

국내 실내공기질 관리정책의 변천 및 제어기술의 현황

Management Policy and Control Technology for Indoor Air Quality in Korea

배 귀 남* · 지 준 호

한국과학기술연구원 환경복지연구단

(2013년 6월 7일 접수, 2013년 7월 29일 수정, 2013년 7월 29일 채택)

Gwi-Nam Bae* and Jun-Ho Ji

*Center for Environment, Health and Welfare Research,
Korea Institute of Science and Technology*

(Received 7 June 2013, revised 29 July 2013, accepted 29 July 2013)

Abstract

In Korea, studies on the indoor air quality have been conducted since mid of 1980s. The turning point occurred in 2003 by establishing the act of the indoor air quality management for public facilities. According to the law, the basic plan for indoor air quality management is prepared by government every five years, affecting greatly governmental policy and related academia and industries. Indoor air quality survey was mostly carried out among indoor air quality researches. After then, assessment of health effect and air cleaning technology were studied. Although various control technologies for particle, bioaerosol, odor, and hazardous chemicals have been applied to indoor environments, breakthrough technologies are needed to solve real problems facing at the applied environments. In the future, issue of indoor air quality is more interested and both management policy and control technology are key factors in order to realize comfort and healthy indoor environments.

Key words : Indoor air quality, Management policy, Research and development, Control technology

1. 서 론

실내공간은 쾌적한 삶의 공간을 만들기 위하여 사람이 인위적으로 외부환경과 격리시킨 곳으로, 일반적으로 주거공간, 사무공간, 운송공간 등으로 구분할

수 있다. 이러한 실내공간을 구성하는 대표적 환경요소로는 열(냉난방), 소음, 조도(조명), 공기질 등이 있다. 사람들은 춥고 더운 환경에 매우 민감하기 때문에 실내공간에서 열적 쾌적성(thermal comfort)에 대한 연구는 오래 전부터 매우 체계적으로 수행되어 다양한 지표들이 개발되었고, 일부는 건물 공조시스템의 설계 및 운영에 반영되고 있다(Bae, 1995). 소음과 조도도 사람들이 쉽게 감지할 수 있기 때문에 실내공간에서 이들 요소를 법적으로 규제하여 관리

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-958-5676, E-mail : gnbae@kist.re.kr

하고 있다. 이에 비해 사람마다 공기질에 대한 민감성이 크게 달라 공기질의 중요성에 대한 사회적 공감감이 부족하여 기술개발 및 관리가 상대적으로 미흡한 실정이다.

실내공기질(indoor air quality, IAQ)은 초기에 대기질의 일부로 인식되었으나, 점차 독립된 영역으로 자리매김하고 있으며, 현대인의 건강보호 측면에서 중요성이 더욱 증대하고 있는 추세이다. 예를 들면, WHO(World Health Organization) 유럽사무소에서는 1987년에 처음으로 유럽 대기질 가이드라인(air quality guidelines for Europe)을 발간하였고, 이 가이드라인에서 라돈, 담배연기, 실내공기오염물질이 다루어졌다(WHO, 2000). 이후로 WHO에서는 실내공기질 가이드라인을 별도로 제정하기 위한 작업반을 운영하여 2009년에 결로(dampness)와 곰팡이(mould)에 대한 가이드라인을, 2010년에 대표적 오염물질에 대한 실내공기질 가이드라인을 각각 발간하였다(WHO, 2010, 2009).

IAQ에 대한 연구는 춥고 겨울이 길어 실내환경이 열악한 북유럽 국가를 중심으로 1960년대부터 산발적으로 시작되었고, 1978년 덴마크 코펜하겐에서 처음으로 국제학술대회(International Indoor Climate Symposium)가 개최되어 실내환경이 사람의 쾌적성, 생산성 및 건강에 미치는 영향에 대한 학문적 논의가 이루어졌다(Andersen, 2008).

국내에서도 1980년대 후반부터 IAQ에 대한 연구가 이루어지기 시작하였고(Lee and Kim, 2004), 점차 대기환경, 건축환경, 작업환경, 기계설비 연구자들이 IAQ에 관심을 갖게 되었다(Sohn, 1994). 초기에 IAQ 이슈(중금속, 석면, 라돈 등)는 주로 지하공간에서 발생하였고, 이에 따라 1989년에 아황산가스, 먼지, 납 등 14개 오염물질에 대한 ‘지하공간 환경기준 권고치’가 설정되었고, 1996년에 ‘지하생활공간 공기질관리법’이 제정되었다. 그 후 2003년에 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법’이 제정되고, 매 5년마다 ‘실내공기질 관리 기본계획’이 수립되면서 IAQ에 대한 체계적 관리가 국가 차원에서 본격적으로 시작되었고, 이에 따라 이해관계자 및 일반인의 IAQ에 대한 관심이 크게 높아졌다.

현대인들이 점차 실내에서 생활하는 시간이 늘어나고(Yang et al., 2009), 건축자재, 생활용품 등에 화학물질의 사용이 증가하면서 IAQ의 중요성이 부각

되고 있다. 이에 따라 정부에서는 실내공기오염의 관리방안으로 오염원 제어(건축자재 등 오염원 사전관리), 환기제어(환기설비 관리) 및 제거제어(공기정화설비 관리)를 추진하고 있다. 이러한 정책에 맞추어 민간단체에서는 ‘친환경건축자재 인증제도’ 등을 실시하여 건축물의 실내공기질 개선과 건축자재의 기술개발을 유도하고 있다.

IAQ에 대한 관심은 사무공간의 실내공기오염 문제(sick building syndrome)로 시작되어 신축 공동주택(새집증후군), 학교(새학급증후군), 교통수단(새차증후군) 등으로 확대되고 있으며, 환경성질환과 연계하여 민감계층(어린이, 노인)의 생활공간에 대한 관심이 매우 높고, 복지사회를 지향하면서 복지시설의 IAQ에 대한 관심도 점차 높아지고 있다.

이 논문에서는 우리나라 IAQ 관리정책 및 관련 연구동향을 살펴보고, 쾌적하고 건강한 실내환경을 구현하기 위한 IAQ 제어기술의 현황에 대하여 고찰하고, 앞으로 나아가야 할 방향에 대하여 간략하게 언급하였다.

2. 국내 실내공기질 관리정책

1980년대 후반 IAQ에 대한 인식이 부족한 상황에서 지하공간의 실내공기오염 문제가 사회적 이슈로 제기됨에 따라 정부에서는 법적 관리방안을 마련하기 위하여 노력하였으며, 그 결과로 1989년에 지하도상가, 지하주차장 등에 적용할 수 있는 ‘지하공간 환경기준 권고치’가 설정되어 지방자치단체에서 관리하였다. 그 후로 통합 실내공기질관리법의 제정을 추진하였으나, 관계부처간 이견으로 어렵게 되자 다중이용하는 지하역사, 지하도상가를 규제대상으로 하는 ‘지하생활공간 공기질관리법’이 1996년에 제정되었다.

2003년에 타법의 관리대상시설 이관, 미관리 주요 시설을 추가하여 17개 시설군을 관리대상으로 하는 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법’이 제정되었다. 이 법에서는 다중이용시설의 실내공기질 유지기준 및 권고기준의 설정, 다중이용시설 관리책임자에게 교육의무 부여, 다중이용시설에 환기설비 설치의무 부여, 오염물질 다량방출 건축자재의 사용제한, IAQ 측정의무 부여 등의 다양한 관리기법이 도입되

고, 신축 공동주택의 IAQ 관리를 위한 시공자의 측정·공고 의무를 반영하였다. 이 법은 지금까지 대상 시설 확대 등을 목적으로 5번 개정되었고, 현재 제명을 '실내공기질관리법'으로 변경, 측정망 설치 및 측정기기의 부착, IAQ 관리 우수시설에 대한 인증제도의 도입, 대중교통수단 등으로 IAQ 관리범위의 확대, 건축자재의 방출시험 의무화, 실내 라돈의 체계적 관리 등을 포함하는 개정안이 공고되었다(환경부 공고 2013-267호).

환경부에서 대부분의 시설을 관리하고 있지만, 아직도 개별법을 근거로 고용노동부에서 사무실, 교육부에서 학교, 보건복지부에서 공중이용시설, 국토교통부에서 주차장을 관리하고 있는데, 일관되고 통일된 정부의 IAQ 정책 실시의 한계가 노출되고 있어 문제점으로 지적되고 있다. 지방자치단체에서도 시설 유형별로 여러 부서에서 IAQ를 관리하고 있다. 예를 들면, 서울시의 경우 '서울시 다중이용시설 실내공기질 유지기준 조례(2005)'를 제정하여 실시하고 있으며, 다중이용시설은 기후환경본부와 서울시보건환경연구원, 공중이용시설은 복지건강실, 실내 노동공간은 서울지방고용노동청, 학교는 서울시교육청에서 관리하고 있다. 한국법제연구원의 Park (2010)은 생활공간 공기질 관리법제의 현황과 문제점, 외국의 관련법제를 분석하여 우리나라 관련법제의 개선방안을 제시하였다.

정부에서는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'에 의한 관리대상뿐만 아니라 다른 법에서 관리하고 있는 학교, 사무실 등에 대한 관리방향을 제시하고, IAQ 관리를 위한 부문별 세부계획뿐만 아니라 범부처적 연계관리 방향을 제시하기 위하여 매 5년마다 '실내공기질 관리 기본계획'을 수립하여 실시하고 있다. 2004년 12월에 발표한 1차 기본계획(2004~2008)에서는 IAQ 관리여건 및 오염현황, 국내의 IAQ 관리현황을 분석한 후 '실내공기질 적정관리를 통한 국민건강 보호'를 목표로 5가지 부문별 관리대책(① 정확한 IAQ 실태 파악 및 자료관리, ② IAQ 관리기준 합리화, ③ 건축자재 등 오염원 사전관리, ④ 환기설비 및 공기정화설비 관리, ⑤ 대상시설 확대 및 기타 시설 관리방안)을 수립하여 제시하였고, IAQ 관리기반 구축을 위한 법·제도 정비, IAQ 관련 산업육성 및 기술개발 지원, 교육 및 홍보, 협력체계 구축, 관리체계 보완·개선, 투자계획 및 소모재원에 대한 계획

을 마련하였다.

이러한 범부처의 노력으로 실내공기오염에 민감한 어린이·청소년이 생활하는 학교의 IAQ 개선을 위한 종합대책이 수립되어 학교 IAQ 기준이 2개 항목에서 12개 항목으로 대폭 강화되고, 정기점검 시기 및 방법이 규정되는 성과를 얻었다. 또한, 공중이용시설 공기질 관리항목으로 폼알데하이드 기준이 도입되었으며, 대중교통수단의 IAQ 가이드라인이 제정되고, 신규 제작자동차의 IAQ 관리기준이 제정되었다.

2009년 1월에 발표한 2차 기본계획(2009~2013)에서는 1차 기본계획의 성과 및 평가 분석을 토대로 '국민공감 IAQ 조성을 통한 국민건강 보호'를 목표로 IAQ 관리체계·역량 발전을 위한 6대 추진전략(① IAQ 관리의 선진화, ② 오염원 관리 확대, ③ 환기 및 공기정화설비 관리체계 구축, ④ 건축물 전생애 IAQ 관리, ⑤ 건강영향이 큰 실내공기 오염물질 관리, ⑥ 건강영향 사전관리)과 IAQ 관리제도·기술 기반 강화를 위한 6대 추진전략(① 법·제도 개선, ② 관련자료 정보화 및 신뢰성 확보, ③ 녹색성장을 위한 실내환경 분야 신성장동력 확충, ④ 이해관계자간 역할분담 및 협력체계 구축, ⑤ 전문인력 양성, ⑥ 대국민 교육·홍보 강화)을 수립하여 제시하였다. 현재 3차 기본계획(2014~2018)을 수립하기 위하여 한국실내환경학회를 중심으로 전문가 의견을 수렴하는 작업이 진행 중이다.

IAQ 관리에서 계속 논란이 되는 이슈는 유지기준과 권고기준의 오염물질 항목 및 기준값, 공정시험기준, 적용대상 시설의 범위 등이다. 이와 관련하여 최근 한국실내환경학회에서는 국내 다중이용시설의 IAQ 실태조사 자료를 분석하고, WHO의 IAQ 가이드라인 개발과정을 참고하여 IAQ 기준 조정의 이슈별 개정 방안을 제시하고, 다중이용시설의 IAQ 기준 설정 지침을 제안하였다. 국립환경과학원의 Seo *et al.* (2008)은 시료채취방법을 포함하여 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs), 미세먼지 등 오염물질의 공정시험기준 개선에 대한 연구를 수행하여 '실내공기질 공정시험기준' 개정에 반영하였다.

환경부에서는 한국실내환경학회, 한국대기환경학회 등과 연계하여 중장기 발전방향 수립, 현행 IAQ 기준 조정 방안, 실내환경 진단·개선 서비스 발전방향, 미래 IAQ 관리 이슈 등에 대한 전문가 의견을 수렴하여 정책에 반영하는 노력도 병행하고 있다.

독일의 Blue Angel, 미국의 Green Guard 등 선진국에서는 건축자재, 사무기기, 가구 등을 대상으로 인증제도를 운영하고 있으며, 국내에서도 환경마크협회, 한국공기청정협회 등에서 친환경건축자재 인증제를 실시하고 있다. 또한, 정부에서는 건축자재별 오염물질 방출기준을 설정하여 기준 이상으로 방출하는 건축자재를 고시하여 다중이용시설에 사용하는 것을 금지하고 있다.

3. 국내 실내공기질 연구

Lee and Kim (2004)은 1988~2001년 기간 동안 수행된 다중이용시설의 IAQ 연구문헌 53편을 시설별, 오염물질별로 분석하여 제시하였고, ‘지하생활공간 공기질관리법’의 제정 이후 일시적으로 연구가 활성화된 것이 정부의 IAQ 진흥정책에 힘을 입은 것이라고 지적하였다. 2003년 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법’ 제정으로 IAQ에 대한 체계적 관리가 국가 차원에서 본격적으로 시작되었고, 이에 따라 사회적 관심이 높아지고 다양한 정책적 연구 및 기술개발 수요가 발생되었다. 국내 IAQ 연구는 1980년대 후반부터 산발적으로 수행되어 오다가 2003년 이후 환경부에서 지원하는 연구용역사업 형태로 본격적으로 수행되었다.

다중이용시설의 기준 합리화를 위하여 미세환경별, 미적용 시설 및 소규모 시설별, 오염물질별 (VOCs, 부유 미생물) 실태조사 연구가 많이 수행되었다. 그러나 이러한 연구사업을 통해 10개 오염물질에 대한 객관적인 실태조사 자료를 확보한 시설군이 전체 17개 중 5개에 불과하여 법적 관리대상인 다중이용시설군의 IAQ 현황을 객관적으로 판단할 수 있는 자료가 매우 빈약하다.

2차 ‘실내공기질 관리 기본계획’에서는 IAQ 분야 진단·개선 서비스업을 신성장동력으로 육성하고자 계획하였으며, 이에 따라 환경부의 지원으로 보육시설, 아동복지시설 및 PC방을 대상으로 IAQ 진단·개선 시범사업이 추진되었다. 공기청정기, 살균 및 소독, 환기설비, 친환경건축자재, 지하공간 제습 등의 개선방안을 적용하여 IAQ 개선효과를 평가하였고, 시설별 IAQ 설계 및 유지관리 지침서와 관리 매뉴얼을 작성하여 관련 기관에 배포하였다.

국립환경과학원에서는 자체 연구사업으로 IAQ 정책연구를 수행하고 있다. 예를 들면, 공동주택의 오염도 변화 추이 파악을 위한 시계열 조사, 생활용품 오염물질 방출 특성 조사, 보육시설 IAQ 특성 조사, 다중이용시설의 석면함유물질 사용 실태조사 등이 수행되었다 (Jang *et al.*, 2008, 2006; Lim *et al.*, 2008a, b).

이와 별도로 환경부에서는 한국환경산업기술원을 통해 국가연구개발사업 차원에서 차세대 핵심환경기술개발사업 (2001~2010), 차세대 EI사업 (2011~2020), 생활공감 환경보건기술개발사업 (2012~2021)으로 연구과제를 지원하여 오고 있다. 특히, 생활공감 환경보건기술개발사업은 환경유해인자로 인한 인체건강 및 생태계 건전성을 확보하고, 환경보건정책 추진의 기술적 지원을 위한 기술개발을 목적으로 생활환경 유해인자 위해관리기술, 환경성질환 대응기술, 유해화학물질 위해관리기술 분야를 지원하고 있다.

또한, 한국환경산업기술원에서는 매년 기술연구회 활동을 통해 환경기술 동향보고서를 발간하고 있다. 즉, 2010년에는 항균기술과 나노입자제어기술을 기반으로 환경성질환 예방 실내환경질 관리 시스템 기술 동향, 2011년에는 노인의료복지시설의 안심공기 관리 시스템 기술 동향을 정리하여 발간하였다.

IAQ 관련 대형 연구사업으로는 서울시 산학협력 과제의 지원으로 ‘지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발 (2007~2012)’ 연구가 건국대의 주관으로 수행되었고, 국토교통부 미래도시철도기술개발사업의 지원으로 ‘도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선 기술개발 (2009~2014)’ 연구가 한국철도기술연구원의 주관으로 수행되고 있다. 미래창조과학부 신기술융합형성장동력사업의 지원으로 ‘실내공간 예코청정화 원천기술개발 (2009~2014)’ 연구가 한국과학기술연구원의 주관으로 수행되고 있다.

국내 IAQ 관련 연구는 한국대기환경학회지 (Lee *et al.*, 2010; Baek *et al.*, 1998), 한국생활환경학회지 (Kim, 1994; Shon, 1994), 설비공학논문집 (Kim *et al.*, 2005; Shin *et al.*, 2003), Particle and Aerosol Research (Park *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2009) 등에 게재되고 있다. 2004년 한국실내환경학회가 창립되면서 한국실내환경학회지에 많은 연구결과들이 발표되고 있는데, 2012년말까지 총 204편의 논문이 게재되었고 이들 논문을 기술별로 분류하여 표 1에 정리하여 나타냈

Table 1. Classification of papers published in the Journal of the Korean Society for Indoor Environment during the period from 2004 to 2012.

Category	Number of papers
Material and products emitting indoor air pollutants	13
Indoor ventilation	5
Indoor air cleaning	38
Human health assessment	42
Diagnosis and improvement of indoor air quality	8
Indoor air quality survey	67
Others	31
Total	204

다. 표 1을 보면, 실내공기질 실태조사가 67편으로 전체의 1/3을 차지하고, 다음으로 인체 건강영향 기술과 실내 공기정화 기술이 각각 21%, 19%를 차지한다. 그러나 실내오염물질 배출 소재·제품 기술, 실내공기 진단·개선 기술, 실내환기 기술은 6% 이하로 지금까지의 연구활동이 매우 미흡하므로, 향후 이 분야에 대한 연구가 활발하게 수행되어야 실질적인 IAQ 향상이 이루어질 것으로 예상된다.

4. 실내공기질 제어기술

실내공기 오염원은 크게 입자상 오염원과 가스상 오염원으로 분류할 수 있다. 이산화탄소(CO₂), VOCs, 폼알데하이드(HCHO), 이산화질소(NO₂), 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO) 등의 유해가스와 사람에게 불쾌감을 일으키는 냄새 물질을 포함하는 가스상 오염원이 있고, 미세먼지, 초미세먼지, 황사 등의 먼지로 인식하는 물질과 꽃가루, 공기 중 박테리아, 곰팡이 포자, 바이러스를 나타내는 바이오에어로졸은 입자상 오염원으로 분류할 수 있다.

이에 대응하여 IAQ 제어기술도 크게 입자상 물질과 가스상 물질의 제어기술로 나눌 수 있다. 입자상 물질 제어기술로는 공기 중 미세먼지/나노입자 제거 기술과 공기 중 미생물 제거 및 항균기술이 있고, 가스상 물질 제어기술로는 희석환기 기술과 탈취/유해가스 제거기술이 있다. 최근에는 실내환경질(indoor environmental quality, IEQ) 센서기술과 이를 이용하여 제어하는 USN(ubiquitous sensor network) 기술을 적용하여, 적은 에너지로 건강한 실내환경을 구현하

고자 하는 노력이 시도되고 있다. 여기에서는 센서기술과 환기기술을 제외한 IAQ 제어기술의 현황과 향후 기술 방향을 고찰하였다.

국내 IAQ 제어기술은 적용대상을 기준으로 크게 가정용과 상업용으로 구분되는데, 가정용은 대부분 이동이 가능한 공기청정기로 제품화되었고, 상업용의 경우 건물의 중앙공조장치나 외기처리장치에 적용할 수 있는 프리필터 혹은 중성능 필터나 공조용 전기집진장치를 채용하고 있다. 가정용의 경우 2004년 웰빙이 이슈화되면서 공기청정기 시장이 커지고 다양한 기술이 선보였지만, 공기청정기의 음이온 발생기와 정전식 공기청정기의 오존 발생이 이슈화 되면서 시장이 줄어든 후, 다시 회복되고 있는 추세이다. 상업용의 경우 바깥 공기가 유입되는 환기부에 주로 필터가 적용되고 있는데, 내부 공기를 순환하는 가정용 접근 방식에 비해 외기의 오염물질이 계속 유입되므로 이를 효과적으로 처리하고 신뢰성이 있는 기술이 요구되기 때문에 적용 기술의 변화가 크게 나타나지 않는다.

표 2에 실내공기 오염원을 입자상 물질과 가스상 물질로 분류하였고, 입자상 물질을 다시 살아있는 입자와 생명성이 없는 입자로 나누었다. 이들 세 가지 오염물질에 대한 배경, 제어기술의 현황, 대표 제품 및 기술 방향에 대해 정리하였다.

4.1 공기 중 입자 제거기술

일반적으로 공기 중 입자상 물질을 효과적으로 제거할 수 있는 기술은 필터에 의한 여과기술과 정전기력을 이용한 집진기술이 대표적이다. Fisk and Rosenfeld(1997)는 건물에 고성능 필터를 채용하여 IAQ를 개선하면 약 20배의 경제적 이익을 얻을 수 있다고 보고하였다.

에어필터는 공기 중 분진, 꽃가루, 박테리아 등의 입자상 오염물질을 제거하는 목적으로 사용되고, 건물 환기 시스템이나 클린룸 등의 깨끗한 공기가 요구되는 분야에 사용되고 있다. 에어필터는 크게 공조용 및 클린룸용 에어필터, 가정용 에어필터, 마스크용 필터, 집진기용 카트리지 필터 및 자동차용 캐빈필터 등으로 구분된다. 공조용 및 클린룸용 에어필터는 저성능, 중성능, 고성능 HEPA(high efficiency particulate air), 초고성능 ULPA(ultra low penetration air) 필터로, 가정용 에어필터는 공기청정기용, 에어컨용, 진공

Table 2. Characteristics of indoor air pollutants and the status and future of control technologies.

Classification	Particulate contaminants		Gaseous contaminants
	Non-biological particles	Biological particles	
Background	<ul style="list-style-type: none"> • Health effect of fine and ultrafine particle in atmosphere • Photochemical smog and haze in urban area • Roadside diesel emission • Long-range transport of Asian dust and smog from China • Indoor activity (cooking, smoking, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pollen, bacteria, fungi spores in air as an allergen • Increase respiratory diseases such as asthma and allergic rhinitis • Airborne infections by viruses (SARS, bird flu virus, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ concentration in indoor as an air quality indicator • Formaldehyde, volatile organic compounds as sick building syndrome substances • Indoor enrichment of harmful gas emissions from furniture, electronics, etc. • Discomfort due to smell (burning of fish or meats, etc.)
Required technology	<ul style="list-style-type: none"> • Reduction of fine and ultrafine particles in air • Low energy consumption filtration technology • Portable air cleaner with high capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Bioaerosol removal in air • Reduction of microbial concentrations on surfaces on filter or the ventilation systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Effective ventilation of indoor air including CO₂, harmful gases and odor • Harmful gas and odor removal in air
Control technology	<ul style="list-style-type: none"> • Filtration • Electrically controlled system (Electrostatic precipitator) 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtration • Antimicrobial ion generation • UV germicidal irradiation • Photocatalytic oxidation • Control of temperature and humidity 	<ul style="list-style-type: none"> • Harmful gas and odor adsorption using activated carbon • Decomposition of the harmful gaseous materials using photocatalyst, thermal catalyst system and plasma system
Representative product	<ul style="list-style-type: none"> • Portable air cleaner with a HEPA filter • Air handling unit or HVAC with a midium filter • Air handling unit or HVAC with an electrostatic precipitator 	<ul style="list-style-type: none"> • Antimicrobial filter • UV germicidal irradiator • Ozone sterilizer • Antimicrobial ion generator 	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorption filters (such as activated carbon or zeolite adsorbent) • Thermal catalyst system • Photocatalytic system
Problem in real indoor applications	<ul style="list-style-type: none"> • Effectiveness of portable air cleaner considering indoor space volume • Maintenance cost, filter exchange cost, operation energy cost 	<ul style="list-style-type: none"> • Doubt on the antibacterial effect of ion generation technology considering indoor space volume • Effectiveness of antimicrobial filter in real world 	<ul style="list-style-type: none"> • Short lifetime of deodorizing filter • Low efficiency of the slow reaction rate in photocatalytic system • High energy consumption and safety problem with thermal catalyst system
Future research	<ul style="list-style-type: none"> • High efficiency and low energy consumption system • High capacity air cleaner • Energy reduction algorithm with sensing feedback 	<ul style="list-style-type: none"> • High capacity ion generation technology • Antimicrobial filtration with high efficiency and low energy consumption 	<ul style="list-style-type: none"> • Increasing of initial adsorption capacity using high specific surface area • Decomposition techniques for increasing the lifetime of adsorption filter

청소기용 필터로 나눌 수 있다. 헤파(HEPA) 필터는 높은 집진효율로 인해 산업, 의학, 군사 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 최초의 헤파필터는 원자탄을 개발하는 맨하튼 프로젝트의 진행과정에서 연구개발

회사인 Arthur D. Little에 의해 1940년대에 설계되었다. 헤파필터는 공기를 통한 감염 관리에 가장 효과적인 수단으로 인정받아 전 세계의 병원에서 널리 사용되고 있다. 울파(ULPA) 필터는 원자력 연구의

초기단계에서 방사능 유출을 막기 위하여 개발되었다. 보통 클린룸 등에 이용되었고, 압력손실이 높기 때문에 일반 공조 시스템에 적용하는 것은 불가능하다. 필터기술은 쉽게 일반 실내공간을 청정하게 만드는 기술이므로, 가정에서는 공기청정기, 건물에서는 공조장치나 외기처리장치에 중성능 필터를 채용하는 방식으로 적용되고 있다. 그러나 필터에 걸리는 압력손실은 환기 에너지 비용을 높이는 주요 원인이 되고, 필터의 교체에 따른 새로운 필터의 구입비용, 인건비, 사용된 필터의 폐기 비용 등은 고성능 필터를 채용하는 데 장벽으로 작용되고 있다. 중성능급을 사용하는 일반 공조용 필터(F7 등급)를 예로 들면, 100 nm 크기 입자의 집진효율은 40~50% 정도이다. 작동시간이 증가할수록, 대상공간의 미세먼지 농도가 높을수록 필터의 기공이 빨리 막히면서 필터의 압력손실이 증가하므로, 일반 공조 시스템에서는 4~6개월에 한 번씩 공조용 중성능 필터를 교체하고 있다. 초기 압력손실을 줄이기 위한 노력으로 미국의 Donaldson 사는 필터 구성 섬유의 크기를 나노크기까지 줄이는 나노섬유를 이용한 필터를 상용화하여 제품에 적용하고 있다.

정전기력을 이용하는 필터는 코로나 방전을 이용한 정전필터 방식과 전기집진 방식으로 나눌 수 있다. 정전필터는 기존 섬유필터의 단점인 압력손실의 증가에 따른 운전비용의 증가를 보완하기 위해 이용되는데, 정전필터는 제조방법에 따라 필터 자체가 정전기를 갖게 되는 대전필터와 외부의 강한 전기장에 의해 필터섬유에 극성을 띄게 하는 유전필터가 있다. 정전필터는 일반 섬유필터에 비해 압력손실이 낮으면서 초기 집진효율이 높아 진공청소기, 방진 마스크, 공기청정기 등에 널리 사용되고 있으며, 자동차용 캐빈필터와 같이 압력손실이 높아지면 적용하기 어려운 곳에 사용되고 있다. 3M의 Filtret 제품군과 같이 섬유상 필터에 정전기를 부여하여 집진효율을 높이는 새로운 정전필터 방식이 사용되고 있지만, 고효율과 장수명, 신뢰성을 확보하기에는 기술적인 어려움이 있다. 공기 중에서 대전된 먼지가 필터 섬유 표면에 부착하면 초기의 정전기력을 상쇄하게 된다. 이로 인해 사용시간이 경과함에 따라 집진효율이 감소하는 문제점이 발생하므로, 실제 교체주기에 대하여 충분한 데이터가 필요하고, 수명이 먼지가 많은 고부하 조건에서는 짧아질 수 있다. 최근에는 중성능 필

터의 초기 효율을 상승시키고, 수명을 증가시키는 방법으로 중성능 필터에 정전처리를 하기도 한다. 헤파필터의 대안으로 이오나이저(ionizer)를 설치하여 공기청정장치로 유입되는 공기 중 먼지를 코로나 방전으로 대전시킨 후, 후단에 정전필터를 설치한 e-헤파필터 등이 시도되었지만, 효율이 상대적으로 낮고 운전시간이 증가하면 효율이 감소하는 문제가 있다.

1907년 Frederick G. Cottrell이 처음으로 산업용 전기집진시스템에 대한 특허를 출원한 이후로, 가정용 이동형 공기청정장치에 적용된 전기집진 필터 시스템은 1954년 Raytheon에 의해 처음으로 시장에 출시되었다. 전기집진 방식은 코로나 방전을 통해 생성된 양이온 또는 음이온이 입자를 대전시키고 반대 극성으로 대전되어 있는 집진판으로 대전된 입자를 부착시키는 기술이다. 여과방식에 비해 압력손실이 낮아 유지비가 적게 들고 한 번 설치한 후 추가적으로 교체비용이 들지 않아서 경제적이거나, 헤파필터나 울파필터에 비해 집진효율이 낮아 고청정을 유지하는 곳에는 사용하기 어려운 것으로 알려져 있다. 또한, 30 nm 이하의 나노입자는 부분대전(partial charging) 특성으로 효율이 감소하는 문제가 있고, 방전방식 및 형태에 따라 오존의 발생을 제어해야 한다.

국내의 실내 입자상 물질 제어기술은 기술적으로 포화된 분야로 연구가 많이 수행되고 있지 않지만, 새로운 기술을 시도하는 연구가 일부 진행되었다. 연세대에서 유전체 배리어 방전 기술을 이용한 나노입자 제어기술이 시도되었고(Park *et al.*, 2005), 한국기계연구원에서는 정전 폴리프로필렌 필터의 적용 가능성을 평가하였다(Kim *et al.*, 2007).

전통적인 전기집진기를 개발한 하니웰의 전기집진 방식은 집진부의 집지전극과 고전압 전극이 전도성 금속이기 때문에 집진효율의 한계가 있었다. 국내에서도 공조장치에 전기집진방식이 적용되기도 한다. 압력손실이 낮은 고효율 집진 시스템에 대한 다양한 아이디어가 시도되어 왔는데, 하니웰은 벌집형의 플라스틱 전극을 이용하여 집진부 전극 사이의 간격을 수 mm까지 감소시켜 콤팩트하게 설계하여 집진효율을 극대화시켰다. 다이킨의 전기집진방식은 고전압 전극을 고분자 재료를 이용하여 둘러싸고 집지전극은 전도성 금속전극을 사용하는 방식으로, 집진부에서 고전압 전극과 접지 전극 사이의 간격을 상대적으로 줄일 수 있어 기존 전기집진방식에 비해 효율

을 획기적으로 증가시켰다. 비슷한 방식의 스크롤형 전기집진기가 LG전자와 삼성전자에서 에어컨용 집진유닛으로 일부 제품에 장착되었다. 최근 삼성전자에서는 전기집진기의 기존 절연체 전극 구조를 기술적으로 한 단계 개선하여 프리미엄급 에어컨에 적용하여 제품화하였고, 에어컨의 냉방능력과 일치하는 청정능력을 확보하였다.

미래 입자상 물질 제거기술의 두 가지 방향은 인체에 영향이 크다고 알려진 초미세먼지와 나노입자의 제거효율을 높이는 고효율화와 IAQ를 개선하기 위해 사용되는 에너지를 최소화 하는 저에너지 기술일 것이다. 특히, 상용 건물에서 환기에만 사용되는 에너지의 비율이 전체 건물 에너지 소비의 6% (2011년 미국 상용 건물 기준, Building Energy Data Book)에 이를 정도로 매우 높은 비중을 차지하고 있다. 제로 에너지 빌딩과 같이 건물에서 소모되는 에너지를 최소화하려는 노력으로 건물의 밀폐와 기밀이 강화되는 시점에서 환기장치에 요구되는 환기량은 오히려 증가해야 할 것으로 예상되고, 이로 인해 건물에서 소비되는 환기 에너지 비중이 증가할 것으로 예측된다. 국내 가정이나 건물에 사용되는 미세먼지나 나노입자 제거기술은 주로 필터 여재를 사용하여 헤파급의 필터를 공기청정기에 적용하거나 중성능급 필터를 공조용으로 사용하고 있지만, 필터방식으로는 압력손실, 즉 에너지를 획기적으로 저감할 수 있는 새로운 기술은 어려워 보인다. 최근에는 중대형의 고용량 공기청정기의 청정화능력에 대한 연구가 진행되고 있으며, 실내공간에 효과적인 대용량 집진장치에 대한 요구가 증가하고 있다 (Kang *et al.*, 2013). 결국 전기집진 기술의 고도화를 통해 경쟁력을 확보하여 집진효율과 에너지 저감의 두 가지 목표를 달성해야 할 것으로 생각된다.

4.2 항균 기술

입자상 물질 중 미생물에 대해서는 살균, 항균 기술로 따로 분류할 수 있는데, 이는 미생물이 살아있는 생명체이기 때문이다. 미생물은 일반적인 먼지와 달리 번식하여 개체를 증식하는 특성과 대사하는 과정에서 유해가스나 냄새 유발물질을 공기 중에 확산시키는 특성을 갖는다. 공기 중 부유 미생물을 제거할 수 있는 가장 효과적인 기술은 입자상 물질 제어 기술인 필터 혹은 전기집진 기술이다. 공기 중 미생

물 또한 물리적인 크기를 갖는 입자상 물질이므로, 여과 메커니즘에 의해 공기 중 미생물의 농도를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 공기 중 미생물의 제어는 필터방식으로 해결할 수 있지만, 필터에 포집된 미생물이 필터에 부착된 다른 유기물 먼지와 응축된 수분을 먹이로 하여 필터 표면에서 번식하는 이차 오염 문제와 냉방기나 난방기의 열교환기 표면이나 벽지 등에서 곰팡이의 증식 문제와 같이 표면에 부착된 미생물의 증식과 대사가 문제이기 때문에 이를 해결하기 위한 기술이 요구된다. 특히, 필터 표면에 2차 오염원으로 번식하고, 대사하여 미생물 생성 휘발성 유기화합물 (microbial volatile organic compounds, MVOCs)을 냄새 물질이나 유해가스로 방출하기도 한다.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서는 치명적인 공기전염 위험성이 있는 미생물에 대해 건물 공조 요소기술인 필터나 UVGI (UV germicidal irradiation)를 적용할 경우 미생물의 제거효율이 높아질 것으로 예측하고 있다. 이에 따라 필터 및 자외선의 사용 등급을 증가시킬수록 미생물을 효과적으로 제거할 수 있어 오염물질에 노출된 건물 거주자의 오염에 따른 예상 사상률을 거의 0%에 가까운 수준까지 저감할 수 있다고 보고하고 있다. 이외에도 건물에 적용할 수 있는 다양한 기술이 있는데, 주로 열, 저온, 건조, 항균, 광촉매, 오존 등의 물리·화학적 현상과 정전기, 음이온화, 초음파, 펄스 백색광, 펄스 필터광, 펄스 전기장, 감마 방사, 전기빔 등 전자기장 및 관련 현상을 이용한 기술이 보고되고 있다. 전자기장을 이용한 소독은 빠른 처리가 가능하나 비용이 많이 들고 인체에 나쁜 영향을 미칠 가능성에 대한 우려가 있으며, 오존, 감마선 처리 등은 이용 과정에서 재실자가 유해물질에 노출될 가능성이 있다 (Bae, 2010).

기존 기술을 확대 또는 다른 기술과 접목하여 항균 기능을 확대시키려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 자외선 이용 장치의 경우 DNA를 변화시키는 파장을 방출하는 살균 자외선 노출 (UVGI)을 이용한 기술이 효과적으로 사용되어 왔고, 공조설비 표면에 부착된 박테리아, 곰팡이 등 미생물의 제어 기술로서 공조기 내 열교환기 표면 등을 제어하기 위한 기술로 확대되고 있다. 공기청정기 필터나 냉각코일 주변에 UV 등을 장착하여 항균기능을 적용하기

도 한다. 광촉매 산화기술을 이용한 살균장치는 실내 공기 중 VOCs 등 오염물질을 제거하는 능력과 결합하여 항균기능을 지닌 성질을 이용하여 난방, 환기, 냉방 시스템에 적용하는 쪽으로 연구개발이 확대되고 있지만, 광촉매의 느린 반응 속도로 인한 낮은 처리용량 문제로 실내공간에 효과적으로 적용되기는 쉽지 않은 상황이다. 오존을 이용하는 살균기술이 시도되었지만, 인체 영향의 문제로 실내공간에 적용하기는 쉽지 않은 상황이다. 생성된 오존이 항균기능을 수행하고, 빠져나가는 공기를 오존분해 촉매를 거치도록 하는 방법이 제안되기도 하였다. 오존은 표면 소독 등 국부적으로 적은 면적의 표면을 살균하는 용도로 사용하면 효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 적은 표면을 빠르게 살균할 수 있는 수준으로 발생시킨 오존의 농도는 자연발생 또는 UV 발생장치로 발생된 오존이 장치를 빠져나가는 과정에서 분해되는 방법이 가능하지만, 실내환경에서 적용은 제한적인 것으로 보인다.

국내에서 많이 수행되고 있는 항균기술은 필터에 항균기능을 추가하는 항균필터 기술로, 최근에는 금속 나노입자인 은이나 구리 나노입자의 항균제품 응용이다. 항균필터의 연구는 국내외 여러 기관에서 수행되었는데, 주로 필터에 코팅하는 방식을 도입하였다(Bae, 2010). LG전자에서는 UV lamp, UV LED, ion generator, PEDC (plasma electricity dust collector) 등 여러 공기청정장치에 대해 미생물과 바이러스의 제거 효과를 비교, 연구하였다(Bae, 2010). 삼성전자는 SPI (super plasma ion)라는 항균이온발생 유닛을 개발하여 상용화하였고, 공기청정기, 에어컨, 냉장고, 상업용 프린터 등에 채용하여 IAQ를 제어할 수 있는 유닛으로 다양한 제품에 융합하여 시장을 공략하고 있다. 삼성전자는 한국과학기술연구원, 한국과학기술원과 공동으로 은나노 발생 유닛을 항균장치로 개발하여 가전제품에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다(Ji *et al.*, 2007). 공기 중 바이러스에 의한 감염에 대한 의구심을 해결하고자 하는 목적으로 한국철도기술연구원과 연세대에서 공기감염 예방기술에 대한 기초 연구를 수행하고 있다(Bae, 2010).

4.3 탈취/유해가스 제거기술

가스상 오염물질에 대한 대응 기술의 기본은 환기에 의한 실내 가스상 오염물질의 희석 및 대기로의

배출이다. 실내공간에는 다양한 화학물질이 존재하기 때문에 인체에 영향을 미치는 유해가스나 불쾌감을 불러일으키는 냄새 물질만을 선택적으로 제거하는 기술은 쉽지 않다. 가정용 공기청정기나 자동차용 캐빈필터 등에 활성탄을 이용한 탈취필터나 탈취기능이 사용되지만, 현재 기술로는 효율이 낮고 운전시간이 경과함에 따라 가스 제거효율이 급격히 감소하는 단점이 있다. 활성탄 필터의 낮은 수명과 주기적인 필터 교체 필요성 등을 탈피하기 위해 광촉매를 이용한 공기정화 시스템, 저온 플라즈마 기술이나 오존 산화 방법을 이용한 공기정화 시스템이 연구되고 있다.

국내에서도 실내공간의 탈취 및 유해가스 제거기술이 다양하게 시도되어 왔다. 한국과학기술연구원에서는 흡착 및 광촉매 반응을 이용한 유해가스 분해 기술이 시도되었고(Jung *et al.*, 2006), 경희대와 한국철도기술연구원에서는 실내 이산화탄소 흡착기술에 대해 연구를 진행하고 있다(Kim *et al.*, 2008). 연세대에서는 유전체 배리어 방전기와 UV-광촉매필터를 적용한 환기시스템의 가스상 오염물질 제거 가능성을 연구하였다(Park *et al.*, 2005). 활성탄의 낮은 가스 흡착용량으로 인해 활성탄에 잡혀있는 가스상 오염물질을 파과점 이전에 연속적으로 분해하는 기술을 적용하여 탈취필터의 수명을 증가시키는 방법으로 광촉매나 열촉매 기술을 적용한 시스템이 시도되고 있다.

미래 유해가스 제거 및 탈취의 기술적 문제의 해결은 실내공간에 대한 정확한 이해로부터 시작되어야 한다. 실내에는 공기청정기가 대상으로 하는 냄새 물질이나 유해가스 이외에 많은 종류의 화학물질이 존재한다. 환기가 이루어지지 않는 공간이나 휘발성 가스 오염원이 존재하는 경우에는 공간에 매우 높은 농도의 가스상 오염물질이 존재하기 때문에, 일반적인 활성탄 방식의 유해가스 제거기술은 급격한 효율 감소가 나타나고 수명이 매우 짧을 수밖에 없다. 또한, 실내공간의 농도를 효과적으로 제어하려면 공기 중 가스상 물질뿐만 아니라 입자상 물질이 함께 존재한다는 점을 인식해야 한다. 기술적으로 유해가스 제거장치는 운전시간이 경과하면 입자상 먼지가 부착되어 장치에 영향을 미칠 수 있다. 특히, 플라즈마를 이용한 시스템, UV 광촉매 시스템, 오존 발생장치 등이 실내공간에서 충분히 효과를 발휘하려면, 제거 효율을 만족시키는 점도 중요하지만 운전시간이 경과함에 따라 성능을 유지할 수 있도록 설계되어야

한다. 특히, 이와 같은 분해장치들이 공기 중 화학물질을 분해하는 과정에서 중간생성물이 형성되지 않아야 하고, 먼지 부착 등으로 인한 화재 발생의 위험성도 극복해야 할 문제로 보인다.

유해가스 제거 및 탈취기술의 가장 효과적인 방법은 여전히 환기에 의한 오염물질의 희석일 것이다. 특히, 상업용 건물이 소모하는 전체 에너지 중 환기 에너지 비용이 높은 비율을 차지하므로, 입자상 오염물질의 제거와 마찬가지로 환기효율을 높여 에너지 비용을 절감하는 기술 개발이 실내 가스상 오염물질의 문제를 해결하는 지름길일 것으로 생각된다. 그 외에 국소적으로 문제가 되는 특수공간이나 환기가 적절하게 이루어지기 어려운 공간을 대상으로, 대상에 맞는 조건과 목표 사양을 결정하여 이에 맞는 유해가스 제거기술을 도출하는 것이 바람직하다.

5. 향후 과제

시대적 관심이 부의 축적을 통한 의식주와 같은 경제적 문제의 해결에서 행복하고 건강한 삶을 추구하는 것으로 급격히 변하고 있다. 매년 노인요양시설이 2배로 증가하고, 어린이집 문제가 언론의 집중을 받으면서 자연스럽게 노인, 어린이가 생활하는 시설의 IAQ 중요성도 부각되고 있다. 금년부터 환경부에서는 생활공간 환경보건기술개발사업을 통해 환경유해요인이 알레르기질환에 미치는 영향을 규명하는 연구를 지원하고 있다. 우리가 매일 먹는 물뿐만 아니라 매순간 숨을 쉬는 공기도 건강한 삶을 유지하는데 매우 크게 기여하고 있으며, 건강한 공기의 중요성에 대한 일반인들의 인식도 계속 향상되고 있다.

풍요로운 삶을 유지하기 위한 에너지 사용의 증가로 장기적으로 기후변화에 대한 전지구적 대응방안이 모색되고 있으며, 단기적으로 black out 발생을 예방하기 위한 에너지 소비의 절감이 모든 분야에서 요구되고 있다. 건물에서 냉난방 및 환기를 위한 공조 에너지가 많은 부분을 차지하고 있으므로, 자칫 에너지 절감으로 인해 IAQ가 악화되어 실내에서 생활하는 사람들의 건강을 해치지 않을까 염려된다. 이러한 시기일수록 국민 건강을 보호하기 위하여 더욱 세밀하고 정교한 IAQ 정책과 기술적 대응이 요구된다.

우리나라는 세계 최초로 2003년에 ‘다중이용시설

등의 실내공기질관리법’을 제정하였고, 매 5년마다 ‘실내공기질 관리 기본계획’을 수립하여 실시하고 있다. 현재 준비 중인 3차 ‘실내공기질 관리 기본계획’에 향후 5년간 시행할 정책을 담아내는 작업이 매우 중요하다. 지난 10년 동안은 주로 다양한 시설의 IAQ 실태를 파악하고, 시설관리자 및 이해관계자에게 IAQ의 중요성을 인식시키는 데 주력하여 왔는데, 앞으로는 IAQ 기준값의 만족 여부의 판정에 머무르지 말고, 더 나아가 실제적으로 IAQ를 잘 관리하고 IAQ를 개선하여 국민 건강 향상에 도움이 되는 정책을 발굴하여 실시하는 것이 중요할 것이다. 예를 들면, IAQ 수준의 등급화를 통한 자발적 관리 유도, 시설별 맞춤형 관리, 간이측정장비를 이용한 IAQ의 신속한 진단 및 관리, 유지관리를 포함한 진단·개선 사업의 확대, 건강 영향이 큰 유해물질의 관리(PM_{2.5}, 나노입자, 곰팡이 등), 경제적 취약계층 이용시설의 관리 등이 고려될 필요가 있다. 또한, 중앙정부와 지방자치단체, 산학연관의 유기적 협력 등을 통한 국민적 공감대를 이끌어내는 노력도 병행하여야 한다.

국내 IAQ 연구는 대부분 실태조사에 집중되어 있고, 실태조사도 정부용역사업 형태로 IAQ 공정시험 기준에 의거하여 실시되어 각 시설의 실내공기오염 현상을 파악하기 어려워 맞춤형 IAQ 관리방안을 마련하는데 크게 기여하지 못하고 있는 실정이다. 향후 각 시설별 공간활용, 실내·외 오염요인, 일변화 특성, IAQ 관리시설 등을 종합적으로 고려한 IAQ 진단 연구가 수행될 필요가 있다. 대기환경과 실내환경 연구자들이 공동으로 외기와 실내공기오염의 상관성을 규명하는 학제간 연구를 수행하는 것도 큰 의미를 갖는다고 생각된다. 또한, 실내 공기정화 기술뿐만 아니라 실내환기 기술, 실내공기 진단·개선 기술, 실내 오염물질 배출 소재·제품 기술 등의 개발에 보다 많은 관심과 투자가 이루어져야 할 것이다. 이러한 요소 기술들이 어우러진 통합 에코청정화 시스템을 구현하여 우선적으로 어린이, 노인과 같은 민감계층 이용 시설에 적용될 수 있기를 기대한다. 이와 더불어 IAQ 관리시설 운영에 따른 재실자의 건강 향상을 평가할 수 있는 인체 건강영향 기술도 개발되어야 한다.

오염물질을 다량으로 배출하는 산업시설에 적용하기 위하여 다양한 공기 중 오염물질 제거기술이 개발되어 왔다. 입자, 미생물, 냄새, 유해가스 등을 처리하기 위한 기존 기술을 개량하여 실내공간에 적용하

려는 시도가 많이 이루어져왔고, 일부 기술은 성공적으로 사용되고 있다. 이러한 과정에서 적용처에 대한 이해 부족으로 만족할 만한 성능을 얻을 수 없거나 오존 발생 등의 부수적 문제에 부딪혀 기술을 적용하지 못하는 경우가 많이 발생하고 있다. 의외로 일반 산업시설에 비해 IAQ 제어에 요구되는 기술의 난이도가 매우 높다. 예를 들면, 유해가스의 경우 상온에서 오염도 수준이 매우 낮고 발생원이 명확하지 않으므로, 센서로 감지하기 어렵고 산업용 촉매로 처리되지 않는다. 최근 다양한 나노기술과 바이오기술을 접목하여 유해물질을 처리하려는 연구가 시도되고 있다. 정확한 인식을 바탕으로 문제를 잘 설정한 후 현존 기술과 미래 기술의 검토를 통해 해결할 수 있는 방안을 마련하여야 성공 가능성이 높을 것이다.

IAQ 문제는 우리가 생활하는 공간에서 발생하므로 매우 복잡하고 다양하다. 이에 따라 정책과 연구개발이 함께 어우러져야 문제 해결의 실마리를 찾을 수 있는 분야라고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업(No. 2013K000386)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Andersen, Ib (2008) Before the big bang of indoor climate research, *Indoor Air* 2008, 17-22 August, Copenhagen, Denmark, Paper ID: Su17K1.
- Bae, G.N. (1995) Evaluation of thermal comfort in indoor environment, *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 2(3), 145-157.
- Bae, G.N. (2010) Reduction and removal technologies for indoor bioaerosols, *Air Cleaning Technology*, 23(3), 10-22.
- Baek, S.O., H.B. Song, D.C. Shin, S.H. Hong, and H.S. Chang (1998) Seasonal and locational concentration of particulate air pollutants in indoor air of public facilities in Taegu Area, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 14(3), 163-175. (in Korean with English abstract)
- Building Energy Data Book, <http://buildingsdatabook.eren.doc.gov>.
- Fisk and Rosenfeld (1997) Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, *Indoor Air*, 7(3), 158-172.
- Jang, S.K., S.E. Yoo, J.M. Ryu, J.H. Park, S.Y. Park, H.M. Kim, W.S. Lee, S.Y. Seo, H.J. Lim, and J.Y. Lim (2008) A Time Series Study on Variations in Concentration of Indoor Air Pollutants at New Apartments in Korea (III), National Institute of Environmental Research, NIER No. 2008-05-955. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.K., S.Y. Seo, K.D. Kwon, J.Y. Chun, S.Y. Kim, T.H. Lee, S.Y. Park, and J.Y. Lim (2006) Measurement-method Establishment and Characterization of Indoor Air Quality in Daycare Centers, National Institute of Environmental Research, NIER No. 2006-47-829. (in Korean with English abstract)
- Ji, J.H., G.N. Bae, S.H. Yoon, J.H. Jung, H.S. Noh, and S.S. Kim (2007) Evaluation of silver nanoparticle generator using a small ceramic heater for inactivation of *S. epidermidis* bioaerosols, *Aerosol Science and Technology*, 41(8), 786-793.
- Jung, S.G., G.N. Bae, J.Y. Jeong, and S.D. Kim (2006) Characteristics on the adsorption and photocatalytic degradation by an air filter coated with TiO₂ for hazardous air pollutants, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 2(2), 138-150. (in Korean with English abstract)
- Jung, Y.K., K.C. Noh, J.H. Park, and J. Hwang (2009) Theoretical and experimental study for optimization method of particle removal fibrous filter used in ventilation system, *Particle and Aerosol Research*, 5(1), 9-16. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.S., B. Han, H.J. Kim, Y.J. Kim, and H. Won (2013) Analysis on performance test methods of particle cleaning capacity for large-scale air cleaners including air conditioners, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 10(1), 11-25. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.J., Y.J. Kim, and B. Han (2007) Performance of high efficiency electret polypropylene filter and its application to an indoor air cleaner, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 4(1), 23-33. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.K., K.M. Lee, and Y.M. Jo (2008) Assessment of adsorption capacity of sorbents for low level indoor CO₂ with preparation process, *Journal of Korean*

- Society for Indoor Environment, 5(4), 319-328. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., D.H. Kang, D.H. Choi, S.S. Kim, M.S. Yeo, and K.W. Kim (2005) A study on the numerical analysis of VOCs emission from plywood floor material, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 17(12), 1123-1131. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.S. (1994) Indoor air quality and health, *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 1(2), 109-114.
- Lee, C.M. and Y.S. Kim (2004) Analysis of research trend for indoor air pollutants and health risk assessment in public facilities, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 1(1), 39-60. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.J., J.S. Jeon, S.D. Kim, and D.S. Kim (2010) A comparative study on PM₁₀ source contributions in a Seoul Metropolitan subway station before/after installing platform screen doors, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 26(5), 543-553. (in Korean with English abstract)
- Lim, H.J., S.K. Jang, W.S. Lee, S.Y. Seo, J.Y. Lim, J.H. Ryu, Y.C. Jin, S.R. Yun, and H.S. Jung (2008a) Survey on Asbestos Containing Material and Indoor Air for Preparing Management Guideline in Public Building, National Institute of Environmental Research, NIER No. 2008-69-1019. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.Y., S.K. Jang, W.S. Lee, S.Y. Seo, H.J. Lim, K.M. Lee, Y.J. Jung, J.H. Choi, M.J. Yum, J.S. Yeom, and S.J. Suh (2008b) The Characteristics of the Pollutants Emitted from Consumer Products (II), National Institute of Environmental Research, NIER No. 2008-70-1020. (in Korean with English abstract)
- Park, D.S., S.B. Kwon, Y.M. Cho, S.K. Jang, J.S. Jeon, and E.Y. Park (2010) Characteristics of PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ concentration in public transportations and development of control technology, *Particle and Aerosol Research*, 6(1), 9-20. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H., J.H. Byeon, K.Y. Yoon, and J. Hwang (2005) Ventilation system comprising a dielectric barrier discharger and UV-TiO₂ photocatalyst filters for simultaneous removal of gaseous and particulate contaminants in the test chamber, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 2(1), 35-45. (in Korean with English abstract)
- Park, J.W. (2010) Legal System to Control Air Quality in Living Spaces, Korea Legislation Research Institute, Research Report 2010-02.
- Seo, S., S. Jang, H. Lim, J. Lim, W. Lee, H. Park, J. Yoo, Y. Lee, and H. Kim (2008) Improvement upon Environmental Standard Method for Indoor Air Quality, National Institute of Environmental Research, NIER No. 2008-68-1018. (in Korean with English abstract)
- Shin, D.M., C.N. Kim, and D.S. Kim (2003) Emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from a carpet, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 15(1), 40-49. (in Korean with English abstract)
- Sohn, J.Y. (1994) Thermal environment and indoor air quality, *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 1(3), 171-180.
- WHO (2000) Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed.
- WHO (2009) WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould.
- WHO (2010) WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants.
- Yang, W.H., K.Y. Lee, K.H. Park, C.S. Yoon, B.S. Son, J.M. Jeon, H.S. Lee, W.H. Choi, S.D. Yu, and J.S. Han (2009) Microenvironmental time activity patterns of weekday and weekend on Korean, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 6(4), 267-274. (in Korean with English abstract)