설에 배출되는 다양한 오염물질의 동시에 처리하기 위해 복합방지시설 (hybrid control systems, HCS)도 도입되고 있다. 유기가스의 처리를 위해 활성탄 흡착 기술은 공통으로 적

용되며, 입자상 오염물질 처리를 위해 전기 집진, 세정, 여과 방식이 선택적으로 채택된다. 배출가스의 특성을 고려하여 건식 (dry) 및 습식 (wet) 처리 기술을 혼합 적용할 경우 주의가 필요하다.

사업장에서 후처리시설 적용을 위해서는 규모와

Table 2. Support project for direct-fired grill restaurants operated in Gyeonggi (Lee *et al.*, 2019).

	Area (m ²)	Table quantity	Area/table (m ² /table)	Fuel type	Prevention facility	Meat
A	360	39	9.2	Charcoal	EP	Pork/Beef
B	400	43	9.3	Charcoal	EP	Pork/Beef
C	300	37	8.1	Charcoal	EP	Duck
D	300	30	10.0	Charcoal	Filtration	Pork/Beef
E	330	44	7.5	Charcoal	EP	Pork/Beef

활동도를 고려한 선정이 필요하다. 일반적으로 100 m² 이하의 소형 사업장의 경우 주변 영향이 적거나 민원이 적으로 경우 별다른 처리장치 없이 공기희석 방법만으로도 가능할 것으로 판단되며, 그 외 처리가 필요하다면 여과나 세정방식의 적용이 요구된다. 다만 규모 대비 인구 밀집지역에 위치하거나 이용객의 방문 빈도가 높은 사업장은 HCS 운영이 필요하다. 100~200 m² 이상의 중대형 사업장의 경우 활성탄 흡착이나 세정, 전기집진시설을 주로 적용하며, 200 m² 이상의 대형사업장의 경우 단일 기술보다는 HCS 적용이 필요하다.

3.2 직화구이 시설의 방지시설 운영결과 분석

그 동안 지자체 차원에서 조리시설 방지시설 설치 지원사업 및 국가차원의 소규모 배출시설 지원사업 등 다양한 개선 사업이 추진되었다. 일부 사업에서는 방지시설 설치 효과 및 장기적인 유지·관리 측면에서의 영향을 분석한 사례도 보고되었다. 이에 본 연구에서는 직화구이 시설의 방지시설 설치 후 효과를 분석하고, 이를 바탕으로 향후 개선 사업 추진 시 고려해야 할 사항을 검토하고자 한다.

3.2.1 경기도의 설치지원 사례

환경부는 생활악취 관리를 위해 2015년 「악취관리법」을 개정하였으며, 이를 통해 각 지역에서 생활악취 관리를 위한 조례를 지정하고 관련 대책을 수립·시행할 수 있도록 하였다(Gong *et al.*, 2017). 이에 따라 경기도는 2016년 「생활악취방지지원 조례」를 지정하였으며, 2017년에는 도내 5개 지역의 직화구이 시설 5곳을 대상으로 시범사업을 추진하였다. 표 2는

경기도에서 시행한 직화구이 시설에 대한 시범사업을 정리한 것이다. 5개 사업장 모두 300 m² 이상의 대형사업장에 해당한다. C 지점에서는 오리구이를, 나머지 지점은 소고기 및 돼지고기를 주로 취급한다. 연소형태는 5곳 모두 숯을 연소시켜 굽는 직화형태이다. 후처리장치는 D 지점만 여과방식을 사용하였고, 나머지 지점은 전기집진시설을 설치·운영하였다(Lee *et al.*, 2019). 식당 내 테이블 수는 D 지점이 30개로 가장 적었고, E 지점이 44개로 가장 많았다. 시설의 테이블당 소요 면적은 D 지점이 10.0 m²/table로 가장 넓었고, E 지점이 7.5 m²/table로 가장 좁았다. 테이블당 소요 면적은 시설별 차이가 동일하다고 가정할 때, 1인당 확보할 수 있는 실내 공간(m³)을 의미한다. 따라서 환기량 및 공기질 관리 측면에서 소요 면적이 넓을수록 유리할 수 있다.

각 사업장에서 후처리시설의 성능 평가를 위해 복합악취를 측정하였다. 방문자가 많은 19시~22시 사이에 측정을 진행하였으며, 후처리 시설의 전단과 후단에서 각각 2회씩 총 4회를 실시하였다. 표 3은 5개 사업장에 대한 후처리 시설의 성능평가 결과를 나타낸 것이다. 성능평가 결과 B 사업장이 가장 높은 95%의 저감효율을 보였으며, 2차 측정 역시 90%로 높은 효율을 보였다. 그 외 A, C, D, E 사업장 모두 1차 측정에서는 70% 이상의 저감 효율을 보였다. 하지만 2차 측정에서 D 사업장만 79.3%로 1차와 유사한 효율을 보였고, A, C, E 사업장은 30.7~64.1%로 악취 저감 효율이 70% 이하로 나타났다. 특히 E 지점의 경우 2차 측정에서 30.7%로 매우 낮은 수치를 보였으며, 2차 측정은 후처리 시설에 대한 유지보수 후 21일이 지난 시점에 수행되었다. 사업장의 후처리 시설, 즉

Table 3. Reduction effects of complex odor by prevention facilities operation (Lee *et al.*, 2019). (unit: %)

	A	B	C	D	E
1st	77.7	95.0	73.7	80.5	70.0
2nd	60.6	90.0	64.1	79.3	30.7
Reduction ratio	17.1	5.0	9.6	1.2	39.3

Table 4. Reduction effects of complex odor, THC, TSP through operation of prevention facilities (Seo *et al.*, 2021). (unit: %)

	A	B	C	D	E
Complex odor	50.0	58.0	28.6	33.3	50.0
THC	64.7	6.8	-8.9	14.7	-18.4
TSP	86.0	81.2	85.4	64.5	85.6

방지시설의 유지·관리 시기에 따라 저감 효율에 차이가 있는 것으로 파악되었다.

3.2.2 서울시의 설치지원 사례

2020년 서울시는 직화구이 시설을 대상으로 악취 방지시설 설치 지원사업을 시행하였으며, 이 사업에 선정된 5개 사업장에서 후처리 장치의 성능 평가를 실시하였다 (Seo *et al.*, 2021). A 사업장은 가스를 이용하여 프라이팬으로 삼겹살을 조리하는 방식, B 사업장은 가스로 닭꼬치를 직화 조리하는 방식, C 사업장은 숯불로 닭꼬치를 직화하는 방식, D 사업장은 숯불로 양념고기를 직화 조리하는 방식, E 사업장은 숯불로 장어를 직화 조리하는 방식이다. 5개 사업장 모두 후처리 장치로 전기집진장치를 사용하였다. 본 연구에서는 후처리 장치의 성능 평가 지표로 복합악취, 총탄화수소 (total hydrocarbon, THC), TSP를 선정하였으며, 그 평가 결과를 표 4에 정리하였다. 전기집진 장치는 입자상 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 장점이 있지만, 가스상 오염물질 제거 효율은 낮은 편이다. 본 측정 결과에서도 복합악취 및 THC의 제거 효율은 낮게 나타났으며, 일부 사업장에서는 후단 농도가 전단 농도보다 높은 현상도 관찰되었다. 반면, 입자상 오염물질인 TSP에 대해서는 64.5~86.0%의 높은 제거 효율을 보였다. 일부 가스상 오염

물질이 제거된 경우는, 입자상 오염물질이 전기집진 장치에서 제거되면서 유분의 점성에 의해 일부 가스상 오염물질이 흡착된 결과로 판단된다. 또한 C 사업장과 E 사업장에서 음의 효과가 나타난 이유는, 입자상 오염물질에 흡착된 가스상 물질이 농축되면서 후단에서 다시 방출된 결과로 해석된다. 본 연구에서도 전기집진장치의 성능저하 요인으로 유증기의 흡착과 유지·관리 부족을 주요 원인으로 제시하였으며, 이를 해결하기 위해 유분제거장치 설치, 활성탄 및 세정장치의 추가 도입 등을 제안하였다.

3.3 방지시설 설치지원 사업 추진 현황 분석

소규모 사업장의 후처리시설 개선 및 IoT 측정장비 설치를 위한 사업비가 장기적인 관점에서 지속적으로 투자되고 있다. 그림 2는 2020년부터 2024년까지 시도별로 지출된 4년간의 누적 사업비 현황을 나타낸 것이다. 2020년, 관련 신규사업이 추진되면서 전국에서 총 396,000백만 원이 사용되었으며, 그 중 경기도에서 가장 많은 비용을 지출하였다. 이후 2021년 269,370백만 원, 2022년 202,680백만 원, 2023년 190,800백만 원으로 점차 감소하였으며, 가장 최근인 2024년에는 88,560백만 원으로 2020년 대비 77.6%가 감소한 것으로 나타났다. 누적사업비는 경기도가 393,372백만 원을 투자하여 21,993개소를 지원하였고, 경상남도가 106,718백만 원을 투자하여 5,333개소를 지원하였다. 인천 104,814백만 원, 경상북도 102,701백만 원, 대구 103,383백만 원으로 상위 5개 시·도가 각각 100,000백만 원 이상의 사업비를 집행하였으며, 총 38,044개소에 관련 시설을 설치하였다.

그림 3a는 2020년 대비 2024년의 지자체별 사업비 비율을 나타내며, 그림 3b는 지자체별로 사업비에 대한 전체 지원금액을 보여준다. 그림 3a를 보면 모든 지자체에서 소규모 사업장 지원사업을 위한 사업비는 감소한 것으로 나타났다. 2020년 기준 2024년에 대한 사업비는 지방비를 기준으로 대구가 41.9%로 가장 적은 감소율을 보였다. 그 뒤를 이어 세종(36.0%), 강원도(29.6%), 부산(29.3%) 순으로 나타났다. 사업비 감

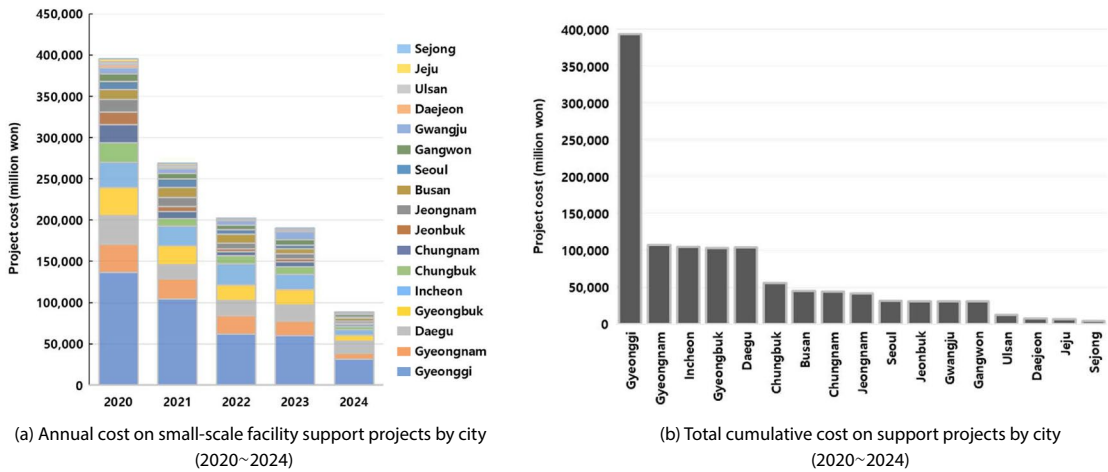


Fig. 2. City-wise distribution of investment costs in small-scale facility support projects.

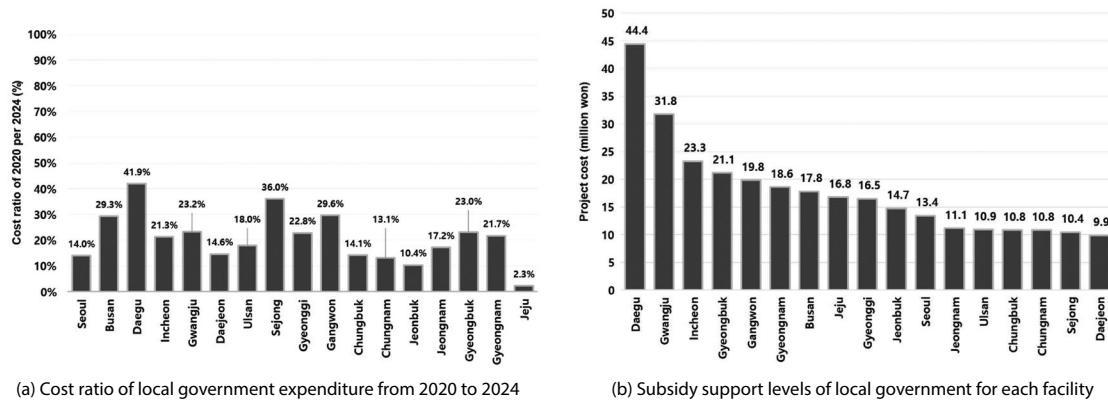


Fig. 3. Local government expenditure scale for small-scale facility support projects.

소율이 가장 높은 지자체는 제주도(2.3%)로 나타났고, 전라북도(10.4%), 충청남도(13.1%), 서울(14.0%), 충청북도(14.1%) 등으로 확인되었다. 대구의 경우 북부에 위치한 염색 산업단지 등 민원 다발 지역이 많아 지역적 특성상 지원금액이 일정 수준 유지된 것으로 보인다. 반면, 제주는 사업장 수 자체가 적어 관련 사업에 대한 관심과 비중이 감소한 것으로 판단된다. 충청남도의 경우 소형 사업장보다 대형 사업장의 배출기여도가 높아, 상대적으로 지원 필요성이 낮게 평가된 것으로 보인다. 사업장별 평균 지원비용을 분석

하면, 1개 사업장당 대구가 44.4백만 원으로 가장 높은 수준이었고, 연차별 감소 추세에서도 가장 낮은 감소율을 기록하여, 소규모사업장 지원사업에 대해 가장 적극적인 지자체로 평가할 수 있다. 그 뒤를 이어 광주(31.8백만 원), 인천(23.3백만 원), 전라북도(21.1백만 원)로 나타났다.

환경부는 2025년 소규모 사업장 방지시설 설치지원사업을 위해 국비 총 31,536백만 원을 책정하였다. 세부 항목별 예산 배분은 다음과 같다. IoT 측정기기 부착지원으로 14,536백만 원, 후처리장치 지원 11,000

백만 원, 부속유기질 비료 제조사업장 방지시설 설치지원 3,600백만 원, 대·중소기업 지역 대기질 개선 상생협력 시범사업 1,000백만 원, 청정연료 전환지원 1,000백만 원, 음식점 지원사업 400백만 원이다. 2025년 예산을 보면 지역대기질 개선을 위한 상생협력 사업과 부속유기질 비료 제조사업장 방지시설 설치지원 사업이 추가되었으며, 2026년 6월까지 만기 예정인 IoT 측정기기 부착 사업에 대한 비중이 가장 높게 책정되었다. 2024년 소규모 사업장 방지시설 설치 지원사업비는 국비 기준 49,200백만 원에서 2025년 11,000백만 원으로 전년 대비 78% 감소하였으며, 2020년 대비 5% 수준으로 축소되었다. 이처럼 소규모 사업장에 대한 지원사업에 대한 예산이 지속적으로 감소하는 가운데, 직화구이를 비롯한 조리시설에 대한 개선사업이 신규로 포함된 것은 생활배출원 대한 관리 필요성이 증가하고 있음을 의미한다.

3. 4 조리실 설치지원사업을 위한 정책제언

2020년부터 소규모 사업장 방지시설 설치 지원사업을 위해 대규모 예산이 투입되었으며, 조리시설에 대한 투자는 서울시를 시작으로 2010년부터 추진되었다. 그러나 추진 과정에서 투자 대비 효과분석의 어려움과 중장기적 관리 부재로 인해 관련 사업은 어려움을 겪고 있다. 최근 「제2차 미세먼지 관리 종합계획(2025~2029)」과 권역별로 수립되고 있는 「제2차 권역별 대기환경관리 기본계획」에서 음식점 지원사업이 포함된 것은 직화구이를 포함한 음식점에서 발생하는 대기오염물질 및 악취 문제에 대한 개선이 필요하다는 것을 의미한다(MOE, 2024b). 그러나 과거 수행된 사업과 소규모 사업장 지원사업 추진 과정에서 나타난 문제점을 고려할 때, 향후 관련 사업을 추진하기 위해 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

첫째, 직화구이 시설에 적합한 맞춤형 설계가 필요하다. 직화구이 음식점은 배출 특성이 다양하며, 취급하는 식재료의 종류, 양념 유무, 조리 방식, 음식점의 규모, 배출원 주변의 환경조건 등을 종합적으로 고려해야 한다. 환경부에서 제시한 가이드북에서는 배출

시설의 규모(m²)에 따른 설비 적용 방안을 제안하고 있으며, 기존 적용 사례를 토대로 적용 가능한 기술 분류표도 제시하고 있다. 그러나 이는 후처리 장치 설치를 위한 가이드일 뿐, 각 사업장에 적합한 설계가 필수적으로 동반되어야 한다. 특히, 설계 과정에서 가장 중요한 요소는 LES이다. 실내 기류가 약한 사업장은 기존의 상부형 후드 형태를 사용할 수 있다. 외기의 영향이 크거나, 상부형 후드 설치가 어려운 경우 하부 흡입식 배기 시스템을 고려할 필요가 있다. 가스를 연료로 사용하는 시설보다, 숯을 이용하는 직화구이 방식에서 더 높은 포착 속도가 요구된다. 이송 덕트는 유분 제거 및 유지·보수의 용이성을 고려한 구조로 설계해야 한다. 후처리 장치 설계는 처리 효율뿐만 아니라, 사업장의 규모, 유지·관리 비용, 유지·보수 편의성 및 설치 공간을 고려해야 한다. 마지막으로 배기 덕트는 배출 가스 확산, 악취 민원 발생 가능 지역을 고려하여 배기 방향, 배출 높이, 토출 속도 등을 설계해야 한다.

둘째, 후처리 장치의 중장기적인 관리계획 수립이 필요하다. 2020년부터 소규모 사업장 방지시설 개선 사업이 추진되면서, 설치된 방지시설의 효과분석 필요성이 꾸준히 제기되고 있다. 모든 정책은 비용 대비 효과분석이 필수적이나, 본 사업에서는 지원시설의 개선 효과를 정량적으로 평가하지 못하여 실효성 문제가 제기되고 있다. 지난 서울 및 경기도의 조리 시설 방지시설 사업과 같이 설치된 후처리 장치가 적절히 유지·관리되지 않을 경우, 저감 효율이 급격히 감소하는 문제를 확인할 수 있다. 이전 소규모 사업장 지원사업은 정량적인 개선 효과 평가가 어려우나, 초기 단계에서 IoT 측정기기를 활용한 적정 운영 관리가 이루어지고 있다. 새롭게 추진하는 음식점 지원사업의 세부 내용이 고시되지 않았지만, 음식점에 필요한 방지시설의 종류 및 용량을 기준으로 1,000만 원 내외의 예산이 책정될 것으로 예상되며, 이 규모에서는 후처리 시설의 운영 정보를 확인할 수 있는 IoT 측정기기 추가 장착이 어려울 것으로 판단된다. 환경부는 음식점의 표준모델로 2가지 이상의 기술을

접목한 복합 방식을 권고하고 있으며, 이를 보완하기 위해 IoT 측정기기의 전류계 및 압력계를 필수적으로 적용하는 방안이 필요하다. 기존 사업장에서는 게이트웨이 및 VPN 등의 추가설치가 필요했으나, 음식점의 경우 기존 단말기의 통신서버를 활용하면 추가 설치비 부담을 줄일 수 있다.

셋째, 소규모 사업장에 대한 체계적인 관리 규정 제정이 필요하다. 기존 대기오염 정책은 대형 배출사업장 및 이동 배출 오염원을 중심으로 추진되어 왔다. 그 결과, 대규모 사업장의 오염물질($PM_{2.5}$, NO_2) 농도는 감소하는 추세를 보이지만, 여전히 소규모 사업장에 대한 관리 체계는 미흡한 실정이다. 기존 정책이 대형 배출원 관리에 초점을 맞추었다면, 앞으로는 소형 배출원의 체계적인 관리가 필요하다.

특히 소규모 사업장은 생활권 내 광범위하게 분포하며 관리가 어려운 특성을 가지고 있어, 보다 정교한 관리 규정이 요구된다. 또한, 총량관리제도가 전국적으로 확대됨에 따라 TSP, NO_x , SO_x 의 배출은 감소하는 경향을 보이지만, VOCs의 경우 감소 효과가 미미하거나 일부 지역에서는 오히려 증가하는 상황이다. 과거에는 소규모 사업장이 영세한 규모와 경제적 어려움으로 인해 배출 관리가 어려웠으나, 향후 기저수준에 도달한 대기질 개선 정책의 효율성을 더욱 높이기 위해서는 이들에 대한 체계적인 관리와 개선 노력이 필수적이다. 효과적인 개선을 위해서는 관리 규정의 수립이 필연적이며, 이를 위해 직화구이 시설의 관리 항목 설정, 모니터링 방법, 관리 기준 수립, 정책 방향성, 현장의 기술 수준 등을 종합적으로 검토하고 논의할 필요가 있다.

마지막으로, 국가 차원의 적극적인 기술 개발과 시장 지원이 필요하다. 국가 정책에서 소외된 분야는 시장경제 원칙에 따라 자생적으로 활성화되기 어렵다. 예를 들어, 목재 보일러와 화목 난로는 비산먼지와 생물성 연소에서 높은 배출 기여율을 보이지만, 낮은 관심으로 인해 관련 시장이 활성화되지 못하고 있다. 시장이 활성화하려면 수요가 뒷받침되어야 하며, 이를 기반으로 투자가 이루어지고 기술 개발이

촉진된다. 또한, 시장 내 경쟁을 통해 우수한 기술이 개발·적용될 수 있다.

그러나 현재까지 직화구이 설비의 관리 필요성에 대한 사회적 공감대가 형성되지 않아 관련 시장이 매우 낙후된 상태이다. 올해부터 전국적으로 조리시설 관련 시범사업이 추진될 예정이며, 향후 지속적인 관리 필요성이 인식된다면 국가 차원의 R&D 개발 및 정책적 지원이 반드시 이루어져야 한다.

4. 결 론

대기오염에 대한 국민적 관심이 날로 증가하고 있으며, 이에 따라 정책적 대응의 수준도 더욱 높아지고 있다. 이를 반영하여 대형 배출 시설부터 이동 오염원에 이르기까지 주요 배출원에 대한 개선 정책이 지속적으로 추진되어 왔다. 이후, 보다 정교한 개선 정책과 생활 밀착형 시설에 대한 관리 필요성이 대두되면서, 소규모 사업장과 직화구이를 포함한 음식점에 대한 개선 정책이 추진되고 있다.

그러나 과거 사례를 살펴보면 다양한 문제로 인해 정책이 실효성을 거두지 못한 사례가 다수 존재한다. 이에 따라, 신규 계획을 기반으로 2025년부터 각 지역별로 음식점에 대한 방지시설 설치 지원사업이 본격적으로 추진될 예정이며, 과거 사례를 반영하여 개선된 정책 방향을 제시하는 것이 필수적이다.

본 논문에서는 과거 사례 검토와 정책 현황 분석을 통해 실패 요인을 도출하였으며, 이를 교훈 삼아 향후 정책 추진 시 고려해야 할 사항을 제안하였다. 앞으로 추진될 정책이 본 논문에서 제시한 의견을 면밀히 검토·반영하여 실효성 있는 정책이 마련되기를 기대한다.

감사의 글

본 논문은 충청남도의 재원으로 충남연구원 현안 연구과제 “조리시설 대기오염물질 배출특성 및 적용

기술 조사(24HA0069)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Apte, K., Salvi, S. (2016) Household air pollution and its effects on health, *F1000Research*, 5, 2593.
- Belias, E., Licina, D. (2023) Outdoor PM_{2.5} air filtration: optimising indoor air quality and energy, *Buildings & Cities*, 3(1), 186-203. <https://doi.org/10.5334/bc.153>
- Buonanno, G., Morawska, L., Stabile, L. (2009) Particle emission factors during cooking activities, *Atmospheric Environment*, 43(20), 3235-3242. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.044>
- Chungnam Institute (CNI) (2024) Investigation of air pollutant emission characteristics and application technology of cooking facilities.
- Gong, B.J., Park, J.M., Kim, J.H., Kim, H.C., Jo, J.H., Kim, D.G., Lee, S.B., Kim, J.S., Kim, J.H. (2017) Survey of restaurant odor status and measurement method, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 16(4), 375-392, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2017.16.4.375>
- Gonzalez-Martin, J., Kraakman, N.J.R., Perez, C., Lebrero, R., Munoz, R. (2021) A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control, *Chemosphere*, 262, 128376. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376>
- Incheon Green Environment Center (IGEC) (2024) Research on Improvement Plans and Support Projects of Prevention Facilities for Small-Scale Facility.
- Jeon, H.-S., Kim, J.-M., Bae, K.-H., Kim, T.-O. (2014) Control of odor using an electrostatic precipitator and adsorption hybrid system in unregulated facilities, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 13(2), 113-123, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2014.13.2.113>
- Jones, A.P. (1999) Indoor Air Quality and Health, *Atmospheric Environment*, 33(28) 4535-4564. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)
- Kang, B.-U., Jeon, J.-M., Lee, H.S. (2015) A Study on the Source Profile Development for Fine Particles (PM_{2.5}) Emitted from Meat Cooking, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 30(1), 18-25, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.1.018>
- Karottki, D.G., Spilak, M., Frederiksem, M., Gunnarsen, L., Brauner, E.V., Kolarik, B., Andersen, Z.J., Sigsgaard, T., Barregard, L., Strandberg, B., Sallsten, G., Moller, P., Loft, S. (2013) An indoor air filtration study in homes of elderly: cardiovascular and respiratory effects of exposure to particulate matter, *Environmental Health*, 12, 116. <http://www.ehjournal.net/content/12/1/116>
- Koponen, I., Asmi, A., Keronen, P., Puhto, K., Kulmala, M. (2001) Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999-the effect of outdoor air pollution on indoor air, *Atmospheric Environment*, 35(8), 1465-1477. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00338-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00338-1)
- Korea Environment Institute (KEI) (2023) Policy Directions for Effective Cooking Emissions Management.
- Kwon, W.-T., Lee, W.-S. (2016) A Study on the Removal Efficiency of Harmful Pollutants in the Cooking Chamber, *Culinary Science & Hospitality Research*, 22(8), 149-156, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.20878/cshr.2016.22.8.149>
- Lee, H., Chung, S.J., Park, J.S., Kim, S., Park, D.W., Sohn, J.W., Kim, S.-H., Park, C.-S., Yoon, H.-J. (2020) Impact of Grilling Meat or Fish at Home on Peak Expiratory Flow Rate in Adults With Asthma, *Allergy Asthma & Immunology Research*, 12(4), 729-737. <https://doi.org/10.4168/aaair.2020.12.4.729>
- Lee, T.-J., Kim, S.-C., Jeon, J.-M., Kim, D.-S., Jo, Y.-M. (2019) Evaluation of odor emission characteristics and contribution of meat grilling restaurants, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 18(2), 121-130, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2019.18.2.121>
- McDonald, J.D., Zielinska, B., Fujita, E.M., Sagebiel, J.C., Chow, J.C., Watson, J.G. (2012) Emissions from Charbroiling and Grilling of Chicken and Beef, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(2), 185-194. <https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466141>
- Ministry of Environment (MOE) (2016) Enforcement Decree of the Clean Air Conservation Act, Asterisk 1 of 3, Separation guideline of Facility.
- Ministry of Environment (MOE) (2017) Guidebook for Odor Management of Restaurant.
- Ministry of Environment (MOE) (2019a) Manual for management indoor air quality in houses.
- Ministry of Environment (MOE) (2019b) 1st Comprehensive plan for fine dust management (2020~2024).
- Ministry of Environment (MOE) (2023) Guideline for installation and operating of Internet of things measuring device.

- Ministry of Environment (MOE) (2024a) 2nd Comprehensive plan for fine dust management (2025~2029).
- Ministry of Environment (MOE) (2024b) National treasury subsidy processing guidelines for small-scale facility support project in 2024.
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2024a) Handbook of methods for calculating national air pollutant emission reductions.
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2024b) Air Pollutant Emissions Statistics in 2022.
- Park, S.K., Choi, S.-J., Kim, J.-Y., Lee, H.-J., Jang, Y.-K., Bong, C.-K., Kim, J.-H., Hwnag, U.-H. (2011) 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, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2011.27.4.426>
- Park, S.K., Kim, D.K., Hwang, U.H., Lee, J.J., Lee, J.B., Bae, I.S., Eo, S.M., Jung, K. (2015) Emission Characteristics of Air Pollutants from Meat Charbroiling, *Journal of Climate Change Research*, 6(4), 311-318, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2015.6.4.311>
- Ruan, T., Rim, D. (2019) Indoor air pollution in office buildings in mega-cities: Effects of filtration efficiency and outdoor air ventilation rates, *Sustainable Cities and Society*, 49, 101609. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101609>
- Seo, J.-W., Kim, Y.-I., Lee, H.-S., Kim, J.-H., Kim, Y.-D., Shin, J.-H. (2021) Evaluation of Removal Efficiency in Emission Pollutants by Air Pollution Prevention Facilities from Meat Grilled Restaurants - Focus on the Electrostatic Precipitator -, *Particle and Aerosol Research*, 17(4), 115-123, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.11629/jpaar.2021.17.4.115>
- Seo, Y.-H., Jang, Y.-K. (2014) CMB Source profile of PM₁₀ emitted upon meat and pork charbroiling, *Journal Korea Society of Environmental Administration*, 20(2), 49-55, (in Korean with English abstract).
- Si, J., Bai, L., Xu, X., Li, C. (2023) Pollution characteristics and health hazards of PAHs in PM_{1.0} in the cooking environment, *Building and Environment*, 237(1), 110279. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110279>
- Tran, V.V., Park, D., Lee, Y.-C. (2020) Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2927. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
- Viegi, G., Simoni, M., Scognamiglio, A., Baldacci, S., Pistelli, F., Carrozzi, L., Annesi-Maesano, I. (2004) Indoor air pollution and airway disease, *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 8(12), 1401-1415.
- Won, S.R., Ji, H.A., Kwon, M., Hwang, E.S., Lee, J.-S., Shim, I.-G. (2019) Characteristics of Particles and Gaseous Pollutants Generated from Roasting Fish and Meat in Kitchens, *Journal of Environmental Analysis, Health and Toxicology*, 22(4), 224-229, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.36278/jeaht.22.4.224>
- Yoo, S., Oh, H., Kim, D., Song, J., Lee, T., Ryu, H. (2024) Performance evaluation and optimization of convergent abatement technologies for the simultaneous reduction of particulate matter and odor in meat grilling emissions, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 23(3), 184-196, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2024.23.3.184>

Authors Information

- 장은희 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)
(jangpro@cni.re.kr)
- 황규철 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)
(kchwang@cni.re.kr)
- 노수진 (대림대학교 안전보건학과 교수)
(sjnoh@daelim.ac.kr)
- 김동호 (강원대학교 미세먼지특성화대학원 박사과정)
(kdh7144@nate.com)
- 김정호 (열린공간 소장) (jeonghoflux@naver.com)
- 신인철 (충청남도보건환경연구원 환경조사팀 팀장)
(sic33@korea.kr)
- 김영준 (인천녹색환경지원센터 대외협력실 부장)
(kyj@igec.re.kr)
- 박세찬 (충남녹색환경지원센터 기술지원팀 팀장)
(scpark@cngec.or.kr)
- 김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)
(kjb0810@cni.re.kr)