

I. 서 론

사람의 일생의 대부분을 실내에서 보내고 있는데 있다. 미국 도시인들은 그들의 90% 이상의 시간을 실내에서 보내는 것으로 보고된 바 있다. 1970년대 이후 에너지 보존을 위해 개발된 새로운 건축자재에서 다양한 오염물질이 방출되며, 또한 경제수준의 향상으로 다양한 생활용품의 사용이 증가하는데 이 같은 생활 용품에서도 오염물질이 방출되고 있다. 에너지 절감률을 높이기 위해 건물의 밀폐화가 진행되면서 건물 내 거주자들이 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가하고 있다. 특히 70년대 중반부터 80년대 동안에 많은 빌딩들이 에너지보존을 위해 에너지비용과 관련된 공기취급을 최소화하도록(외기의 공급량을 최소로 0 - 5 cfm) 신축하거나 개량하였으며 동시에 현대식빌딩과 관련된 건강이상과 불편과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가하기 시작하였다. 빌딩거주자들이 호소하는 다양한 증상들을 나타내는 빌딩증후군(sick building syndromes, tight building syndromes), 실내공기질과 같은 용어들이 광범위하게 사용되었다.

이와 같이 여러 이유로 인해 실내공기질(indoor air quality, IAQ)은 사람들의 주목을 받고 있다. 이렇듯 실내공기질의 문제가 새로운 환경 이슈로 부각되고 미국을 중심으로 구미 각 국 정부는 21세기의 환경문제 중 실내 환경(indoor environment) 문제를 최우선으로 다루게 되었다.

실내공기질 문제는 선진국에서는 이미 수십 년 전부터 사회문제로 부각되어 왔으나 우리나라에 실내공기질에 대한 관심이 대두된 것은 대략 10 여년 전으로 추정되고 있다. 그럼으로 인해 아직까지 실내공기오염에 관한 환경 인식의 다른 선진국에 비해 떨어지고 있다. 국내에서는 도시지역의 대기오염으로 인한 건강영향에 대해서만 언급할 뿐 대부분의 사람들은 실내공기오염이 인체에 미치는 영향이 대기오염(실외오염)보다 더욱 중요하다는 것을 거의 인식하지 못하고 있으며, 실내공기 오염물질의 성질과 농도에 대해서도 파악을 못하고 있는 실정이다.

실내환경은 항상 안전하고 쾌적하지 않다. 감염성질병은 실내환경에서 쉽게 전파될 수 있으며 현대의 빌딩에서 발생하는 오염물질들은 불쾌감과 질

병을 일으킬 수 있는 정도로 축적될 수 있다. 저농도로 존재하는 유해물질은 노출시간이 길기 때문에 재실자에 유의한 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대된다. 쾌적함과 건강은 기준보다 낮은 농도이지만 오염물질에 장기간 노출됨으로써 영향을 받을 수 있다.

ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating, Air Conditioning Engineers)에서는 허용공기질(acceptable air quality)은 알려진 오염물질이 유해한 영향을 주는 수준으로 존재하지 않고 노출된 대다수(80%)의 사람들이 불만족을 나타내지 않는 공기로 정의하고 있다. 비산업환경(non-industrial environments)에서는 유해하다고 알려져 있는 수준으로 측정 가능한 오염물질이 거의 존재하지 않는 곳에서도 불쾌감과 나쁜 건강영향에 대한 불평이 허용가능한 20%를 훨씬 초과하기도 한다.

실내공기에 대한 연구결과는 최근에 수행된 것으로 대부분의 연구에서 불평의 실제원인에 대해서는 명확하지 않다. 특정 인자에 대해 노출과 질병간의 연관성에 대한 연구가 계속 진행되고 있다.

※ IAQ에 대한 관심과 근심이 증가하는 이유(Burton, 1993)

- 에너지보존을 위한 밀딩(tighter building) 건축: 오염물질 축적
- 밀딩내부로의 외부공기의 공급 감소: 오염물질 축적
- 새로운 밀딩건축자재(보온단열재, 접착제, 패브릭, 압축보드, 유리섬유 등)
: 특정 유해물질 방출
- 실내에서 보내는 시간 비율: 90%
- 대중의 걱정, 교육, 기대치의 증가
- 정부규정

※ 실내공기질과 건강영향간의 관련성에 대한 OSHA의 견해(OSHA, 1994)

실내환경에서 발생하는 대부분의 SBS와 BRI(building related illness)과 관련된 건강영향은 OSHA의 Permissible Exposure Limits(PELs)보다 훨씬 낮은 오염물질 농도에서 일어났다. PELs은 특정화학물질에 대한 기준으로서 건강영향뿐만 아니라 기술적인 실현가능성, 경제성, 그리고 40시간 동안 노출된 건강한 근로자에 기초하여 설정되었다. 산업환경에서는 행정적대책, 공학적대책, 개

인보호구사용 등에 의해 노출을 최소화하나 비산업환경에서는 이러한 대책을 마련하고 있지 않다. 실내 환기설비는 거주자에 의해 발생하는 오염물질(이산화탄소나 냄새)를 제거하도록 설계되어 있다. 적절한 환기와 발생원 제거가 이루어지지 않는다면 많은 화학물질들은 증상을 유발할 수 있을 수준까지 농축될 수 있다. 상승작용도 일어날 가능성도 있다.

※ 빌딩의 종류: 주택(residential), 비산업작업장(사무실, 학교, 기타 깨끗한 작업환경), 산업환경, 농업빌딩, 보건의료시설(병원, nursing home, 의료진사무실, 환자입원실 등)

II. 실내공기와 관련된 건강영향

1. 빌딩증후군(SBS)

빌딩증후군(sick building syndromes, sick building symptoms, SBS); Tight building syndromes, TBS)은 과도한 불편감과(discomfort) 건강관련 증상(health-related symptoms)들이 빌딩거주와 명백히 연관되어 있으나 객관적인 임상적인 사인(signs)과 관련 없이 존재할 때 사용한다. 불만(complaints)은 한 빌딩내 특정지역에 편재되어 있을 수 있고 빌딩 전체에 퍼져 있을 수 있다.

SBS는 코자극 및 sinus congestion, 눈자극, 기침을 동반하는 점막자극, 두통, 피로 또는 무력감, 피부건조, 현기증, 구토 등을 포함하는 복합적인 증상들이다. 이러한 증상들은 주관적이고 객관적인 임상적 사인과는 거의 관련성이 없으며 어떤 시기에 전체건물에 있는 일부 거주자들에게 전형적으로 존재한다. SBS가 발생된 것으로 간주되려면 발생률이 적어도 거주자의 20%이어야 하고 증상들은 일반성(commonality)이 있고 증상과 빌딩거주사이에 명백한 시간연관성(temporal association)이 있어야 한다.

1984년 WHO 위원회에서는 거주자의 20%가 건강 또는 안락함 문제를 경험한다는 기준에 근거했을 때 전 세계의 신축 및 개축건물의 30% 이상이 실

내공기질과 관련된 과도한 불평들을 경험했다고 보고하였다. 이러한 상태는 일시적이나 일부 빌딩들은 장기간의 문제를 가지고 있다. 빈번히 빌딩이 원래의 설계 및 기술된 운영절차와 일치하지 않는 방식으로 운영 또는 유지되었을 때 문제가 발생하였다. 때때로 실내공기문제는 불량한 빌딩 설계 또는 거주자의 활동에 의한 결과로 나타나기도 하였다.

SBS는 VOCs, 낮은 상대습도, 엔도톡신(endotoxin), 실내분진 중 거대분자 성분내 특정요인, 신선한 공기의 부적절한 공급 등에 기인되는 것으로 여겨져 왔고 그 원인 물질은 명확히 알려져 있지 않다.

※ SBS의 특징적인 8가지 증상(WHO, 1983)

1. 눈, 코, 목의 자극(irritation of the eye, nose and throat)
2. 건조성 점막 및 피부(dry mucous membrane and skin)
3. 홍진 또는 홍반(erythma)
4. 정신적 피로 및 두통(mental fatigue and headache)
5. 호흡기감염 및 기침(respiratory infection and cough)
6. 쉼 목소리 및 채치기(hoarse of voice and wheezing)
7. 과민성반응(hypersensitivity reaction)
8. 구토 및 현기증(nausea and dizziness)

※ SBS의 지표(EPA)

1. 빌딩거주자들이 갑작스런 불쾌감과 관련 있는 증상들을 호소한다. 즉 두통, 눈, 코, 목 자극, 마른기침, 건조성피부, 피부 가려움증, 현기증, 구토, 집중력저하, 피로, 냄새에 대해 민감한 반응
2. 이러한 증상들의 원인을 모른다. 일반적으로 이러한 상태들을 유발한 어떤 특정원인을 추적할 수 없고 일부 미확인된 오염물질들 또는 이들의 복합적인 작용에 의해 기인된다고 인식되고 있다.
3. 대부분의 증상 또는 불평들은 빌딩을 떠난 후에는 감소되거나 곧 사라지고 환기시스템을 변경함으로써 감소되거나 제거될 수 있다.

※ SBS 공통적인 양상

1. 증상은 대부분 비 특이적이다.
2. 강제환기가 일반적이다.
3. 빌딩은 에너지 효율적이다.
4. 불평하는 사람들은 그들의 환경을 거의 관리하지 않고 있다는 것을 인식하고 있다.
5. 거주밀도가 높은 장소에서 더 많은 불평이 나온다.
6. 증상은 아침보다 오후에 잘 나타난다.

※ 불평종류에 따른 발생 빈도(NIOSH)

눈자극: 81 %, 건조성인후: 71 %, 두통: 67 %, 피로: 53 %, 피부자극: 38 %, 호흡곤란: 33 %, 기침: 24 %, 현기증: 22 %, 구토: 15 %

※ SBS의 원인(NIOSH)(70년대 후반 - 1993년 조사, 1100건의 IAQ episode)

1. 빌딩의 환기 부족(외부공기부족, 불량한 공기분배, 불쾌한 온도습도, 환기 시스템 내 오염원): 50%
2. 실내공기오염물질(포름알데히드, 용제 증기, 먼지, 미생물인자): 30 %
*미생물오염: 5%
3. 외부 발생원(자동차배기가스, 포자, 곰팡이, 연기, 공사장먼지)
4. 원인불명: 10%

※ IAQ 불평과 증상들의 원인(Burton)

1. 대중심리 기인성질병
2. 전염성 질병(flu, 감기)
3. 수많은 오염물질
 - VOCs and ROCs
 - Bioaerosol(pollen, microbial agents, toxins)
 - 환기설비내 오염물질(humidifier chill, Legionnaire's disease)
 - Aerosols(ETS, dusts, mists)

※ 불량한 공기(Poor air quality)의 원인(Burton)

1. HVAC system: 42%
2. Furnishing: 20%
3. ETS: 25%
4. Occupants: 13%

2. 빌딩관련질병(BRI)

빌딩관련질환((Building-related disease, Building-related Illness, BRI)은 빌딩거주와 관련하여 객관적인 임상적인 증거가 있는 감염성, 알레르기성 또는 독소에 의해 발생한 질병을 말한다. 즉, 진단 가능한 질환의 증상이 확인되고 빌딩공기오염물질과 직접적으로 관련지을 수 있는 질환을 말한다.

※ OSHA의 정의: BRI describes specific medical conditions of known etiology which can be documented by physical signs and laboratory findings.

이러한 증상들은 중대한 결과를 초래할 수 있고 SBS와는 대조적으로 특정 원인이 추적될 수 있다. 건물을 떠난 후에도 이러한 증상들은 사라지거나 사라지지 않을 수도 있다.

증상들은 다른 원인에 의해 기인될 수 있다. 이러한 원인들에는 빌딩외부에서 걸린 질환, 급성과민성반응(알레르기), 직업관련성 스트레스 또는 불만족, 기타 사회심리학적 요인 등이 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 증상들은 실내 공기질 문제에 의해 야기될 수 있으며 기존의 증상이 악화될 수 있다.

※ BRI의 특징적인 지표 (EPA)

1. 빌딩거주자들은 기침, 가슴압박감, 열, 한기 및 근육통과 같은 증상들을 호소한다.
2. 이들 증상들은 임상적으로 정의될 수 있고 확인 가능한 원인이 있다.
3. 불평들은 빌딩을 떠난 후에는 긴 회복시간을 필요로 한다.

※ 대표적인 BRI의 종류(OSHA)

1. 기지 인자에 의해 야기된 감각기간의 자극(sensory irritation)
2. 호흡기 알레르기 반응(천식)
3. Nosocomial infection
4. 가습기열병(humidifier fever)
5. 과민성폐렴(hypersensitivity pneumonitis)
6. 레지오넬라병 Legionnaires' disease
7. 일산화탄소, 포름알데히드, 농약, 엔도톡신(endotoxin), 마이코톡신(mycotoxin) 등의 화학물질 또는 생물인자의 노출에 의해 나타나는 특징적인 증상과 징후(sign)
8. 바이러스, 곰팡이, 세균, 프로토자(protozoan)을 함유한 생물 에어로솔(bioaerosol)의 노출에 기인하는 증상

III. 실내공기오염물질의 종류 및 발생원

대표적인 실내오염물질의 종류와 그들의 발생원 및 인체영향은 표 1에 제시하였고, 표 2는 발생원 형태에 따른 잠재적인 오염물질을 제시한 것이다. 실내 공기의 오염원인에는 건물 주변의 대기오염에 의한 영향과 실내에서 발생하는 오염물질로 구분할 수 있다. 대기오염은 매연, 난방용 연소가스, 공장, 발전소 등에서 배출하는 폐가스가 주원인이 된다. 특히, 자동차 배출가스(매연)에는 다량의 CO, NO_x, 분진, 납(Pb)화합물 등 유해물질을 포함하고 있다. 건물 내부의 오염물질 발생원에는 재실자로부터 방출되는 탄산가스(CO₂), 수증기, 체취 등이 있으며, 담배연기에 의한 오염, 실내의 각종 활동에 의해 발생하는 분진, 각종 연소장치의 연소가스나 수증기, 그 외에도 건축자재, 가구나 사무기구 등에서 오염물질이 방출되고 있다. 이 중에서 실내의 최대 오염원은 담배연기라 할 수 있다.

표 1. 실내공기오염물질의 종류와 발생원

오염물질	발생원	인체영향
환경성담배연기(ETS)	담배, 켄연	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지 천식, 폐암
라돈	콘크리트, 흙, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌, 지하수 등에 존재하며 건축물의 지반이나 건축자재로부터 방출	폐암 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 방열재	피부질환, 호흡기질환, 중피종, 폐암
먼지	대기 중의 먼지가 실내유입, 실내 바닥의 먼지, 담배재	규폐증, 진폐증, 탄폐증 등
연소가스(CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성폐질환, 기도저항증가, 중추신경영향
미생물성 물질(곰팡이, 박테리아, 꽃가루, 바이러스, 진드기)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 에어컨, 물, 세탁소, 왁스, 방향제 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경억제작용
포름알데히드	· 각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 접착제, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감, 실험실 등	· 눈, 코, 목 자극증상, 어지러움, 기침, 설사, 피부질환, 정서불안증, 기억력 상실 등 · 동물발암성-비암
유기용제	· 페인트, 접착제, 스프레이, 세정제, 세탁소, 왁스, 방향제 등	· 피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용

표 2. 그룹별 오염물질 발생원

주요 범주 / 주요 발생원 형태		기여 오염원(예)
건물외부의 발생원	외부 공기오염	· 외기의 먼지, 꽃가루, 곰팡이류의 포자 등 · 산업공해, 냉난방 배기가스 · 자동차의 매연
	건물주변의 오염원	· 주차장(옥외 및 옥내)에서 발생하는 자동차 매연 · 화물용 도크(dock) · 쓰레기장으로 부터의 냄새 · 건물 또는 주변건물 배기의 재유입 · 외기도입구 부근에 위치한 폐자재/쓰레기
	지중으로부터 유입되는 오염원	· 라돈과 같은 방사성 물질 · 지하에 매설된 유류탱크의 누출 가스 · 각종 살충제
	미생물이 서식할 수 있는 습기나 수분	· 강수 후의 지표면에 고인 물 · 하수구의 수분
각종빌딩설비	공기조화 설비	· 덕트나 부속품에서 발생하는 먼지 · 냉각코일, 가습장치 등에 서식하는 미생물 · 살충제, 실런트, 세척제의 사용 · 연소장치나 기구의 부적절한 배기장치 · 냉매의 누출
	기타 설비	· 복사기와 같은 사무기구에서 발생하는 유기용매(VOCs), 오존(O₃), 각종 소모품(솔벤트 등) · 점포, 실험실의 청소작업에서 방출되는 물질 · 승강기 모터, 기타 기계류
재실자의 활동	개인적 활동	· 흡연, 조리, 채취, 화장품 냄새 등
	청소, 유지관리 활동	· 청소나 세척과정 · 창고의 보관물질, 쓰레기 · 방향제나 탈취제의 사용 · 청소시 발생하는 먼지
	설비의 유지관리	· 냉각탑의 미생물이 포함된 수적(물안개) · 부유분진, 먼지 · VOCs (페인트, 접착제 등의 사용) · 살충제
빌딩가구 및 자재	VOCs, ROC 방출원	· 원단표면, 카펫, 접유류, 합판, 선반
	불활성 에어로솔방출원	
	미생물 오염원	· 수분침식가구, 표면응축, standing water
기타	사고	· 옹지름 넘침, 누출
	특수 취급 지역	· 흡연구역, 운동실, 부엌
	보수 및 리모델링	· 새가구, 파괴(분진, 생물에어로솔), 페인트, 콜크, 실런트, 접착제

※ 화학오염물질 및 잠재발생원(Burton)

Chemical Contaminants and Potential Sources

Formaldehyde (tobacco smoke, insulation, panelling, furnishings, carpet, stay-pressed cloth, deodorizers, paper products)

Ozone (photocopiers, electrical equipment, ozone generators, electrostatic air cleaners)

NO₂ (vehicles, gas heating and cooking, industrial processes)

CO₂ (people density, flame operations)

Organic Chem (photocopiers, industrial processes, labs, new furniture, furnishings, building materials, cleaning materials, paint)

Allergens (pollen, fungi, bacteria, mold, mites, dust, ETS)

Fibers (insulation, fireproofing, equipment)

SO₂ (industrial processes)

CO₂ (people, open flames, industrial processes, outdoor air, malfunctioning heating equipment, vehicles)

ETS (tobacco smoke)

실내에서 공기오염이 발생할 수 있는 기본적인 사항을 명확하게 파악하고 실내공기환경의 문제점이 발생할 경우에 이에 대한 조사와 대책을 마련하여 공기오염의 원인을 제거시켜야 한다. 실내공기의 오염물질은 실내에서 발생하는 것과 외부공기로부터 유입되는 것으로 구분할 수 있다. 이러한 오염물질이 적절하게 제어되지 않는다면 공기조화설비가 완벽하게 설계, 시공되고, 유지관리를 철저히 실행하더라도 실내 공기환경의 문제가 발생하게 된다. 따라서 공기의 오염원에 대한 종류와 특성을 명확하게 이해하는 것이 실내공기환경의 적절한 유지관리에 도움이 된다.

1. 분진

분진은 그 구성 성분에 따라 여러 종류로 나눌 수 있으며, 그 크기에 따라 인체에 미치는 영향이 다르다. 분진은 콧구멍, 눈, 입 등을 통하여 인체에 침투하지만, 호흡기를 통해서 흡입된 분진들은 기도 또는 기관지에서 점액에 잡혀 폐포에 까지 흡입되어 각종 호흡성 질환을 일으킨다.

2. 담배연기

흡연 사무실, 가정의 흡연 담배연기는 가스와 미립자를 포함 47,000 여개의 성분을 함유하고 있고 그중 4000여종은 독성 물질이다. 코, 목에 염증, 두통, 기관지염, 폐기종, 호흡기 질환유발, 특히 폐암과 장질환의 원인이 된다.

담배연기는 직접 담배를 피우는 사람(active smoker)에게 폐암, 후두암, 간암 등을 유발하고, 순환기와 소화기에도 병변을 일으킨다. 흡연환경에서는 정신 집중력이 떨어지고 두통, 피로감 등의 비 특이 증상이 나타나, 작업 능력 저하의 원인이 되기도 한다. 미국에서는 흡연 가정의 어린이가 기관지염, 폐렴, 기관지천식 등의 발생율이 높고, 일본의 한 연구는 하루에 한 갑 이상 흡연하는 남편을 가진 비 흡연 부인에게서 폐암 사망 확률이 그렇지 않은 여성보다 2.1배가 높다고 밝힌 바 있다.

※ OSHA의 의견

역학적 및 임상적 연구에 의하면 ETS에의 노출은 비흡연자에 대해 점막 자극, 호흡기, 심혈관, 생식 및 발암영향을 일으킬 수 있다. ETS의 노출은 비흡연자의 기존 호흡기 및 심혈관계 질환을 악화시킬 수 있다. 동물실험에서는 main stream 및 side stream 담배연기 둘 다 비유사한 악영향을 일으킬 수 있다.

3. 연소가스

■ 이산화질소(NO_2)

이산화질소는 일산화질소보다 독성이 대략 4배 강하고, 물에 잘 녹지 않기 때문에 비교적 건조한 기관지를 통하여 폐의 점액성 내면에 자극성과 부식성이 있는 아질산(HNO_2)과 질산(HNO_3)을 형성하는 곳인 폐포까지 이르게 된다. 고농도의 이산화질소를 단기간 흡입해도 호흡이 빨라지는데 이는 폐에 이상이 생겨서 다량의 공기를 흡수할 수 없기 때문이다. 낮은 농도에서도 장기간 흡입하면 만성 폐질환을 일으킨다.

■ 일산화탄소(CO)

일산화탄소를 포함한 공기를 호흡하면 폐를 통해서 흡입되어 혈액 중의 헤모글로빈과 쉽게 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈(CO-Hb)되고, 이로 인해서 혈액에 의한 산소운반 기능이 저하되어 신체 각 조직은 일종의 질식사태를 일으킨다. CO-Hb 이 혈액 중 50% 이상의 상태에서 그대로 방치하면 생명을 잃게 되고, 가령 생명을 건져 회복되더라도 대뇌 손상을 입어 정신장애를 일으킨다고 한다.

저농도일지라도 장기간 일산화탄소에 노출되면, 두통, 현기증, 작업능률 저하는 물론, 협심증 등 각종 관상동맥 질환을 유발할 수 있게 된다. 다른 오염물질에 비해 대체로 실내외에서의 농도차가 심하고 비중도 공기와 비슷하므로 충분한 환기를 통하여 실내에서 발생하는 일산화탄소 농도를 최소화하여야 한다.

4. 라돈

라돈은 무색, 무취의 기체로써 액화되어도 색을 띠지 않는 물질로서 지구상에서 발견된 약 70여 가지의 자연 방사능 물질의 하나이다. 라돈은 사람이 가장 흡입하기 쉬운 가스성 물질이며, 일반적으로 라돈이 인체에 미치는 영향은 폐암을 유발시키는 것으로 나타나 그 중요성이 새롭게 인식되고 있다.

미국의 국립 방사능방어 및 측정위원회(NCRP)에서 미국내 연간 13만 명의 폐암사망 중 약 5천 - 2만 명이 주택 내에서 발생한 라돈에 폭로되어 사망한 것으로 추정하고 있다. 일반적으로 실내환경에서 발생한 라돈농도를 감소시키려면 건축 시에 방사능 물질이 적게 섞인 모래와 시멘트를 이용하여야 하고, 지하실은 바닥이 잘라진 틈이 없도록 처리하며 환기장치를 설치하여 실내 속에서 방사능 가스가 축적되는 것을 방지하여야 한다.

5. 포름알데히드(HCHO)

포름알데히드의 발생원을 보면 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재(UFFI: urea formaldehyde foam insulation)와 섬유 옷감이 그 발생원이 되고 있다. 건축물에서 항상 높게 나타나며 조리, 난로 등에서도 방출된다.

포름알데히드에 단기간 노출되었을 경우 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이고 장기간 폭로되었을 경우 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환 등을 일으키며 동물실험 결과에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다. 또한 단열재를 사용한 주택에 살고 있는 주민 등을 조사한 결과, 오랫동안 포름알데히드에 폭로되었을 경우, 정서적 불안전, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 가져온다고 보고된 바 있다.

6. 석면

석면은 우리 생활환경의 모든 곳에 존재하며, 생활에 이용되는 중요한 용도 만으로도 수 천 가지에 달한다. 석면분진에 폭로될 경우에는 피부질환, 호흡기 질환, 석면증(asbestosis)뿐만 아니라, 치명적인 폐암 및 중피종(mesothelioma),

편평상피(squamous cell carcinoma)등을 유발한다고 알려져 있으며, 특히 폐암은 석면에 직접적으로 노출된 사람들 중에서 상당히 많이 발견되었다. 미국에서 1970년 후반에 전국적으로 실시한 산업재해 조사 결과에 의하면 석면은 미국의 산업체가 직면하고 있는 위험한 발암물질 중 최악의 것으로 취급하였다.

7. 미생물(곰팡이, 박테리아, 꽃가루, 바이러스, 진드기)

생물학적 오염물질 물에 젖었거나 습기찬 벽, 카펫, 가구류, 불결한 가습기, 건조기 에어컨, 애완동물 등으로부터 발생하는 박테리아, 곰팡이 사상균, 바이러스, 꽃가루 등. 각종 전염병의 매개체, 급성폐렴, 알레르기성 비염, 천식 유발, 눈, 코, 목에 염증, 호흡곤란, 현기증, 무기력, 발열, 소화곤란, 특히 유아, 노약자, 알레르기 환자에 민감하다. 또한 냉방장치와 관련된 박테리아에 의한 질환은 Legionnaire's disease로 판명되었다.

8. 휘발성 유기화합물질(VOC, Volatile Organic Compounds)

유기용제는 유지류를 녹이고 또 스며드는 성질이 있으므로 피부에 흡수되기 쉽고, 체내에 흡수된 후에도 중추신경 등 주요기관을 침범하기 쉽다. 이와 같은 용제는 휘발성이 크므로 공기 중에 가스로서 존재하여 피부에 직접 닿지 않더라도 호흡기로 흡입되면 중독을 일으키게 된다. 대부분의 유기용제는 마취작용을 갖고 있는데, 한꺼번에 대량을 흡입하면 마취작용을 나타내지만 마취되지 않을 정도의 적은 양이 오랜 시간동안 반복하여 흡입되면 만성 중독을 일으킨다.

IV. 국내외 실내공기질 기준

1. 국내 실내공기질 관리 법령

현재 우리나라의 실내공기에 대한 기준은 어느 한 부서에서 관리하고 있는 것이 아니라 여러 부처에서 각각 대상에 따라 달리 관리하고 있는 실정이다. 주로 환경부, 보건복지부, 건설교통부에서 분산 관리하고 있다. 부처별로 실내

공기질관리에 대한 기준을 살펴보면 다음 표 3과 같다.

1) 환경부 : 지하생활공간공기질 관리법

환경부에서는 일반 실내공기 전반에 대한 기준을 설정하고 있는 것이 아니라 단지 지하공간의 실내공기에 대해서만 언급하고 있다.

■ 관리대상

- 지하역사 : 모든 지하역사를 대상으로 하며 다수인이 이용하는 출입통로, 대합실, 승강장 및 환승통로와 이에 부대되는 시설을 포함
- 지하도상가 : 지하공공보도에 면하여 설치된 점포, 사무실 등과 이에 부속되는 시설로 연면적 합계가 2000㎡ 이상인 시설

※ 다만, 지상건물에 부속된 지하층의 시설은 관리대상에서 제외되며, 공중위생관리법의 적용을 받음.

■ 공기오염물질의 종류

먼지, 황산화물, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물, 포름알데히드, 석면, 라돈, 카드뮴, 크롬, 비소, 구리, 납, 수은 이상 14종

■ 지하공기질 기준

위 14가지 오염물질 중 법적으로 기준을 정한 물질은 표 4에서 보듯이 7가지이다.

표 3. 국내 실내공기질 관련 법령

관 련 부 처	관 리 대 상 시 설	관 련 법
환경부 대기보전국 생활공해과	• 지하역사(모든 지하역사를 대상으로 하며 다수인이 이용하는 출입통로, 대합실, 승강장 및 환승통로와 이에 부대되는 시설을 포함) • 지하도상가(지하공공보도에 면하여 설치된 점포, 사무실 등과 이에 부대되는 시설로 연면적 합계가 2000㎡ 이상인 시설 ※ 단, 지상건물에 부속된 지하층의 시설은 관리대상에서 제외되며, 공중위생관리법의 적용을 받음)	지하생활공간 공기질 관리법 (1996)
보건복지부 보건증진국 건강증진과	• 연면적 3000㎡ 이상의 업무시설과 연면적 2000㎡ 이상의 건축물로서 2개 이상의 용도에 사용되는 건축물 • 객석수 1천석 이상의 공연장 • 연면적 2000㎡ 이상의 학원 • 연면적 2000㎡ 이상의 자하상점가 (지하생활공간 공기질 관리법 적용대상 시설 제외)	공중위생관리법 (1999)
교육부 교육자치지원국 학교시설환경과	• 학교 • 학원(공중위생관리법 적용대상 제외)	• 학교보건법(1967) • 학원의 설립운영에 관한법률시행령 (1995) • 특수학교시설, 설비 기준령(1992)
건설교통부 주택도시국 건축과	• 터널 • 지하선로 • 지하연결통로	• 도로의 구조, 시설 기준에 관한 규정 (1990) • 도시철도건설규칙(1994) • 지하도로시설 기준에 관한 규정(1987) • 도시철도법(1979)
노동부 산업안전국 산업보건환경과	• 작업장	• 산업보건기준에 관한 규칙(1990)

표 4. 지하공기질 기준(환경부)

항 목	기 준
아황산가스 (SO ₂)	1시간 평균치 0.25 ppm 이하
일산화탄소 (CO)	1시간 평균치 25 ppm 이하
이산화질소 (NO ₂)	1시간 평균치 0.15 ppm 이하
미세먼지 (PM-10)	24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 (2002년 1월 1일)
이산화탄소 (CO ₂)	1시간 평균치 1000 ppm 이하
포름알데히드 (HCHO)	24시간 평균치 0.1 ppm 이하
납 (Pb)	24시간 평균치 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하

※ 지하공기질기준중 미세먼지(PM-10)에 대하여는 1999년 12월 31일까지는 “24시간 평균치 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하”를 적용하고, 2000년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지는 “24시간 평균치 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하”를 적용.

최근 환경부에서는 실내공기질 관리를 대폭 강화하기 위해 지하생활공간공기질관리법 개정법률안을 입법예고하였다 (2001. 7.16). 개정법률안의 주요내용을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

- 법령변경: “실내공기질관리법”으로 변경
- 실내공기질 관리대상시설을 추가 확대
 - 현행 대상에서 일정 규모이상의 여객자동차터미널 대합실, 항만 여객청사, 공항여객청사, 도서관, 박물관, 미술관, 종합병원, 아동복지시설, 노인복지시설, 실내주차장 등으로 확대
- 실내공기질 기준을 유지기준과 권고기준으로 이원화
 - 실내에 항상 존재하는 물질로 환기·정화설비의 상시 가동 등 상시관리가 필요한 경우는 유지기준을 설정하고 (항목 : 미세먼지, CO, NO₂, CO₂ 등)
 - 동일시설인 경우에도 발생시기, 농도 등이 상이하여 시설의 특성에 따라 관리가 필요한 경우는 권고기준을 설정(항목: 석면, 라돈, VOCs 등)

- 실내환경 관리자 지정제도 신설
- 신규 공동주택 주민 입주전 공기질 측정·공고 의무화
- 실내공간 유해물질 방출 건축자재 사용 제한
- 지도·점검 권한을 지방자치단체장에 이양

2) 보건복지부: 공중위생관리법

실내공기에 대하여 보건복지부 내 건강증진국에서 관리하고 있다.

- 관리대상 (공중이용시설)
 - 연면적 3000㎡ 이상의 업무시설과 연면적 2000㎡ 이상의 건축물로서 2개 이상의 용도에 사용되는 건축물
 - 객석수 1천석 이상의 공연장
 - 연면적 2000㎡ 이상의 학원
 - 연면적 2000㎡ 이상의 지하상점가 (지하생활공간공기질관리법 적용대상 시설 제외)
- 공중이용시설의 실내공기 위생관리기준
 - 24시간 평균 실내 미세먼지의 양이 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 경우에는 실내공기정화시설(덕트) 및 설비를 교체 또는 청소하여야 한다.
 - 실내공기 정화시설 안의 퇴적분진량이 $5 \text{ g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 때에는 청소를 하여야 한다.
 - 규정에 의하여 청소하여야 하는 실내공기정화시설 및 설비는 다음과 같다.
 - 공기정화기와 이에 연결된 급·배기관(급, 배기구를 포함한다)
 - 중앙집중식 냉·난방시설의 급, 배기구
 - 실내공기의 단순배기관
 - 화장실용 배기관
 - 조리실용 배기관
- 공중이용시설 안에서 발생되지 아니하여야 할 오염물질의 종류 및 오염 허용기준(표 5)

표 5. 보건복지부 공중위생법의 실내환경관리기준

오염물질의 종류	허용기준
미세먼지 (PM-10)	24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
일산화탄소 (CO)	1시간 평균치 25 ppm 이하
이산화탄소 (CO ₂)	1시간 평균치 1000 ppm 이하
실내공기정화시설안의 퇴적분진량	5 g/m^2 이하

- 온·습도기준: 이외 실내환경기준으로서 온도의 경우 17 - 18℃ 유지, 상대습도 40-70%, 기류 0.5 m/sec, 조명 100 Lux 이상유지 하도록 설정하고 있다.

3) 건설교통부: 도로법 및 도시철도법

건설교통부에서는 도로법 및 도시철도법으로 터널 및 지하철로를 대상으로 실내공기질을 관리하고 있는데 기준은 위 공중위생법에서 언급한 기준과 거의 유사한 수준이다.

4) 노동부: 산업보건기준에 관한 규칙-사무실오염으로 인한 건강장해 예방

- 적용대상: “사무실”이라 함은 근로자가 사무업무를 계속적으로 수행하는 실내공간으로서 휴게실·식당·화장실·세면시설·회의실·강당·보건의료시설·복도·계단 등의 부대시설을 포함한다.
- 적용대상물질: “사무실오염물질”이라 함은 사무실에서 근무하는 근로자의 건강장해 또는 불쾌감을 유발할 수 있는 공기 중에 부유하는 입자상 물질·가스·증기 등의 화학물질과 곰팡이·세균·바이러스·포자 등의 생물체를 말한다.
- 설비 및 시설기준
 - 환기설비 등의 설치: 외부의 신선한 공기 또는 정화된 공기를 공급할 수 있는 환기설비 등의 설치 및 가동
 - * 중앙관리방식의 환기설비 등을 설치시 고장등 비상시에 대비하여 환

기가 가능한 설비 구비

* 기류속도는 매 초당 0.5미터 이하

- 환기설비 등의 유지관리: 수시로 점검하여 필요시 청소, 개·보수 등
- 지정흡연구역 설치 등: ①사업주는 사무실에서 흡연을 금지하지 아니하는 때에는 별도의 지정된 장소에 흡연구역(이하 “지정흡연구역”이라 한다.)을 설치하고 그 뜻을 알리는 게시물을 부착하여야 한다.

② 지정흡연구역에는 별도의 환기설비 등을 설치

■ 사무실공기질 관리 및 작업기준

- 사무실 공기질 기준의 준수 등: 쾌적한 환경 및 근로자의 건강장해 발생을 방지하기 위하여 미세먼진, 석면, 이산화탄소 등은 기준미만(표 6) 관리

표 6. 사무실 공기질 관리기준

항 목	기 준
미세분진	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
석면	0.1개/ cm^3 이하
일산화탄소	10 ppm 이하
이산화탄소	1,000 ppm 이하
포름알데히드	0.1 ppm 이하

주) “미세분진”이라 함은 입자의 크기가 $10\mu\text{m}$ 미만인 분진을 말한다.

- 사무실 공기질 평가: ①노동부 장관은 알레르기성 질환, 안질환, 두통 등 사무실 공기질과 관련된 질환 또는 증상자가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 때에는 사업주에게 당해 사무실 공기질을 측정·평가하도록 명할 수 있다.

②사업주는 제1항의 규정에 의하여 노동부장관으로부터 사무실 공기질의 측정·평가 명령을 받은 때에는 지체 없이 당해 사무실의 공기질을 측정·평가하고 그 결과에 따라 환기설비 등을 설치 또는 개·보수하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.

- 옥외 오염물질의 유입 방지
- 미생물오염 관리
 1. 미생물의 생장을 촉진할 수 있는 곳의 주기적인 검사보수
 2. 미생물이 증식된 곳은 즉시 건조, 대치, 제거 또는 청소할 것.
 3. 건물 표면 및 환기설비등에 오염되어 있는 미생물은 제거할 것.
- 건물 개·보수 시 공기오염관리
 1. 작업내용을 피해가 우려되는 근로자에게 공지
 2. 공사장소의 격리, 발생오염물질의 억제 및 청소 등 적절한 조치
- 사무실의 청결: 항상청결유지, 세면시설, 목욕시설, 화장실 등 병원체로 인한 오염과 해충 발생의 우려가 있는 장소는 매월 1회 이상 소독 실시, 청소시 분진발생 억제할 수 있는 방법을 사용
- 보호구의 지급 및 착용 등: 환기설비등의 청소, 개·보수작업시 근로자에게 보안경, 방진마스크 등 적절한 보호구를 지급하고 착용

2. 국외 실내공기질 관리 법령 및 기준

1) 공기질 기준

국외 특히 미국의 경우 다양한 기관의 기준들이 현재 설정되어 있는 실정이다. 우리나라와 달리 각 주의 기관이나 또는 연방정부의 기준으로 하여 적절한 관리대상에 대하여 자체적으로 관리하고 있다. 현재에도 계속 실내공기 오염물질에 대한 연구가 활발히 진행중에 있으며 매년 실내공기 수준을 평가하고 있다. 대표적인 기관들의 실내공기 오염물질에 대한 기준을 살펴보면 표 7 - 표 9과 같다.

표 7. WHO Air Quality Guidelines for Europe (WHO, revised 1996)

Substance	Guideline value	Averaging time
Carbon monoxide (CO)	100 mg/m ³	15 min
	60 mg/m ³	30 min
	30 mg/m ³	1 hour
	10 mg/m ³	8 hour
Ozone (O ₃)	120 µg/m ³	8 hour
Nitrogen dioxide (NO ₂)	200 µg/m ³	1 hour
	40 µg/m ³	annual
Sulphur dioxide (SO ₂)	500 µg/m ³	10 min
	125 µg/m ³	24 hour
	50 µg/m ³	annual
Formaldehyde (HCHO)	0.1 mg/m ³	30 min
Radon (Rn)	$3 - 6 \times 10^{-5}$ /Bq/m ³	UR/lifetime
MMVF (RCF)	1×10^{-6} (fiber/liter) ⁻¹	UR/lifetime
Lead (Pb)	0.5 µg/m ³	annual

*UR/lifetime이란 평생노출에 따른 암으로 사망하는 risk

표 8. 학교 실내공기 오염물질들에 대한 기준(EPA, 2001)

Indoor Air Pollutant	Standard or Guidelines
Biological Contaminants	No standard
Carbon Dioxide (CO ₂)	1000 ppm as the upper limit for occupied classrooms (Recommend by ASHRAE Standard 62-1989)
Carbon Monoxide (CO)	50 ppm for 1-hour (OSHA standard for workers) 35 ppm for 1-hour (NIOSH) 9 ppm for 8-hour and 35 ppm for 1-hour (EPA)
Dust (less than 10 μ m)	50 μ g/m ³ for 1-hour (EPA) 150 μ g/m ³ for 24-hour average and annual average(EPA)
Environmental Tobacco Smoke(ETS)	Many office building and areas of public assembly have banned smoking indoors, or required specially designated smoking areas with dedicated ventilation system be available.
Lead (Pb)	The Consumer Product Safety Commission has banned lead in paint.
Nitrogen Oxides (NO, NO ₂)	No standard in indoor air. 0.053 ppm as the average 24-hour for NO ₂ in outdoor air. (ASHRAE and EPA)
Pesticides	No standard.
Radon (Rn)	4 pCi/L (EPA)
Volatile Organic Chemicals (VOCs)	No standard in non industrial settings.

표 9. 미국 냉·난방공조학회(ASHRAE)의 실내공기 환경기준

오염물질	실내오염 원인	허용기준	실내외 농도비	오염발생장소
일산화탄소	연소장치, 잘못된 난방시스템	100 mg/kg	>1	스케이트장, 사무소, 주택, 가게
호흡가능한 미분자	난로, 담배, 휘발성 용축물, 에어로졸 스프레이, 부유물	100-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>1	주택, 사무소, 공공기관시설, 병원, 음식점
유기물 기체	연소, 용매, 수지류, 살충제, 에어로졸, 스프레이	-	>1	주택, 음식점, 공공기관시설, 병원, 사무소
이산화질소	연소, 가스난로, 난방장치, 담배	200-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>1	주택, 사무소, 음식점
이황화가스	난방시스템	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<1	세관작업
무연의 부유물질	연소, 부유물, 난방시스템	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1	주택, 사무소, 음식점, 교통기관
황산염	성냥, 가스난로	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<1	세관작업
포름알데히드	단열재, 거푸집	0.05-1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>1	사무소, 주택
라돈과 부산물	건축재료, 지하수, 토양	0.1-200 nCi/m ³	>1	주택, 건물
석면	내화재료	106 fiber/m ³	1	주택, 학교
광섬유와 합성섬유	옷, 담요, 칸막이벽	-	>1	사무소
이산화탄소	연소, 애완동물	600 mg/m ³	>1	사무소
유기체	곤충, 에어컨 가습기, 설치류 동물	-		
오존	전기용접, 자외선	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$	<1 >1	비행기 사무소

2) 환기기준

■ ASHRAE 61-1989

- 1인당 최소외기급기량의 변천
 - 1973: 5 cfm/person (CO₂ 농도 2500 ppm 아래로 유지)
 - 1981: 5 cfm/person(금연지역), 20 cfm/person(흡연지역)
 - 1981년 이후: 15 cfm/person (CO₂ 1000 ppm 미만으로 유지)
- 장소별 1인당 환기량(표 10)

표 10. 필요외기환기량(Required outdoor air flow)

적용	장 소	Occupancy (people/1000 ft ²)	cfm/person	cfm/ft ²
음식과 것의 서비스	다용도실	70	20	
	카페테리아, 패스트푸드	100	20	
	bars, 칵테일라운지	100	30	
	부엌	20	15	
사무실	사무실 공간	7	20	
	연회장	60	15	
	회의실	50	20	
공동공간	흡연실	70	60	
	엘리베이터			1.00
소매점, 대,	바닥과 거리	30		0.30
	위층	20		0.20
	보행자 전용 상점과 지	20		0.20
	붕이 있는 상가			
	흡연실	70	60	
스포츠와 오락	분리된 지역	150	15	
	게임실	70	25	
	놀이방	30	20	
	무도실과 디스코실	100	25	
극장	로비	150	20	
	관객석	150	15	
교육	교실	50	15	
	음악실	50	15	
	도서실	20	15	
	강당	150	15	
호텔, 모텔, 행락지, 기숙사	침실			30 cfm/room
	거실			30 cfm/room
	로비	30	15	
	회의실	50	20	
	집회실	120	15	

3) 온습도 허용기준

가. ASHRAE 55-1981

표 11. ASHRAE의 여름과 겨울철 기온과 상대습도 허용범위*

상대습도	겨울철 기온, ° F	여름철 기온, ° F
30%	68.5 - 76.0	74.0 - 80.0
40%	68.5 - 75.5	73.5 - 79.5
50%	68.5 - 74.5	73.0 - 79.0
60%	68.0 - 75.0	72.5 - 78.0

*전형적인 하복과 동복을 착용한 채로 주로 앉은 자세로 경작업을 하는 사람에 적용된다.

나. 보건복지부 공중위생관리법

- 온도: 17 - 18℃ 유지
- 상대습도: 40 - 70%
- 기류 0.5 m/sec
- 조명 100 Lux 이상

V. 실내공기질 조사 및 평가

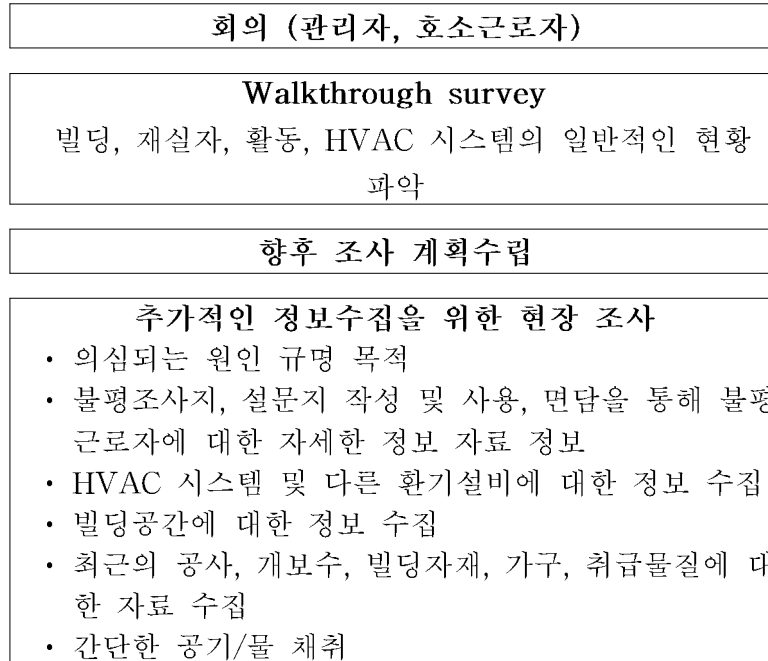
진단을 위한 빌딩조사(diagnostic building investigation)는 재발을 방지하고 그리고 다른 문제가 발생하지 않도록 제기된 IAQ 문제 또는 불평을 확인하고 해결하는 것이다. IAQ 문제를 조사하는 일은 다음과 같은 이유 때문에 쉽지가 않다.

- 문제의 원인이 항상 명확한 것은 아니다.(문제의 원인이 화학물질, 생물학적인자, 기분 또는 환기시스템인가?)
- 오염물질의 발생원을 쉽게 결정할 수 없다.

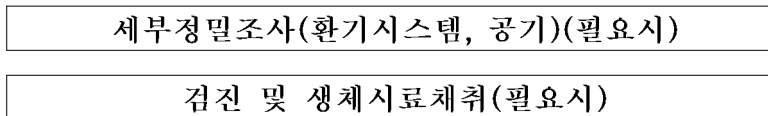
- 전통적인 산업위생방법으로는 오염물질을 측정하지 못할 수 있다.
- 직업적 노출기준을 실내환경에 적용하지 못할 수 있다.(민감한 사람들에게 적용하도록 고안되지 않았다)
- 문제가 우발적이고(episodic) 순환되기도 한다.
- SBS를 호소하는 사람들은 감기나 독감에 걸려 있을 수 있다.
- 문제는 너무 감정적이기 때문에 이유와 논리적인 접근을 막을 수 있다.
- 이러한 불평들은 다른 비밀적인 의도가 있을 수 있다. (정치적, 경제적, 노사관계 등)
- 증상과 불평들은 다수의 원인을 지적할 수 있다.

IAQ 문제는 재실자의 불평을 통해 인지된다. 재실자의 정보는 종종 매우 유용하다. IAQ 문제에 대한 조사는 일반적인 경로는 일반적으로 그림 1과 같은 경로를 따른다(Burton).

Primary steps



If necessary:



Conclude the investigation:



그림 1. IAQ 진단 및 평가 과정 흐름도

한편, EPA에서는 빌딩 IAQ 문제의 진단 및 해결을 위한 절차는 다음과 같이 제안하였다. 빌딩진단을 위한 흐름도는 그림 2와 같다(EPA, 1991).

1. 현장관찰(Walkthrough suvey)
2. 상황(잠재적인 발생원, 공기의 행동, 사람들의 행동 등)에 대한 평가
3. 추가적인 자료수집(필요시)
2. 가설 설정 및 검증
4. 새운 가설에 대한 판정 또는 결론
5. 관리방안의 제안 및 시험 (격리, 대치, 공정변경, 환기, 행정적관리 등)
6. 장래 문제의 재발을 방지하기 위한 개선 또는 변경

IAQ 조사절차의 단계별 세부적인 내용은 다음과 같다.

■ 단계 1: 담당자(사업주 또는 관리자) 및 근로자와의 일차 면담

빌딩관리자, 감독자 등 담당자를 접촉하여 체크리스트에 있는 사항에 대해 토의한다.

관련담당자와 면담을 위한 체크리스트

- 문제를 호소하였거나 호소하고 있는 사람들을 찾는다.
근로자의 불평형태와 빈도에 대해 의논한다.
- 기록문서를 요청한다: 빌딩배치도, 빌딩관리일지, 점검일지 등
- HVAC 설계도, 운용, 보수일정을 확보한다.
- HVAC 시스템 담당자를 확인한다. 그들을 활용할 수 있도록 요청한다.
- 보수일정, 절차에 대해 논의한다.
- 최근의 빌딩 개보수 현황을 확인하고 논의한다.
- 문제의 원인을 알고 있는지 묻는다.
- 수집한 기초자료를 요청한다.
- 흡연정책에 대해 묻는다.
- 향후 접촉 일정을 정한다.
- Walk-through 조사에 대해 논의한다.

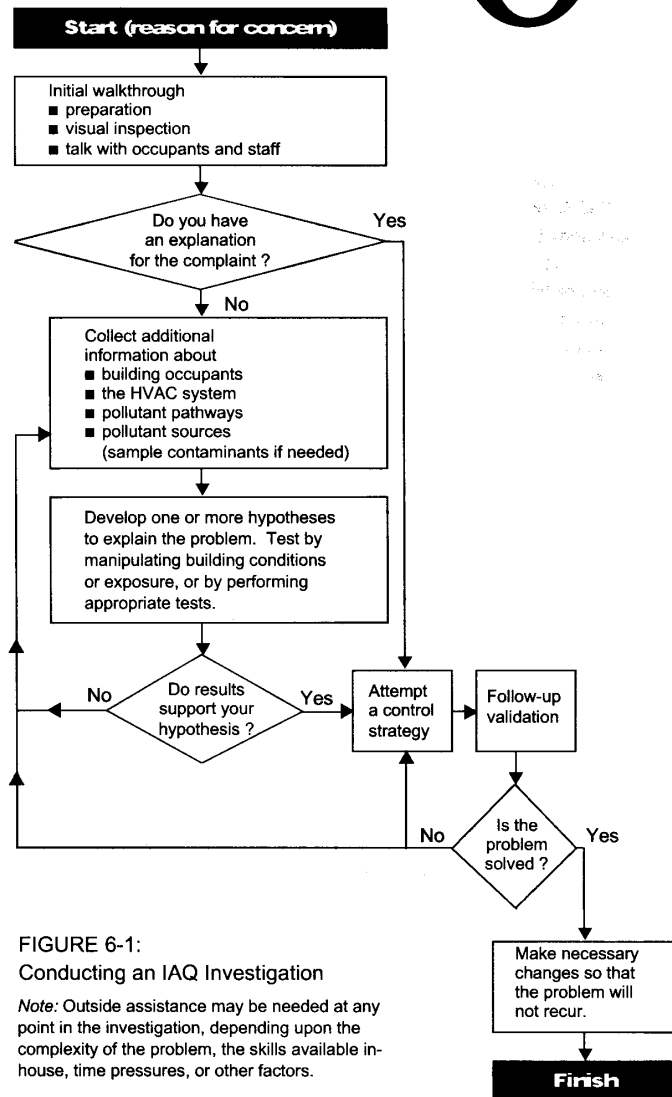


그림 2. EPA의 실내공기질 문제 진단의 흐름도.

문제를 호소하는 사람들(불평자, 증상 또는 질환자)과 면담하여 필요한 정보를 수집한다. 이들은 당면 문제에 가장 친숙할 것이다. 이 면담을 통해 당사자들에게 협조를 요청하고 문제의 범위를 파악하고 문제의 존재여부를 확인할 수 있다. 종종 가장 유용한 정보는 근로자로부터 얻을 수 있다. 자세한 정보는 단계 4에서 얻는다.

■ 단계 2: 일차 Walk-through survey

빌딩관리자, HVAC 시스템 담당자, 사무실책임자, 근로자대표, 해당근로자 등과 접촉하여 빌딩을 다니면서 관찰조사를 한다. 직무별 근로자 목록, 근무위치, 결근일지, 빌딩 도면 및 사양서, 기계 플랜, 보수기록 등을 요청한다 (그림 3).

이 단계에서는 측정과 점검하지 않고 단지 빌딩, HVAC 시스템, 빌딩거주자, 거주자활동에 친숙해지도록 한다. 카메라, 자, velometer, 온도계, 기압계, 계산기, 보호복, 발연관, 기록지, 필기구 등을 준비하는 것이 좋다(그림 4).

일차 Walk-through 조사를 위한 체크리스트	
-- Walk-thru 중 접촉한다.	
-- 빌딩관리자	
-- HVAC 담당자	
-- 사무실책임자	
-- 근로자 대표	
-- 요청하라.	
-- 직무 및 위치별 근로자 현황(목록)	
-- 결근기록대장	
-- 건물에 대한 플랜 및 사양	
-- 기계플랜	
-- 보수기록대장	
-- 준비할 장비(원한다면)	
카메라, 자, CO ₂ 검지관, 기압기습계, 기록용지, 필기도구, 보호장비(마스크, 방독면, 안전모), 공구키트, velometer, 계산기, 온도계, 발연관, 보호복	

그림 3. 일차 Walk-through 조사를 위한 체크리스트.

Quick Walk-through survey worksheet		
성명:	날짜:	
주소:	지역:	
전화:		
잠재적인 문제	예/아니오	코멘트
- 근로자불평	_____	_____
- 증상 존재	_____	_____
- 질환 존재	_____	_____
- 외기 부족	_____	_____
- 부적합한 공기 분배	_____	_____
- 실간 압력 차이	_____	_____
- 사면에서의 공기유입	_____	_____
- 냄새 감지	_____	_____
- 과도한 담배연기	_____	_____
- 과도한 습도	_____	_____
- 너무 더운 온도	_____	_____
- 너무 낮은 온도	_____	_____
- 온열기구의 부적절한 배기	_____	_____
- 외기유입구의 불량한 배치	_____	_____
- 눈에 보이는 곰팡이	_____	_____
- 수분	_____	_____
- 수분에 의해 가구 손상	_____	_____
- 화학세정제	_____	_____
- 석면함유자재의 노후	_____	_____
- 불결한 유기물질 부스러기	_____	_____
- 불량한 청소관리	_____	_____
- 장비에서의 누출	_____	_____
- 부적절한 배기	_____	_____
- 배치가 불량한 적재지역	_____	_____
- 기타	_____	_____

그림 4. Quick Walk-through survey worksheet.

■ 단계 3: 예비평가 및 계획수립(Planning)

기존 자료에 대한 예비 평가결과 후 다음 조사를 수행하기 위한 계획을 수립한다. 충분한 자료가 수집되었다고 판단된다면 단계 7로 뛰어 넘을 수 있다. 자료가 불충분하다면 자세한 정보수집을 위한 계획을 수립하도록 한다. 계획에는 문제의 범위, 요구되는 노력, 필요한 자료, 예산 등이 고려된다. 여러 방면의 전문가(산업위생전문가, HVAC 엔지니어, 의사 등)들을 프로젝트에 참여시키는 다학문적인 접근이 필요할 수 있다.

■ 단계 4: 추가적인 정보 수집(Gather more information)

더욱 심도있는 현장조사(on-site investigation)를 통하여 잠재적인 원인, 발생원, 방출원을 확인하기 위한 정보를 수집한다. 수집할 정보는 다음과 같은 것들이 포함된다.

1) 불만을 호소하는 사람으로부터 자료수집

당사자들에 의한 불평기록자료 및 일지, 이들에 대한 설문 및 면담 조사를 통해 문제의 원인을 확인에 필요한 정보를 수집한다. 사람들의 인식과 경험은 문제를 원인, 특징, 범위, 발생지역을 파악하는데 매우 유용하다.

■ 불평기록: 불만기록양식(complaint form)(그림 5), 불만발생일지(complaint log)(그림 6)

■ 면담: 면담을 통해 다음과 같은 정보를 얻을 수 있을 것이다(그림 7).

- 불편사항이 무엇인가? 어떤 증상들이 있는가? 그러한 증상들은 언제? 어디에서 나타났는가?
- 어떤 특정 상황이 그 증상을 촉발시켰는가?
- 문제의 원인은 무엇이라고 생각하는가?

• 개인의 특성: 흡연여부, 알레르기, 약물복용, 기존질환, 장애, 직업

■ 설문지: 설문지는 다음과 같은 여러 가지 장점이 있다(그림 8).

- 실제로 문제, 원인을 확인할 수 있다.
- 사람들이 문제를 이해하는 방식에 대한 정보를 제공해준다.
- 사람들에게 무엇이 일어나고 있음을 보여준다.

- 문제를 경험한 사람들과 해결방안을 찾는 사람들을 연결해준다.
 - 시간을 절약할 수 있다.
- 증상의 패턴: 증상 또는 불쾌감의 유형을 조사하라. 표 12는 실내공기질과 연관되는 일부 증상군들의 목록으로 이러한 증상들의 원인 또는 발생원과 함께 보여주고 있다.

IAQ 불만사항 작성 양식 (IAQ Compliant Form)			
다음 서식을 사용하여 공기질에 대한 당신의 불만을 상세히 기술하십시오. 문제, 문제의 원인을 기술하고 당신이 생각하기에 무엇이 그 문제를 악화시키는지 기술하십시오.			
성명 _____	부서/위치 _____	전화 _____	
날짜 _____	작성자 _____	직책 _____	

출처: EPA, Building Air Quality, 1991

그림 5. IAQ 불만사항 작성 양식 (IAQ Compliant Form).

IAQ 관련 불편사항 발생일지(Occupant Incident Log)				
IAQ 문제의 패턴을 확인을 위해 이 서식을 사용하십시오.				
성명 _____	부서/위치 _____			
날짜	from: _____	to: _____	전화	_____
날짜	시간	위치	사건 개요	결과/개선조치

출처: EPA, Building Air Quality, 1991

그림 6. IAQ 관련 불편사항 발생일지(Occupant Incident Log)

면접조사양식(Interview Record)	
면접자: _____	응답자: _____
문제가 무엇인가?	
증상, 불편한점은?	
언제?	
어디에서?	
다른 사람은?	
어떤 상황이 문제를 촉발시켰는가?	
문제의 원인 또는 발생원은?	
제안하는 개선조치는?	
기타정보?	
개인: 알러지 () 약물복용 () 직업 ()	

출처: Burton, 1993

그림 7. 면접조사양식(Interview Record).

증상 조사 설문지

이 설문지는 근로자가 호소하는 불만의 원인을 파악하기 위한 것입니다. 당신의 협조가 필수적입니다. 당신의 응답내용은 비밀로 할 것입니다.

나이() 성 () 근무위치()

다음증상중 예전에 가졌거나 지금 가지고 있는 것을 표시하십시오.

예 아니오 불확실

눈자극, 눈물
재취기
코막힘
콧물
sore throat
기침
호흡곤란
두통
wheezing
rash
열
구토
설사
감기증세
sinus trouble

일반적인 질문

예 아니오 불확실

증상의 원인이 무엇인지 알고 있습니까?

콘택렌즈를 착용합니까?

흡연합니까?

예라면, 하루 몇 개비를 피웁니까? () 개비

작업중 담배연기가 당신을 괴롭힙니까?

흡연을 하는 사람이 근처에 있습니까?

당신이 겪고 있는 불편의 원인을 알고 있습니까?

위에 언급한 증상들에 대해

예 아니오 불확실

위의 증상을 설명할 수 있는 의학적인 상태(치료중)입니까?

사무실을 떠나면 증세가 호전됩니까?

작업중에도 콘택렌즈를 착용합니까?

(이전에 있었는데 지금은) 모든 증상들이 사라졌습니까?

당신의 증상들이 더 나빠지는 시간이 있습니까?

있다면, 몇시입니까? ()

몇 일째 이러한 증상 때문에 고통을 겪고 있습니까?

일을 시작한 후 얼마나 빨리 이러한 증상들이 나타납니까?

(시간후) (분)

출처: OSHA

그림 8. 증상 조사 설문지.

표 12. 실내공기질 관련 일반 증상군과 가능한 원인

증상 유형	제안
온열상태에 대한 불편감	■ HVAC 상태와 운영조건 체크 ■ 실외 온도와 습도 측정 HVAC 장비의 설계용량을 초과하는 과도한 조건인지를 확인 ■ 난기류(draft)와 정체지역 체크 ■ 과도한 복사열의 gain 또는 loss 체크
일반적인 증상군 두통, 무기력, 구역질, 졸음, 현기증	만약 급성이면 의학적 평가를 실시함 (CO 가스 중독과 같은 문제처럼) ■ 연료의 누출과 어지럼에 대한 체크 실외공기유입구가 연소가스발생원 근처에 있는지에 대해 체크 ■ 문제가 신속히 해결되지 않는다면 평가/의학적평가를 고려함. ■ 전반적인 환기상태를 체크: 환기가 미흡한 지역과 불평의 일치성을 확인함.
울혈, 부기, 가려움 또는 눈·코·목의 자극: 건조성 목; 비특이적 증상(두통, 피로, 구역질)을 수반하기도함.	소수에게만 이러한 증상이 나타난다면 알러지 반응일 수 있음. 다수라면 자극반응일 수 있음. ■ 알러지에 대한 의학적 검진 필요 ■ 먼지 또는 위생문제, 수분, 오염된 환기 시스템에 기인하는 미생물 오염에 대해 점검 ■ 외기의 알러지 유발물질(allergen)(포자수 등) 수준 체크 ■ 포름알데히드와 같은 자극성물질이나 일부 용제에 존재 자극성물질들의 발생원을 세밀하게 점검
기침: 단호흡; 빌딩에 들어 온 후에 열, 한기, 피로	과민성 폐렴 또는 가습기열병일 수 있음. 의학적 평가는 가능한 원인 파악에 도와줄 수 있음. ■ 위생문제, 수분 또는 오염된 HVAC 시스템에 기인하는 미생물오염에 대해 체크.
진단된 감염	환경중에 존재하는 세균이나 곰팡이에 의한 레지오넬라병 또는 히스토플라스마증일 수 있음. ■ 정부기관, 전문기관과 상담
희귀한 증상군 또는 압과 같은 중대한 건강문제	■ 정부기관, 전문기관과 상담
기타 스트레스요인 공기오염물질과 온열조건으로 쉽게 설명될 수 없는 불편함과 건강문제호소	■ 환경, 인간공학적, 직업관련성 사회심리학적 스트레스인자와 관련된 문제를 체크

2) 빌딩정보(Building information)

오염원으로 도입했을 수 있는 최근의 공사, 개보수 현황, 빌딩자재, 가구, 부속품(fitting), 도장, 카펫, 사용물질 등에 대한 정보를 수집한다(빌딩정보체크리스트 참고). 예를 들면 새로 설치된 압축목재선반은 포름알데히드의 방출원으로 작용했을 수 있다.

빌딩정보체크리스트 (Building Info Checklist)				
빌딩:	접촉자:			
주소:	전화:			
날짜:	조사자:			
빌딩 기술사항				
설립연도	소유주	입주일	임대인	바닥수
이웃형태	공사	교통패턴	주차장	방출원
문, 창문틈	내부공사	내부레이아웃	보온재종류	HAVC 종류
거주자 공간 기술사항				
사람수	1인당면적	활동유형	흡연정책	흡연자수
존재 화학물질	세척물질	가구	건축자재	최근공사현황
최근변경	직립식선풍기	온습도	곰팡이, 더러움	젖은 표면
인접공간	실내기압	CO2	난류(draft)	통풍불량
HVAC 시스템				
시스템 형태/상태/창문/연료종류/확산기(diffuser)종류/유입구위치/배기구위치/외기공급 설비(OA provision)/분배/종단속도/소음/먼지, 난류/economizer cycle Controls/Zones/총유량(total cfm)/총외기급기량(OA)/열교환기/국소배기/보충공기(makeup air)/덕트종류/시스템내수분/가습기종류/휴게실배기/공기청정기종류/공기청정기효율/담당관리자				

그림 9. 빌딩정보 체크리스트.

3) 공간(space) 특성 파악

공간 특성에 대한 체계적인 정보 수집을 위해 아래와 같은 서식을 사용할 수 있다(공간특성 조사양식 참고).

공간 특성 조사양식			
위치 _____	일자/시간 _____		
성명 _____	주소/전화 _____		
연락자 _____	작업근로자수 _____		
스케치: 문, 창문, 급기 및 순환설비, 크기, 바닥플랜 등을 나타낸다. L _____ W _____ H _____ 방체적 _____ Tdf _____ Twb _____ R.H. _____ C_{CO2} _____ C_{other} _____ C_{other} _____ T_{MA} _____ T_{RA} _____ T_{OA} _____ %OA _____ C_{SA} _____ (CO₂) C_{RA} _____ (CO₂) C_{OA} _____ (CO₂) %OA _____ 급기유량(SA)*: Q1 _____ Q2 _____ Q3 _____ Q4 _____ Q5 _____ Q6 _____ Q_{SAtotal} _____ 순환공기유량(RA)*: Q1 _____ Q2 _____ Q3 _____ Q4 _____ Q5 _____ Q6 _____ Q_{RAtotal} _____ Q_{OA} _____ Q_{OA/person} _____ AC/Hr _____ 종단(draft)속도: _____ 지역 _____ hallway와 압력관계: (+) or (-) Light _____ Noise _____			
* 급기 및 순환공기 유량은 문과 창문을 닫은 채로 측정한다. 문과 창문이 닫혀 지 지 않는다면 문과 창문을 통하는 유량을 측정한다.			

그림 10. 공간 특성 조사 서식.

4) HVCA 시스템

HVA시스템과 다른 환기설비(국소배기설비) 등에 대한 정보(형태, 도면(배치), 가동 및 보수 일정, 관리, 급기부와 공기순환 위치 및 운용, 유량, 외기급기량, 혼합, 분배 등)를 수집한다. 발연관(smoke tube)와 velometer로 신속히 점검할 수 있다.

5) 실내공기측정

초기 및 연속한 조사단계에서 공기/물/생체시료채취가 필요한지 여부에 대해 판단하여야 한다. 발생원이나 원인이 명백하다면 단지 개선조치를 취하는 것으로 충분하다. 초기조사에서는 일반적으로 검지관(indicator tube, detector tube), 휴대용 적외선분석기와 같은 사용하기에 간편한 직독식측정기구를 사용하여 공기를 측정한다.

화학물질 또는 생물학적 인자의 오염이 강하게 의심되고, 정확한 자료(예를 들면 연구 또는 소송을 위한 자료)가 필요한 경우, 재정과 시간이 뒷받침되는 경우, 보다 복잡하고 정밀한 환경 및 의학적인 검사를 수행할 수 있다. 문제가 환기설비에 있는 경우 세부적인 환기시스템 점검을 실시하도록 한다.

문제가 발생한 장소에서 시간에 따른 추이를 보기 위해 하루 내내 측정하도록 한다. 시료는 옥외와 빌딩의 다른 지역에서도 채취하여야 한다. 시료는 공기유입구 및 배기구에서, 급기 및 순환 조절장치 근처에서, 의심되는 발생원 근처에서, 사람들이 상주하는 지역에서 채취하도록 한다.

실내공기질 평가에서는 호흡기위치에서 측정은 직업적 노출평가에서 만큼 중요하지 않다. 산업환경보다 농도가 훨씬 낮기 때문에 일부 시료채취 및 분석 방법은 좋은 자료를 얻는데 있어 감도가 충분하지 않을 수 있다

표 13은 실내에서의 오염물질의 일반적인 농도 분포와 조사의 필요성에 대한 근거가 될 수 있는 주의 농도를 제시하고 있다(Burton)

표 14는 OSHA의 Technical Manual중 실내공기질 조사(indoor air quality investigation)를 위해 사용하도록 제안된 측정방법으로 스크리닝 방법, 농도범위, 검증된 방법, 오염물질 종류를 보여주고 있다. 일반적으로 검지관(detector tubes)이나 직독식기구를 사용해서 스크리닝 시료(screening samples)를 채취한다. 감도를 높이기 위해 고유량 또는 장시간 시료채취 한다. 이 매뉴얼에는

보다 감도가 좋고 정확한 평가를 필요로 하거나 조치가 필요할 수 있는 잠재적인 오염원을 결정하기 위해 일반 스크리닝(general screening) 기법을 사용하도록 권고한다.

스크리닝 결과에 근거할 때 근로자의 노출을 추가적으로 정량화하기 위한 검증된 시료채취절차가 필요할 수 있다. 또한 일반적인 실내공기오염물질(아세트산, 석면, 이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드, 질소산화물, 오존, 라돈, 공기중 입자상물질, 공기중 미생물)에 대해서는 전문가의 판단에 기초하여 선택적으로 스크리닝을 하도록 권고하고 있다.

- 아세트산: 검지관(0-10 ppm)/눈, 코, 인후자극에 대한 불평에 대한 평가 (silicone-caulking compound의 방출장소, 병원내 x-ray developing 장비의 환기가 부적절할 때)
- 석면: OSHA Standard
- 이산화탄소: 저농도용 검지관(0-2000 ppm) 또는 휴대용 IR spectrometer (빌딩으로 유입 및 분배되는 외기의 적정한 양을 결정하는데 유용)
- 일산화탄소: 저농도 측정용 검지관(2-200 ppm), 직독식 CO 모니터
- 포름알데히드: 저농도용 검지관(2-200 ppm)(눈, 코, 인후자극에 대한 불평 조사/ 보온제, 빌딩자재, 카펫, 접착제 등에서 가스 방출)
- 질소산화물/오존: 검지관, 보다 정확하고 연속 측정을 위해 화학발광모니터 (0.01-10 ppm) 사용
- 라돈:
- 공기중 입자상물질: 입자계수기(particle counting meter)(< 2000 particles/cc)
- 미생물: Colony-forming units/m³ (cfu/m³)을 측정할 때 추가적으로 동정을 하도록 권고한다. 곰팡이의 동정여름철 외기의 곰팡이 포자 (fungus-spore) 수준은 1000 - 100,000 cfu/m³이다. 오염의 지표는 다음과 같다.
 - 1000 viable cfu/m³ of air
 - 1,000,000 fungi/g of dust or material
 - 100,000 bacteria or fungi/mL of stagnant water or slime

표 13. 오염물질의 농도 체크리스트

오염물질	전형적인 실내 농도*	관심 농도*
CO ₂	350 - 1000 ppm	> 1000 ppm
휘발성유기화합물	1 - 2 ppm	화합물의 의존
포름알데히드	0.04 - 0.1 ppm	> 0.1 ppm
CO	1 - 5 ppm	> 9 ppm
NO ₂	0.03 - 0.1 ppm	> 0.05 ppm
오존	0.01 - 0.02 ppm	> 0.05 ppm
분진	< 0.075 mg/m ³ (total) < 0.050 mg/m ³ (PM-10)	> 0.075 mg/m ³ > 0.050 mg/m ³
Bioaerosols		See Chapter 6 (Other Information more important)
석면	< 0.01 fb/cc < 2 µg/m ³	> 0.1 fb/cc
라돈	< 0.5 pCi/lit	> 4 pCi/lit
악취	없음	Any detectable for long periods of time

*비산업환경에서의 일반적인 농도수준으로 이 값을 초과하는 경우 조사를 진행할 수 있다.

**ASHRAE 62-1989 : WHO Indoor Air Quality Research, Report 103, 1984;
EPA; "Concern" refers to health effects and/or comfort.

표 14. OSHA 실내공기질 측정 제한한 방법

오염물질	농도범위	스크리닝방법 (Screening method)	검증된 방법 (Validated method)
생물에어로솔 (Bioaerosol)	0-1000 cfu/m ³	Viable biological sampler	
이산화탄소	0-2000 ppm	검지관, 적외선분광광도 계(IR spectrometer)	시료채취백, GC/TCD(OHA ID172)
일산화탄소	2-50 ppm	검지관, 직독식측정기	시료채취백, meter
포름알데히드	0.04-1 ppm	검지관	Cated XAD-2, GC/NPD (OSHA-52)
Nitric oxide	0-25 ppm	검지관	Triethanolamine tube with oxidizer, Nitrogen phosphorus detector (OSHA ID190)
이산화질소	0-5 ppm	검지관	Triethanolamine-molecular sieve tube, IC (OSHA ID182)
입자상물질	0-40,000 particles/cc	광산란미터(Light scattering meter)(보정)	
농약	OSHA Chemical Information Manual 참조		
오존	0-0.1 ppm	검지관 Chemiluminescent meter	
라돈	4 -200 pCi/L	Radon cartridge, Electrect	
VOCs	OSHA Chemical Information Manual 참조		

VI. 실내공기질 관리

IAQ 문제 예방하고 관리하기 위해서는 다음과 같은 책임을 가진 사람들의 참여가 필요하다(EPA, 1991).

- 설비운영 및 보수
- 청소
- 적재 및 하역
- 구매
- 정책입안(기획)
- 스태프교육

이와 함께 성공적인 IAQ 문제를 관리에는 빌딩임차인의 고용주와 같은 사용자들의 협력도 필요하다. 빌딩거주자는 IAQ 문제의 원인과 문제 재발을 방지하기 위한 취해되거나 피하여야 할 행동들에 대해 교육을 받아야 한다.

실내공기질 관리 전략은 다음과 같이 분류할 수 있으며 성공적인 IAQ 관리는 종종 이러한 전략들의 조합에 의해 이루어진다(EPA, 1991).

- 오염원 관리 또는 제거
- 환기
- 공기정화
- 노출관리

1. 오염원 관리(EPA, 1991).

- 발생원을 제거하거나 감소시켜라.
 - 실내 흡연을 금지하고 흡연은 배기되고 순환되지 않는 장소에서 하도록 제한한다.
 - 오염물질발생기기를 사람이 없는, 환기가 잘되는 또는 배기되는 장소에 재배치한다.
 - 적절한 안전과 효율을 유지하는 반면 강한 오염물질이 거의 발생되지 않

거나 덜 발생하는 제품을 선정한다.

- 거주자들의 활동을 바꾸도록 한다.

■ 발생원을 밀봉하거나 덮어라.

- 오염물질을 발생시키는 물질의 보관상태를 개선하라.
- 포름알데히드와 같은 휘발성유기물질(VOCs)을 방출하는 빌딩자재의 표면을 밀봉한다.

■ 환경을 변경하라.

- 곰팡이나 세균생장에 의해 오염된 지역을 청소하거나 소독한 후에, 생장에 부적합하도록 습도를 조절한다.

2. 환기(EPA, 1991).

환기변경은 IAQ 문제를 교정하거나 예방하는데 종종 활용된다. 이 접근방법은 빌딩이 환기가 부족한 상이거나 특정오염원이 확인되지 않은 경우에 효과적이다. 환기는 다음과 같이 공기오염을 관리하는 데 이용된다.

■ 외기에 의한 오염물질 희석

- 총급기량을 증가시킨다(외기를 포함)
- 총공기에 대한 외기의 비율을 증가시킨다.
- 공기분배를 향상시킨다.

공기압 조절에 의한 오염물질의 격리 또는 제거

- 발생원에 효과적인 국소배기설비를 설치한다.
- 오염물질을 함유한 공기의 재순환을 피한다.
- 재실자는 급기확산기(supply diffuser) 근처에 발생원은 배기조절장치 근처에 위치시킨다.
- 압력구배를 유지하고 오염경로를 차단하기 위해 air-tightening 기법을 이용한다.
- 지역을 격리할 필요가 있는 장소에서는 문이 닫혀져 있는지를 확인하라.

3. 공기정화(EPA, 1991).

세 번째 IAQ 대책은 공기를 정화하는 방법이다. 공기정화방법은 오염원관리와 환기가 병행할 때 가장 효과적이다. 그러나 오염원이 빌딩 외부에 있을 때 접근 방법이다. 대형빌딩에서의 대부분의 공기정화는 HVAC 설비에서의 오염물질 축적을 방지하고 설비효율을 높이는 것이 일차적인 목적이다. 공기로부터 오염물질을 제거하는 4가지 기술이 있다.

- 입자상물질 여과(particulate filtration)
- 정전기침강(electrostatic precipitation)
- 음이온 발생(negative ion generation)
- 가스흡수(gas sorption)

4. 노출관리(EPA, 1991).

노출관리는 문제를 감소시키기 위한 행정적인 접근방식이다.

- 불만을 피하기 위해 오염물질을 발생시키는 활동의 일정을 변경한다.
 - 사람이 없는 시간에 오염물질 발생활동이 이루어지도록 일정을 맞춘다.
 - 앞으로 있을 상황(전창 등 건물개보수공사, 농약 살포 등)을 감수성이 민감한 사람들에게 통지하여 이들 오염물질에의 접촉을 피하도록 한다.
- 감수성이 예민한 사람을 재배치한다.
 - 감수성이 예민한 사람은 증상을 겪었던 지역으로부터 멀리 이동시킨다.

※ IAQ 문제의 예방 및 최소화 위한 체크리스트(Burton, 1993)

Checklist for Preventing and Minimizing IAQ Problems

- ☐ Maintain the HVAC system in top working condition.
- ☐ Provide a written operating and maintenance plan for HVAC systems.
- ☐ Specify building materials with low VOC emissions.

- ☐ Provide appropriate volumes of outside air.
- ☐ Provide good distribution and mixing of supply air.
- ☐ Specify furnishings and materials with low VOC emissions.

- ☐ Restrict smoking to areas with dedicated ventilation systems.
- ☐ Limit open shelving and other uses of pressed wood.
- ☐ Use hard surface flooring and walls where possible.

- ☐ Use lowest temperatures consistent with energy and comfort.
- ☐ Provide relative humidities of 30-50%.
- ☐ Use high efficiency filters (e.g., ASHRAE dust spot efficiency 50-70%)

- ☐ Involve and educate occupants
- ☐ Lower occupant densities
- ☐ Increase occupant control of environment (e.g., personal fans, more thermostats, involvement in decisions.)

- ☐ Minimize exposure for those in stressful jobs.
- ☐ Involve professional assistance in IAQ problems.
- ☐ Provide monitoring of systems, air quality.

- ☐ Eliminate standing or stagnant water.
- ☐ Remove contaminated or emitting materials that cannot be controlled.
- ☐ Investigate *bakeout* for new buildings.

※ 외기에 의한 오염물질 희석

■ 추정한 오염물질의 발생량(emission rate)을 고려한 희석환기량 계산

- 발생량

$$q = \frac{387 \times \text{amount evaporated}}{\text{MW} \times \text{min}}$$

$$\text{or}$$
$$q = \frac{0.0244 \times \text{gram}}{\text{MW} \times \text{seconds}}$$

q = 증기발생량, ft³/min or m³/min

MW = 분자량

lbs = 증발량, lbs or gram

- 희석환기량

$$Q_{OA} = \frac{q \times K_{eff} \times 10^6}{Ca(\text{ppm})}$$

Q_{OA} = 희석환기량(m³/s)

q = 증기발생량(m³/s)

Ca = 허용농도(ppm) (10% TLV)

K_{eff} = 외기가 거주자들에게 불완전하게 전달되는 것을 설명하기 위한 혼합계수 또는 환기효율 (1 - 2.0). 대부분의 경우 1 - 1.5 사이의 값이다.

1.0 : 양호한 급기 및 순환 지역을 가진 넓은 개방된 사무실공간. 모든 HVAC은 적절히 가동

1.1: 이상적이지 아니한 조건이나 혼합을 위한 팬을 광범위하게 사용

1.2-1.5: 급기 및 순환설비의 부적절한 배치. 적절한 급기 및 순환지역을 가진 칸막이로 분할된 사무실

1.5-2.0: 단단한 파티션이 있으며 급기 및 순환위치가 불량한 밀집된 사무실공간

예제) 액체산화탄소를 사용하여 뜨거운 제품을 냉각하는 공장내부의 CO₂ 농도가 25000 ppm이었다. 이 공장에서는 10일 동안 24000 lb의 액화 이산화탄소를 소비하였다. 다른 오염물질은 발견되지 않았다. 이산화탄소를 1000 ppm으로 낮추기 위해서는 7000 ft³/min 팬이 몇 대 필요한가?

풀이) 10일 동안 24000 lb를 소모하므로 하루 2400 lb, 1시간에 100 lb를 소모한다. 따라서 이산화탄소 가스 발생률(emission rate)는 다음과 같다.

$$q = \frac{387 \times \text{사용량(lbs)}}{\text{MW} \times \text{분}} = \frac{387 \times 100}{46 \times 60} = 14.0 \text{ ft}^3/\text{min}$$

이산화탄소 농도 Ca=1000 ppm으로 낮추기 위한 희석환기량은 다음과 같다.(혼합계수(K_{mix})=2라고 가정한다)

$$Q_{OA} = \frac{q \times K_{mix} \times 10^6}{Ca} = \frac{14.0 \times 2 \times 10^6}{1000} = 28,000 \text{ ft}^3/\text{min}$$

따라서 4대의 7000 ft³/min 팬을 설치하면 된다.

예제) 합판(particle board) 목재선반을 넓은 사무실에 설치했다면 포름알데히드 농도를 0.05 ppm 아래로 유지하는데 필요한 환기량은 얼마인가? (MW=30, 합판면적=250 m², Ca=0.05 ppm, k(eff)=1.25, 합판의 포름알데히드 emission factor=2000 - 25000 µg/day/m²)

* 다양한 재료의 emission factors.

Emission Factors			
Materials	mg/hr-sq. meter	VOC	Time of test
Med. density fiberboard	0.7-2.3	HCHO	higher values are for
Hardwood plywood paneling	0.06-1.4	"	newer materials
Particleboard	0.08-2.0	"	
Urea-form. foam insulation	0.05-0.8	"	
Softwood plywood	0.01-0.03	"	
Paper products	0.01-0.03	"	
Clothing	0.015-0.02	"	
Plywood	1.0	"	"new"
Silicone Caulk	13	TVOC	< 10 hours
	< 2	"	10-100 hours
Floor adhesive	220	"	< 10 hours
	< 5	"	10-100 hours
Floor wax	80	"	< 10 hours
	< 5	"	10-100 hours
Wood stain	10	"	< 10 hours
	< 0.1	"	10-100 hours
Polyurethane wood finish	9	"	< 10 hours
	< 0.1	"	10-100 hours
Floor varnish or lacquer	1	"	< 10 hours
Particle board	0.2	"	2 years old
Chipboard	0.1	"	unknown
Gypsum board	0.03	"	unknown
Wallpaper	0.1	"	unknown
Latex-backed carpet	0.15	4-PC	one week old
	0.08	4-PC	two weeks old
Dry-cleaned clothes	1	PCE	0-1 day
	0.5	PCE	1-2 days

Emissions data for sealants and caulks				
Material	Weight loss, fraction of original sample		Hours to dry completely	Primary VOC
	48 hrs	fully dry		
Butyl rubber	0.05	0.18	430	Aliphatic HC
Acrylic emulsion latex	0.05	0.12	--	TVOC
Silicone	0.02	0.04	480	Xylene
Styrene butadiene rubber	0.14-0.16	0.19-0.35	100-250	Aliph HC, Xylene
Neoprene blend	0.17	0.23	100	MEK, Xylene
Oleoresin	0.01	0.04	2,000	Aliphatic HC
Polysulfide, one-part	0.01	0.06	4,900	Toluene
Acrylic solvent-based	0.03	0.14	1,000	Xylene
Asphaltic, one part	0.01	0.08	4,500	Petrol. HC
Neoprene, one part	0.18	0.33	214	Xylene
Polyurethane, one part	0.01	0.15	8,300	Xylene

■ CO₂ 발생량을 고려한 1인당 환기량(per person ventilation rate)

$$Q_{\text{person}} = S(t) / (C_{\text{eq}} - C_o)$$

$$Q_{\text{person}} = \text{1인당 환기량}(\text{m}^3/\text{hr}/\text{person})$$

$$S(t) = \text{CO}_2 \text{ 발생률 } (\text{m}^3/\text{hr})$$

$$C_{\text{eq}} = \text{평형상태의 CO}_2 \text{ 농도}$$

$$C_o = \text{외기중 CO}_2 \text{ 농도}$$

충분히 많은 근로자가 발생원의 역할을 하는 공간과 CO₂ 수준이 평형상태에 도달하도록 충분히 오래 머무르고 있는 경우에 대해서만 적용된다.

예) 많은 연구에서 외기급기량이 5 - 10 cfm/person일 때 불평과 증상들이 발생하는 것으로 보고되었다. ASHRAE 62-1989 (Ventilation Rate Procedure)는 불평과 냄새문제를 회피하기 위해 최소 회석환기량을 15 cfm/person으로 권고하고 있으며 다양한 거주공간에 따라 최소 외기 급기량을 권고하고 있다. 일반 사무공간에서의 외기급기량은 1인당 20 cfm이다. IAQ 관리를 위해 적절한 외기 회석량을 계산하는 것이 필요하다. 오염된 공기를 인정되는 수준까지 희석시킨다. (인정되는 농도는 이산화탄소의 경우 1000 ppm, 일산화탄소의 경우 9 ppm이다)

$$Q = \frac{S}{C_{\text{eq}} - C_o} = \frac{0.005}{0.0010 - 0.0003} = 7.15 \text{ L/sec} = 15 \text{ cfm}$$

$$Q = \text{환기량}(\text{L/s})$$

$$C_{\text{eq}} = \text{실내 CO}_2 \text{ 농도}(1000\text{ppm}=0.1\%=0.0010)$$

$$C_o = \text{외기 CO}_2 \text{ 농도}(300\text{ppm}, 0.03\%, 0.0003)$$

$$G = \text{CO}_2 \text{ 발생률}(0.005 \text{ L/sec})$$

* ASHRAE 62-1973 및 62-1981은 최소 1인당 환기량을 5 cfm(2.5 L/sec)로 권고하였다. 이것은 CO₂ 농도를 2500 ppm으로 미만으로 유지하기 위한 것이다.

■ 환기(공기치환)횟수(air changes per hour, ACH)

* 환기량(ventilation rate)을 나타내는 고전적인 방법

$$N = Q \times 60 / V$$

또는

$$N = Q \times 3600 / V$$

N = 시간당 공기치환 횟수(ACH)

Q = 환기량, ft³/min 또는 m³/sec

V = 공간체적, ft³ 또는 m³

대부분의 전문가가 환기량은 대개 0.5 ACH(환기횟수)면 충분하다는데 동의하고 있다. 그러나 이것은 계통적인 환기량 평가에 근거한 결과가 아니다. 이것은 전형적인 집들은 실내공기질 문제를 가지고 있지 않으며 이러한 집들은 통기율(infiltration rate)이 약 0.5 ACH이라는 가정에 부분적으로 근거하였다. 라돈, 포름알데히드와 같은 오염물질에 대해서는 실내농도를 측정하여야 하고, 결과로 나타난 농도, 발생량의 정도, 허용기준에 근거하여 환기량을 결정하는 것이 바람직하다.

예) AHRAE은 formaldehyde에 대한 노출기준을 0.1 ppm으로 권고하고 있다. 그러나 일부연구에서는 0.1 ppm 미만에서도 과민성의 급성 증상이 일어난다고 보고하였다. 한편 어떤 연구에서 평균노출이 0.03 ppm에서는 급성중독 발생과 연관성이 없으나 0.045 ppm에서는 연관성이 있는 것으로 보고되었다. 그러므로 포름알데히드의 노출기준을 0.03 ppm으로 간주하도록 하자. 요소-포름알데히드 폼 단열하우스(UFFI)에서의 포름알데히드 노출평가결과 평균 0.12 ppm이었다. 열교환환기시스템을 포름알데히드 농도를 0.03 ppm으로 낮추기 위해 사용한다면, 이를 제공할 수 있는 공기치환률을 알아야 한다. UFFI 하우스연구에서 0.12 ppm에서 0.03 ppm으로 낮추기 위해 최소 0.85 ACH의 공기교환율이 필요한 것으로 나타났다. UFFI 하우스가 면적 1400 ft², 천자높이 8 ft, 전체체적이 11200 ft³일 때, 0.85 ACH를 만족하기 위해 외기 환기량을 얼마로

해야할까?

$$Q = \frac{N \times V}{60} = \frac{0.85 \times 11200 \text{ ft}^3}{60} = 160 \text{ CFM (or 75 L/sec)}$$

Q = CFM(or L/sec)

N = 공기치환율(ACH)

V = 건물 체적, Ft³(또는 m³)

60 =시간을 분으로 바꾸기 위한 변환계수

■ 급기중 외기의 비율(%)

$$\% \text{ OA} = T_{\text{RA}} - T_{\text{MA}} / T_{\text{RA}} - T_{\text{OA}}$$

또는

$$\% \text{ OA} = Q_{\text{OA}} / Q_{\text{SA}} \times 100$$

T_{RA}=순환공기의 온도(건구온도)

T_{MA}= 순환공기와 외기 혼합공기의 온도(건구)

T_{OA}=외기의 온도(건구)

Q_{OA}=외기의 유량(fpm)

Q_{SA}=순환공기와 외기(급기) 혼합 공기의 유량(fpm)

■ Tracer gad 기법에 의한 빌딩 유입 공기량 평가

가. Concentration-decay method

$$N = (\ln C_i - \ln C_a) / t$$

N = 시간당 공기치환회수

C_i =시험시점의 추적가스농도

C_a =시험시점의 추적가스농도

t = 시험초기와 시험종료시점사이 경과시간(시간)

* 추적가스로 실내 CO₂를 사용한 경우

$$N = \frac{\ln [C_i - C_o] - \ln [C_a - C_o]}{\text{hours}}$$

N = 환기횟수/시간

C_i = 조사초기의 CO₂ 농도

C_o = 외기 CO₂ 농도 (약 330 ppm)

C_a = 조사종료시점에서의 CO₂ 농도

hours = 조사초기와 종료시점간 경과시간

* 유량의 추정

$$Q = N \times V / 60$$

Q = 공기유량, cfm, N = 환기횟수/시간, V=실내공간 체적, ft³

나. Constant-emission method

AHU(air handling unit)의 CO₂의 사용에 의한 급기중 존재하는 외기의
% 추정

$$\% \text{ OA} = \frac{(C_{RA} - C_{SA})}{(C_{RA} - C_{OA})} \times 100$$

C_{RA}: 재순환공기(return air)중 CO₂ 농도

C_{SA}: 급기중 CO₂ 농도

C_{OA}: 외기중 CO₂ 농도

HVAC System 관리

Basic Information Checklist for HVAC Systems

- ☐ Plans, drawings, specifications, changes
- ☐ The type of system (VAV, Constant Volume)
- ☐ Which rooms have windows which open?
- ☐ Location of air intakes.
- ☐ Location of AHUs.
- ☐ Percent OA.
- ☐ How is OA percentage determined?
- ☐ How are each of the following controlled (automatic, manual, who, when, how)
- ☐ Fans
 - ☐ OA Damper
 - ☐ RA, SA, fan dampers
 - ☐ Supply terminal dampers
 - ☐ Humidity
 - ☐ Temperature
 - ☐ Air distribution
- ☐ Type of filtration
 - ☐ Arrestance/Dust Spot Efficiency
 - ☐ Filter maintenance
- ☐ What is the maintenance program for each of the following (frequency, how, who, when)
 - ☐ Fan components
 - ☐ Drive components
 - ☐ Filters
 - ☐ Drain pans, traps, valves, nozzles
 - ☐ Dampers
 - ☐ Controls
- ☐ For return air systems (RA)
 - ☐ Location
 - ☐ Plenum or duct
 - ☐ Lining
- ☐ For ducts
 - ☐ Type
 - ☐ Insulation (inside, outside, material)
 - ☐ Inspection, cleaning, repair

※ 미생물오염관리(Burton, 1993)

CHECKLIST FOR REDUCING MICROBIAL PROBLEMS

- ☐ Prevent buildup of moisture in occupied spaces.
- ☐ Prevent moisture collection in HVAC components.
- ☐ Remove stagnant water and slime from mechanical equipment.
- ☐ Use steam for humidifying.
- ☐ Avoid use of water sprays in HVAC systems.
- ☐ Maintain relative humidity less than 70%.
- ☐ Use filters with a 50-70% collection efficiency rating.
- ☐ Find and discard microbial-damaged furnishings and equipment.
- ☐ Remove room humidifiers.
- ☐ Provide preventive maintenance
- ☐ Provide pigeon screens on intakes and exhausts (this will prohibit the contamination of the system by bird droppings, feathers, nesting materials, food, and so forth).

참고문헌

- 김윤신 저: 실내환경 과학, 민음사. 1994.
- 보건복지부. 공중위생관리법. 2001.
- 보건복지부: 공중위생관리법, 법률 제6400호 일부개정 2001.01.29.
- 환경부: 지하생활공간공기질관리법, 법률 제 54224호 제정 1996.12.30
- 환경부: 지하생활공간공기질 관리법 개정 법률안(실내공간공기질관리법), 환경부. 2001.
- Bardana E.J., A. Montanaro: Indoor air Pollution and Health. Marcel Dekker, Inc. 1997.
- Burton D.J.: IAQ and HVAC Workbook. Reynolds Graphics, Inc. 1991.
- Burges H.A and ME Hoyer: Indoor Air Quality. In The Occupational Environment - Its Evaluation and Control. AIHA Press, pp.229-240, 1997.
- EPA: Building Air Quality: A guide for Building Owners and Facility Managers. EPA, 1991
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM), 4th Ed., Edited by P.M Eller, DHHS/NIOSH
- OSHA: Indoor Air Quality. CFR 29 Federal Register 59:15968-16039, 1994
- OSHA. Indoor Air Quality Investigation. In OSHA Technical Manual. OSHA. 1996.