

# 국내·외 실내공기오염 동향

한양대학교 환경 및 산업의학 연구소

김 윤 신 교수/소장

## - 목 차 -

1. 서론
2. 주요 실내 오염물질과 인체의 영향
3. 국내외 실내 공기질 관리현황
4. 실내 공기질의 효율적 관리방안
5. 향후 실내공기 오염연구의 전망

참고문헌

## 1. 서론

실내환경(Indoor Environment)에 대한 관심은 1970년대 이후 산업구조의 대형화를 통해 에너지소비가 급증하여 환경오염이 가중되면서 본격적으로 대두되었다고 할 수 있다. 실내환경중 대표적인 실내공기질(IAQ - Indoor Air Quality)에 대한 문제의 발생배경은 1970년대 이후 각종 산업분야에서 에너지 절감 및 효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 건축물의 에너지 효율을 위한 밀폐화와 에너지 절감장치를 설치하는 건축물의 증가로 인하여 이들 건축물의 실내공기질이 악화되면서 발생되었다.

한편, 다양한 산업기술의 산물인 새로운 건축자재에서 의외의 오염물질이 방출되고, 경제수준의 향상으로 인한 다양한 생활용품 사용의 증가로 새로운 오염물질이 방출되면서 실내공기질이 오염되어 건물내 거주하는 사람들의 건강에 영향을 미치게 되었다. 특히 1970년대 초 선진각국에서 일명 빌딩증후군(SBS - Sick Building Syndrome)을 호소하게 되자 본격적으로 건강위해성과 관련하여 관심을 갖게 되었다(Banaszak, et al., 1970; Kreiss and Hodgson, NRC, 1987). 최근에는 단일화학물질뿐 아니라 복합화학물질의 영향에 의한 MCS(Multiple Chemical Sensitivity) 관련 환자의 진단 및 치료에 관한 연구로 확대되고 있다.

일반적으로 도시인의 경우 1일 24시간 중 85% 이상을 다양한 실내공간에서 생활하는 것으로 보고되고 있다(Dockery et al., 1981). 여기서 실내공간이라 함은 일반가정이나 사무실 뿐만 아니라 실내 작업장, 공공건물, 학교, 병원 상가, 지하 음식점, 각종 교통수단(자동차, 지하철, 택시 등) 및 특수실내공간(비행기, 잠수함, 군사시설 등) 등을 통칭하는데 이와 같은 실내공간의 공기질은 쉽게 오염될 수 있음에도 불구하고 실내공기오염의 현황을 정확하게 파악하지 못하고 있는 실정이다.

미국 환경청(EPA-Environmental Protection Agency)에서는 실내공기오염을 미국이 직면한 가장 시급히 처리해야할 5대 환경문제중의 하나로 보고,

실내공기질에 대한 연구를 적극 권장·지원하고 있다(US EPA, 1990). 또한 미환경청 산하에 실내환경업무를 담당하는 부서(IED-Indoor Environment Division)를 두고 일반 대중에게 가정, 학교, 병원, 대형건물/사무실에서의 공기질에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다.

국내에서는 실내공기오염의 중요성이 처음으로 제시된(김윤신, 1983) 이후 다양한 공기오염 물질의 측정 결과를 토대로 환경청의 지하생활 공간 공기질 관리 권고 기준이 1989년에 설정되었으나 일반실내환경인 가정집과 사무실 등을 대상으로 체계적으로 장기간에 걸쳐 조사한 연구는 매우 드물다(1984, 김윤신). 또한 대부분의 조사연구에서 측정대상물질은 기준이 설정된 몇몇 오염물질에만 국한되어 있어 다양한 양상을 나타내는 실내환경의 공기질을 파악하고 평가하기에는 그 자료가 매우 부족한 실정이다.

따라서 본고에서는 실내공기질 연구에 관한 국내외 동향 및 전망과 관리방안에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 주요 실내오염물질과 인체의 영향

일반가정을 비롯한 공공사무실건물, 병원, 학교 등 다양한 실내공간의 공기질을 오염시킬 수 있는 주요물질로는 라돈, 포름알데히드, 미세먼지, 석면, 각종 연소가스, 담배연기, 미생물성 물질, 휘발성 유기화합물질 등이 있다. 이들 오염물질이 건축자재(단열재, 내화재 등), 생활용품(각종 살포제, 플라스틱 제품, 페인트, 공기정화제, 가습기 등), 흡연 등에 의해 방출되어 알레르기성 질환 및 호흡기질환등을 유발시키며 심지어 발암성을 나타내기도 한다. 또한 외부에서 실내로 유입되는 각종 오염물질로 인해 실내의 공기는 더욱 악화되고 인체 위해성도 더욱 가중시키고 있다.

## 1) 호흡성분진(PM-10)

호흡성 분진이란 일반적으로 직경이  $10\mu\text{m}$  미만의 입자를 말하며,  $2.5\mu\text{m}$ 미만의 미세입자와  $2.5\mu\text{m}$ 이상의 거대입자로 분류할 수 있다. 미세입자는 인간이나 동물이 호흡할 때 폐 깊숙히 침투하기 때문에 대기오염 뿐만 아니라 실내오염분야에서도 중요한 위치를 차지한다. 특히 미세입자중  $0.3\sim 1.0\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 입자는 시야를 감소시키는 주된 오염물질이다. 미세입자는 가벼운 중량 때문에 공기중에서 수일 때로는 수주일 부유한다. 이에 비해 거대입자는 수분 또는 수시간 내에 지면에 낙하하게 된다. 미세입자의 또다른 중요성은 중금속 농축에 관한 것이다. 질량이 같을 경우 입자의 크기가 작아짐에 따라 표면적이 급속히 증가하기 때문에 입자가 유해 중금속 성분을 포함하고 있을 경우 그 중금속의 농축정도는 급격히 증가하게 된다. 따라서 분진의 크기별 분류는 매우 중요하게 생각하고 있다.

호흡성분진은 인간이 호흡을 계속할 경우 폐의 기관지 또는 폐포 부위에 침착하기 쉬워 인체에 직접적인 영향을 미치는 물질로써 실내공기의 오염정도를 판단하는 중요한 지표로 사용되고 있으며, 분진의 크기가 작아지면 작아질수록 인체에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 조사되고 있다. 아울러 분진 내에 중금속이 포함되어 있을 때, 건강에 미치는 영향은 더욱 증가한다.

## 2) 라돈(Radon, Rn-222)

라돈은 약 70종의 방사선 물질 중에서 호흡하기 가장 쉬운 물질로 실내 라돈의 주 오염원은 건물지반이나 주변토양, 광석, 상수도 및 건물자재, 그리고 요리나 난방 목적으로 사용되는 천연가스 등이 있고 건물의 균열, 연결부위, 혹은 배수관이나 오수관, 전기·가스·상하수도 주변의 틈을 통해서 실내로 유입된다. 라돈의 붕괴 생성물은 생성된 후 공기 중에서 짧은 시간동안 화학적으로 매우 활성적인 양이온 상태의 미흡착핵종으로 남아있거나 곧 주변의 미세먼지 또는 수증기에 흡착된다. 또 구조물의 면, 또는 바닥에 침적, 부착되며 실내의 물리적인 환기 등에 의하여 실내에서 제거된다. 그러나 라돈붕

과 생성물의 흡착률, 침적률이나 제거율은 동일한 실내에서도 공기중 라돈과 미세입자의 농도, 미세입자의 크기, 실내의 환기와 습도, 실내용적과 표면적과의 비율등에 의하여 달라진다.

미국의 국립방사능방어 및 측정위원회(NCRP)에서는 미국내 연간 13만 명의 폐암사망자중 약 5,000명~20,000명이 주택 내에서 발생한 라돈가스에 폭로된 영향으로 인하여 사망한 것으로 시사되고 있다. 이같이 라돈에 의한 폐암 발병 위험성이 높은 데에도 불구하고 현재 국내에서는 라돈에 대한 규제가 전혀 없고 라돈의 실내공기오염에 대한 연구나 조사도 거의 이루어지고 있지 못한 상태이다. 이에 반하여 미국 환경청에서는 라돈을 실내환경오염규제대상물질 중 제1의 우선 순위로 정하여 라돈에 대한 규제법안이 발효되고 있는 형편이다. 또한 라돈에 관한 「시민가이드(A Citizen's Guide to Radon)」을 편찬하여 일반인에게 라돈의 위험성을 알리고 있으며, 「학교내 라돈(Radon in School)」을 편찬하여 학생, 교사 및 학부모들에게 학교 내 라돈 문제에 대하여 알리고 있다.

### 3) 휘발성 유기화합물(VOCs - Volatile Organic Compounds)

일명 유기용제로 통칭되는 휘발성 유기화합물이란 피용해 물질의 성질을 변화시키지 않고, 문자 그대로 어떤 물질을 녹일 수 있는 액체상 유기화합물질을 말한다.

실내에서의 휘발성 유기화합물의 발생원은 건축 재료, 세탁용제, 페인트, 살충제, 접착제 등을 들 수 있다. 휘발성 유기화합물은 그 사용용도가 광범위하기 때문에 선진국에서는 미생물성 물질과 휘발성 유기화합물을 중요한 실내 오염물질로 취급하여 관련연구를 진행하고 있다.

#### 4) 석면(Asbestos)

석면은 천연에 존재하는 광물섬유로서 그 종류는 다양하고 주로 내화·내열성 건축자재로 석면타일, 석면시멘트, 보온재 등의 형태로 많이 사용되고 있다. 공기 중 석면은 섬유형태의 미세한 가루로서 방출되어 쉽게 체내로 흡입되어 폐 속으로 들어가 섬유조직의 증식을 유발시킨다. 석면가루에 폭로될 경우 피부질환, 호흡기질환을 유발시키고 특히 직업적으로 폭로되었을 경우는 석면증(Asbestosis) 또는 폐암을 발생시키는 확률이 높은 것으로 알려져 있다. 석면은 국내에서는 규제가 제대로 되지 않으나 미국에서는 석면이 함유된 건축물에 대해서는 건축허가를 내주지 않는 한편 오래된 건물 속의 석면자재는 제거하거나 다른 건축자재로 대처하는 작업을 시행하고 있다.

우리 나라의 경우는 1992년부터 석면 제거 작업을 하고 있고 현행 건축법상에서 신축건물의 경우 규제대상 물질로 규정하고 있다.

#### 5) 포름알데히드 (Formaldehyde)

포름알데히드(HCHO : formaldehyde)는 자극취가 있는 무색의 기체로 일반 주택 및 공공건물에서 많이 사용되는 단열재인 건축자재 (UFFI : urea-formaldehyde foam insulation) 이외에 실내용구의 칠, 가스난로 등의 연소과정, 접착제, 흡연, 의약품 등에서 발생하는 것으로 조사·보고 되고 있다. 포름알데히드의 농도는 신축건물에서 일반적으로 높게 나타나며 조리, 흡연, 벽난로, 기타 난로(heater) 등에서도 방출된다.

실내공간상에서 포름알데히드 농도는 온도, 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우된다. 방지대책의 적용은 단기적으로 환기시설의 유무 및 설비를 점검하며 환기시설의 운용을 철저히 하여야 한다. 한편, 장기적으로는 환기설비 용량의 적정성 여부 및 운용상태를 수시로 점검하여야 한다.

포름알데히드(HCHO)의 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 다르게 나타나는데 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이고 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다. 또한 유전적 변이원성을 나타내며 호흡기성 질환,

알레르기성 질환, 중추신경성 질환, 폐수종 및 폐간질염, 여성의 월경 불순을 일으키는 것으로 조사되었다. 장기간 포름알데히드에 노출되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신 집중의 곤란 등을 나타냈다. 그러나 포름알데히드의 폐암 발생과 돌연변이성 영향과의 관련성에 대해서는 논란의 여지가 많은 것으로 보고되고 있다.

#### **6) 환경담배연기(ETS-Environmental tobacco smoke)**

흡연이 인체에 미치는 영향을 살펴보면 흡연시 발생하는 각종 가스, 먼지가 흡연자의 호흡기질환, 폐질환, 심장질환, 폐암을 유발시키는 것으로 나타났다. 환경담배연기는 정신집중력이 떨어지고 두통, 피로감 등의 증상이 나타나 작업능률 저하의 원인이 되기도 한다. 미국에서는 연간 30만 여명의 어린이들이 간접흡연에 의하여 호흡기성 질환을 일으킨다고 보고하고 있다. 환경담배연기는 국내외적으로 논란의 여지가 많으나 미국에서는 거의 모든 작업장에서 금연하는 법안이 생성되었으며 최근에는 마약으로까지 규정하고 있다. 우리나라의 경우에 학생들의 흡연이 그 심각성을 더해가고 있으며, 더욱 문제시 되는 것은 점차 연령층이 낮아지고 여학생의 흡연률이 급증하는 데 있다.

#### **7) 미생물성 물질**

실내공기중의 미생물성 물질인 세균, 곰팡이, 각종 알레르기성 물질, 화분, 식물의 흄씨 등은 일반가정에서 유용되는 생활용품이나 생활환경에서 방출되고 있다. 예로서 각종 살포제, 플라스틱 제품, 페인트, 악취제거제, 접착제, 공기정화기, 냉장고, 가습기 등은 실내 공기 중에 오염물질을 방출하고 있다. 이와 같은 오염물질은 알레르기성 질환, 호흡기 질환을 유발시키며 상기한 생활용품은 때로는 폐결핵 등과 같은 전염성 질환을 옮기는 매개체 역할을 한다고 할 수 있다.



## 8) 집먼지 진드기

최근에는 집먼지 진드기의 연구가 활성화되고 있다. 이 진드기는 10~35℃의 온도, 50~80%의 습도 및 실내 먼지중의 유기물이 있으면 빠른 성장을 보인다. 집먼지, 진드기류의 발생원이 되는 장소는 다다미, 융단, 방석, 커튼 등과 같이 숨어들 수 있는 장소에 습도가 적당하며 비듬, 땀, 곰팡이 등 먼지가 있는 곳이다. 바닥판은 집먼지 진드기류가 숨어들지 못하므로 발생원은 될 수 없으나 만약 청소를 소홀히 해 보푸라기(먼먼지)등이 쌓이면 주요 발생원이 될 수 있다. 교실 내의 환경은 집먼지 진드기의 번식이 적합한 환경이므로 청소 및 세탁 같은 적절한 관리 대책이 요구된다.

집먼지 진드기의 충체는 건조, 가열, 청소과정을 통해 사멸시킬 수 있다. 따라서 외부의 건조공기로 실내를 환기시키면 발생원 표면의 진드기 수는 감소하고 살아있는 집먼지 진드기는 열에 약하므로 50℃에서 20분간 노출되면 사멸한다. 또한 충격에도 약해 200W인 청소기로 빨아들이면 70%이상이 사멸되며 350W청소기로는 90%이상이 사멸되므로 먼지봉투에 살충제를 사용할 필요는 없다.

## 9) 악취

냄새는 사람의 개인차에 따라 다르므로 객관적인 평가는 어렵다. 그러나 냄새는 사람의 체취, 피부나 점막의 분비물, 화장품, 의류, 인쇄물, 접착제, 페인트칠, 잉크, 건축자재, 식품의 부패 등의 물질에서 발생하는 것과 복합적으로 나타나는 것으로 나눌 수 있다.

## 10) 중금속

부유분진중 크기가 작은 미세분진(PM<sub>10</sub>:호흡성 분진)에는 실내대기중의 중금속 입자가 흡착·농축되어 고농도의 중금속을 함유하고 있다. 실내 대기중의 부유입자가 유해중금속 성분을 함유하고 있을 때, 그 중금속의 농축정도는 급격히 증가하는데 이것은 식물 및 인체에 크게 영향을 미친다. 주요 중

금속으로는 수은, 카드뮴, 납, 크롬, 구리, 비소 등이 있고 발생원으로는 건전지, 잉크, 온도계, 페인트 및 플라스틱의 안료 등이 있다. 또한 지하생활공간 중 지하철 역사에서는 열차의 운행으로 인한 철(Fe)과 구리(Cu)와 같은 중금속 fume의 발생이 많아 이와 같은 입자들이 미세먼지 표면에 흡착되는 것으로 일반적으로 인식되고 있다.

주요 실내오염물질의 발생원과 인체에 미치는 영향은 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 실내공기 오염물질 발생원 및 건강영향

오염물질	발생원	인체영향
분진	대기 중 분진이 실내로 유입, 실내바닥의 먼지, 담뱃재 등	규폐증, 진폐증, 탄폐증, 석면폐증 등
담배연기 (각종 가스, HC, PAH, 분진, HCHO, 니코틴 등)	담배, 파이프담배 등	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지천식, 폐암 등
연소가스 (CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> 등)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성 폐질환, 기도저항 증가, 중추신경 영향 등
라돈 (라돈가스의 부산물)	흙, 바위, 물, 지하수, 화강암, 콘크리트 등	폐암 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재(UFFI), 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감 등	눈, 코, 목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 정서불안, 기억력상실 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 석면, 브레이크, 방열재 등	피부질환, 호흡기질환, 석면증, 폐암, 중피종 등
미생물성물질 (곰팡이, 박테리아, 바이러스, 꽃가루 등)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물, 해충, 인간 등	알레르기성 질환, 호흡기질환 등
집먼지 진드기	섬유제품(커튼, 의류, 이불, 방석 등), 다다미, 융단 등	알레르기성 천식, 비염, 결막염, 아토피성 결막염 등
유기용제 (에스테르, 알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용 등
악취	외부의 악취가 실내로 유입, 담배의 흡연 등	식욕감퇴, 구토, 불면, 알레르기, 정신신경증 등

### 3. 국내외 실내 공기질 관리현황

#### 3.1 국내 실내 공기질 관리현황

현재 2000년 9월말 우리나라의 실내생활공간에 대한 관리업무는 <표 2>과 같으며 5개 부처로 분산되어 대상시설을 각각 관리하고 있다. 즉, 터널, 지하선로, 지하연결통로는 건설교통부에서, 학교와 학원의 환경조건은 교육부에서, 작업장은 노동부에서, 공중이용시설은 보건복지부에서, 지하역사와 지하상가는 환경부에서 서로 부분적으로 관리를 해왔으며, 2000년 현재 건설교통부에서는 실내공기질을 관리하지 않고 있다.

<표 2> 각 부처별 관련법규

관련부처	관련법 (시행령, 시행규칙, 년도)	관리내용
건설교통부	도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 (1995. 7. 1)	- 도로의 계획교통량·설계속도 및 터널의 길이 에 따른 터널내 환기시설 및 조명시설 설치. (제33조)
	도시철도건설규칙 (1994. 5. 9)	- 지하공간의 크기, 도시철도의 운행계획, 이용 객의 편의등을 고려한 지하선로내 적절한 환기설비 설치. (제44조)
	지하도로시설 기준에 관한 규칙 (1999. 1. 15)	- 지하도로와 연결되는 건축물의 지하층과의 접속부에 적절한 채광시설 및 환기설비를 갖춘 계단홀을 설치. (제11조)
교육부	학교보건법 (1998. 12. 31)	- 교사안에서의 환기·채광·조명·온습도등의 조절 (제4조)
	특수학교시설·설비 기준령 (1998. 11. 3)	- 학교의 교지는 교사의 안전·방음·환기· 채광·소방·배수 및 학생의 통학에 지장이 없는 입지이어야 함. (제2조)
	학원의 설립·운영에 관한 법률시행령 (1995)	- 적절한 채광시설, 환기시설 및 냉·난방시설 설치 및 야간교습을 하는 학원에 대한 조명 시설 기준 제시. (제9조)
노동부	산업보건기준에 관한 규칙 (1997. 12. 31)	- 작업장에서의 환기설비 설치, 적당한 채광 유지, 적합한 조도 기준, 온도조절 제시. (제13, 14, 15, 16, 17조)
보건복지부	공중위생 관리법 (2000. 1. 12)	- 오염물질의 종류와 오염허용기준 제시(제5조)
환경부	지하생활공간 공기질 관리법 (1996. 12. 30)	- 규제기준 7개 항목 및 권고기준 7개 항목 (제5조) - 검사기관 지정 (제8조) - 지하시설 관리자 지정 (제8조)

환경부와 보건복지부의 관계법령을 비교해 보면 <표 3>과 같다. 환경부는 1996년도에 제정된 지하생활공기질관리법에 그리고 보건복지부는 최근 개정된 공중위생관리법에 의거하여 각 대상시설에 대한 실내공기질 관리업무를 수행하고 있다. 또한 국내주요 실내공기질의 규제기준 및 권고기준을 비교하여 살펴보면 아래 <표 4>와 같다.

국내 실내공기질관리에 대한 변천을 살펴보면 1986년 5월에 보건복지부(공중위생법)에서 공중이용시설에 대한 실내공기질의 위생적 관리를 위하여 7개 항목(먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 기류, 온도, 습도, 조명)에 대한 위생관리 기준을 개정하였고 1992년 6월에 건설교통부(건축설비기준법)에서 환기설비의 공급공기질의 관리를 위하여 보건복지부의 공중이용시설에 대한 기준과 유사한 5개 항목(먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 기류, 습도)에 대한 관리기준을 정하였고, 환경부에서는 1989년에 지하생활공간 관리 권고기준을 설정한 후, 1996년 12월에 지하역사, 지하상가를 대상으로 7개 물질(먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화황, 이산화질소, 포름알데히드, 납)에 대하여 규제기준을 정하여 관리하고 있다. 현재 건설교통부의 건축설비기준은 현재 폐지된 상태이며, 보건복지부의 공중위생법은 1999년 2월 8일부로 공중위생관리법으로 개정되어 1999년 8월 9일부터 시행하고 있으며, 2000년 1월 12일부로 일부 개정되었다. 이밖에도 교육부와 노동부에서 학교와 작업장을 대상으로 부분적으로 관리를 하고 있다.

<표 3> 환경부와 보건복지부의 실내공기질 관련 법규의 비교

구분	환경부	보건복지부
관계법령	지하생활공간 공기질관리법	공중위생관리법
제정년도	96. 12. 30	2000. 1. 12 (2000. 7. 12 시행)
법성격	규제기준	규제기준
제정목적	지하생활공기질의 적정관리	공중이용시설에 대한 실내공기질의 위생적관리
	<시행령 제 2조>	<시행령 제 3조>
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하역사 (출입통로·대합실·승강장 및 환승통로와 이에 부대되는 시설을 포함)</li> <li>- 연면적 2천제곱미터이상인 지하도상가 (지상건물에 부속된 지하층의 시설 제외)</li> </ul> <p>※ 환경부장관은 지하역사 및 지하도상가이외의 지하시설 (지하보·차도 및 터널등 국가 또는 지방자치단체가 설치·관리하는 시설을 말한다)에서의 쾌적한 공기질의 유지를 위하여 지하공기질권고기준을 정하여 고시할 수 있음.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연면적 3천제곱미터이상의 사무용 건축물 및 연면적 2천제곱미터이상의 복합건축물</li> <li>- 객석수 1천석이상의 공연장</li> <li>- 연면적 2천제곱미터이상의 학원</li> <li>- 매장면적 3천제곱미터이상의 대규모 점포 및 연면적 2천제곱미터이상의 지하상가(지하생활공간공기질관리법의 적용대상 시설은 제외)</li> <li>- 연면적 2천제곱미터이상의 결혼예식장</li> <li>- 1천명이상의 관객을 수용할 수 있는 실내체육시설</li> </ul>
기준물질	- 7개 규제기준항목 (PM <sub>10</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HCHO, Pb)	- 4개 항목 (PM <sub>10</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , 실내 공기 정화시설 안의 퇴적분진량)
보고자 및 보고횟수	- 지하시설 관리자 - 연1회(매년 7/31일까지)	- 위생관리 담당자 - 연 2회(상·하반기 각 1회)
벌칙	- 지하공기질기준을 준수하지 아니한 자는 500만원이하의 과태료에 처함.	- 위생관리기준을 지키지 아니한 자가 개선명령을 따르지 않을 때 300만원 이하의 벌금에 처함.

<표 4> 국내 주요 실내공기질의 규제기준 및 권고기준 (2000년 10월 17일 현재)

항 목	환 경 부	보건복지부
	지하생활공간 공기질관리법	공중위생관리법
미세먼지(PM <sub>10</sub> )	24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
일산화탄소(CO)	1시간 평균치 25 ppm이하	1시간 평균치 25 ppm이하
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	1시간 평균치 1,000 ppm이하	1시간 평균치 1,000 ppm이하
아황산가스(SO <sub>2</sub> )	1시간 평균치 0.25 ppm이하	-
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	1시간 평균치 0.15 ppm이하	-
포름알데히드 (HCHO)	24시간 평균치 0.1 ppm이하	-
납(Pb)	24시간 평균치 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	-
실내 공기정화시설 안의 퇴적분진량	-	5g/m <sup>2</sup> 이하

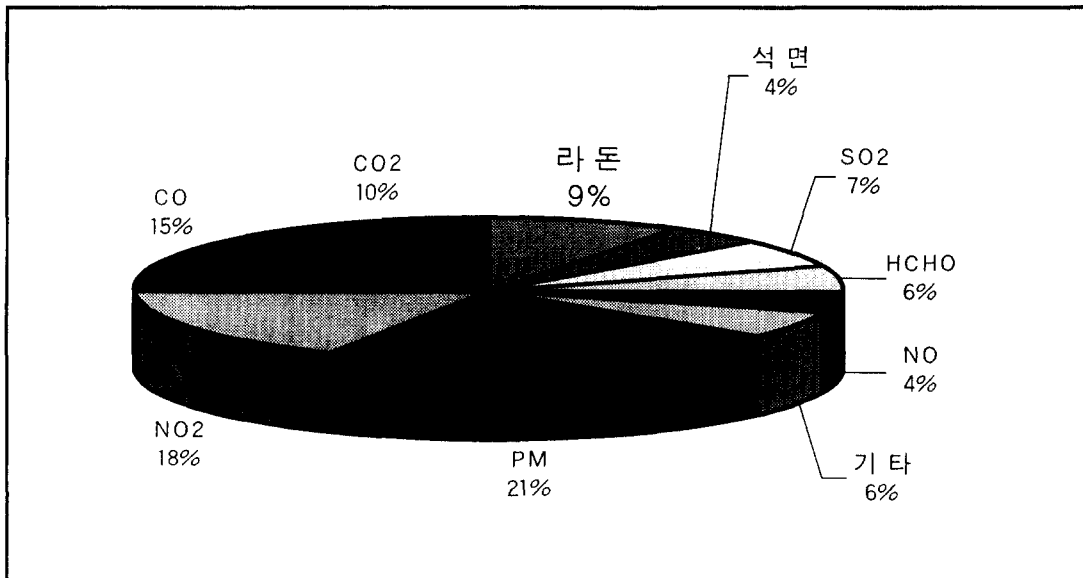
<sup>1)</sup> 권고기준

\* 지하생활공기질관리법의 경우, PM<sub>10</sub>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 적용한다.

### 3.2 국내 실내 공기질 연구 동향

국내에서 1990년 이전에는 실내공기오염의 측정이 주로 이산화질소 농도의 측정방법과 개인용 측정기구를 이용한 주택 (거실, 주방) 농도, 실외농도 및 개인 노출량을 제시하였다. 또한 극소수의 연구진에 의해 연구가 진행되었고, 일반시민들의 관심으로 인하여 지하환경의 중요성이 부각되어 다양한 공기오염 물질의 측정 결과를 토대로 환경청의 지하생활 공간 공기질 관리 권고 기준이 1989년에 설정되었다.

실내공기오염물질별 조사의 연구 동향을 아래 <그림 1>에서 보면, 1980년대 말부터 1990년대 중반까지는 대부분 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소, 이산화황, 먼지(TSP)등 몇몇 오염물질에 관한 조사가 부분적으로 수행되어져 왔으나, 최근에는 휘발성유기화합물질(VOCs), 환경담배연기(ETS), 중금속(Heavy Metal), 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 석면(Asbestos), 다환방향족탄화수소(PAHs), 미생물, 라돈등 특수 또는 미량의 유해오염물질에 대한 조사가 보고되고 있다. 특히 지난 10여년간에 수행된 국내 실내공기질 연구결과를 주요 문헌고찰을 통해 실내공기오염물질별로 보면 국내에서는 PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 등을 중심으로 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다.



<그림 1>. 국내 실내공기오염관련 연구의 대상물질분포

### 1) 일반 주택

주택의 실내공기질에 관한 연구결과를 보면, 서울 지역을 대상으로 측정 항목으로는 주로 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 등이었으며 CO<sub>2</sub>를 제외하고는 기준치보다 낮은 경향을 보였다(강미옥, 1994).

### 2) 사무실

사무실내의 실내공기질의 연구사례를 보면 서울, 울산지역 사무실을 대상으로 PM<sub>10</sub>과 CO, CO<sub>2</sub>를 조사한 결과 평균농도가 PM<sub>10</sub>은 38.22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 CO는 3.28 ppm, CO<sub>2</sub>는 556.9 ppm 나타나 환경부 지하생활공간 공기질 기준치 이하인 것으로 조사되었다(보건복지부, 1998). 또한 타 연구결과에서는 PM<sub>10</sub> 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO 1.83 ppm 이었고 NO<sub>2</sub>는 17.82 ppb, 미생물중 총세균은 590.66 CFU/m<sup>3</sup>, 진균류는 36.81 CFU/m<sup>3</sup> 이었다(환경 및 산업의학연구소, 1995).

또한 도시지역의 흡연구역이 있거나 흡연을 허가하고 있는 건물내에서의 환경흡연에 관한 연구결과에서 PM<sub>10</sub>이 기준치 이상의 농도를 보여 주어 사무실내에서의 ETS에 대한 문제점이 제시되었다(윤영훈, 1995).

### 3) 공중이용시설

부산지역 지하상가를 대상으로 SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TSP, 중금속 등을 측정한 연구결과 CO는 1.395 ppm, NO<sub>2</sub>는 0.040 ppm, SO<sub>2</sub>는 0.136 ppm 그리고 TSP는 154  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 나타낸다. 그 중 TSP가 높은 농도를 보이는데 이는 인구 밀도가 높은 부산지역의 지하상가의 이동 인구나 여러 가지 요인으로 생성되는 부유분진을 고찰하는 자료가 될 수 있음을 보여 준다(이채언, 1989). 타 연구에서는 PM<sub>10</sub>은 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO<sub>2</sub>는 975.85 ppm으로 나타났다. CO<sub>2</sub>의 경우 기준치를 초과하지는 않았지만 매우 높은 농도를 나타내었다(보건복지부, 1998).

서울지역의 백화점을 대상으로 조사한 연구에서는 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HCHO, TSP,



미생물을 측정된 결과 CO<sub>2</sub> 779 ppm, NO<sub>2</sub> 40 ppb, HCHO 0.16 ppb 이었고 TSP는 0.023 mg/m<sup>3</sup>, 미생물은 진균류가 297 CFU/m<sup>3</sup>, 총세균이 1622 CFU/m<sup>3</sup>로 나타났다(녹색생명운동, 1995).

국내 실내공기오염관련 연구들의 대부분은 그 내용상 실태파악과 현황조사가 주류를 이루었으며 발생원의 통계적인 분석이나 추적기법을 이용한 분석 기법은 매우 미진한 것으로 시사된다.

#### 4) 지하환경

서울지역 지하철역사를 대상으로 조사한 보고서에서 PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HCHO, TSP, 중금속, 라돈, 석면을 측정된 결과, PM<sub>10</sub>평균농도의 경우 대합실 126.4 μg/m<sup>3</sup>, 승강장 172.8 μg/m<sup>3</sup>로 기준치(150 μg/m<sup>3</sup>)를 초과하였다. CO<sub>2</sub>의 경우 대합실은 584.25 ppm, 승강장은 466.25 ppm을 나타내어 기준치(1,000 ppm) 보다 낮았다. NO<sub>2</sub>는 대합실 30 ppb, 승강장 25.7 ppb로 기준치(150 ppb)보다 낮았고, HCHO의 경우 대합실 22.78 ppb, 승강장 24.33 ppb로 기준치(100 ppb)에 못 미치는 수준이었다. TSP는 대합실 206.5 μg/m<sup>3</sup>, 승강장 235.5 μg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 중금속 중 Fe의 경우 대합실은 19.09 μg/m<sup>3</sup>, 승강장은 37.15 μg/m<sup>3</sup>, Cu의 경우 대합실은 0.49 μg/m<sup>3</sup>, 승강장은 0.88 μg/m<sup>3</sup>로 나타났고, 라돈의 경우 대합실은 1.97 pCi/L, 승강장은 0.88 pCi/L로 나타났으며, 석면의 경우 대합실은 0.003 fiber/cc, 승강장은 0.002 fiber/cc로 나타났다(지하철공사, 1998).

#### 5) 학교

서울지역의 8개 학교를 대상으로 한 조사 보고서에 따르면 PM<sub>10</sub>의 경우 최고 289.93μg/m<sup>3</sup>, 평균 273.62μg/m<sup>3</sup>로, CO는 최고 8.90ppm, 평균 7.79ppm 조사되었다. 그리고 CO<sub>2</sub>의 경우는 최고 1,601ppm, 평균 922ppm으로 나타났다. CO<sub>2</sub>의 최고농도가 이처럼 높게 나타난 이유는 측정지점의 위치 조건이 자연 환기가 거의 이루어지지 않는 지점으로 지역적 영향이 큰 것으로 사료된다.

각 국의 실내온도에 관한 기준을 보면 한국의 경우 18℃ 이상으로만 제시되어 있으나 일본과 미국의 경우는 10~30℃, 19.5~21.7℃로 실내 온도의 최저점과 최고점이 함께 제시되고 있다. 또 일본과 미국의 경우 여름철과 겨울철로 구분하여 실내온도조건을 제시하고 있으며 교사내의 쾌적한 공기조건을 위해 실내온도 외에 실내공기질에 영향을 미치는 제한요소들에 대하여 상세한 기준을 설정하고 실내공기의 오염문제를 해결하기 위해 환기 및 난방에 관한 규정도 하고 있음을 알 수 있다.

## 6) 기타

터널내 실내공기질 관련 연구를 살펴보면 서울 지역과 대구 지역 터널을 대상으로 수행된 연구에서 서울지역 터널 연구에서는 측정 항목이 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Pb 등이었고 CO가 14.6 ppm, SO<sub>2</sub>는 0.11 ppm, NO<sub>2</sub>는 1.242 ppm, 그리고 Pb는 8.224  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이었으며 환경부에서 제시하는 기준치( CO : 25 ppm, SO<sub>2</sub> : 0.25 ppm, NO<sub>2</sub> : 0.15 ppm, Pb : 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 보다 NO<sub>2</sub>와 Pb는 다소 높게 나온 반면(김민영, 1989), 대구지역 터널 연구에서는 측정 항목이 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>이고 측정 결과는 CO가 8.3 ppm, CO<sub>2</sub>는 790 ppm, NO<sub>2</sub>는 0.893 ppm으로 기준치(CO<sub>2</sub>- 1000 ppm)보다 낮게 조사되었다(백성욱, 1998).

## 3.3 국외 실내 공기질 관리현황

### 1) 미 국

미국의 경우는 EPA에서 대기환경기준을 담당하고 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)와 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 주로 작업환경조건에 대한 환경기준을 규정하고 있다. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.)에서는 ASHRAE Standard 55 1992에서 재실자를 위한 온열환경조건을, 그리고 Standard 62 1989에서 실내공기의

질이 고려된 실내 공기환경 유지를 위한 환기규정을 제시하고 있다.

ASHRAE Standard 62 1989에서는 허용 공기 환경기준을 재실자의 80% 이상이 만족하고 있으며, 취기가 있는 오염물질의 경우에 적어도 비전문가가 20명 이상 포함된 평가집단의 80% 이상이 대상공간에 들어가서 15초 이내에 답변한 평가의 결과가 만족스러운 것일 때 허용가능한 실내공기 환경으로 정의하고 있다.

미국 환경청은 12실이 있으며 대기 및 방사선실(OAR : Office of Air and Radiation)은 6개국으로 세분되어 있다. 6개국 중 실내환경 담당부서는 방사선 및 실내공기(ORIA : Office of radiation and indoor air)국으로 기능은 실내오염물질과 방사능 노출로 일반시민과 환경을 보호하는 것으로 규정하고 있다.

ORIA안에 실내오염물질들의 영향에 대한 연구와 실내오염분야의 발전 및 정책기구를 정하는 실내환경과(IED : Indoor Environments Division)가 있으며 실내환경업무의 실질적 행정담당 부서라고 볼 수 있다. 현재 IED는 21개 연방정부기관들로 구성된 실내공기질위원회(CIAQ : Committee for Indoor Air Quality)에서 수행되는 모든 활동들을 선도하고 있다. 방사선 보호과(RPD : Radiation Protection Division)는 두개의 실험실로 구성되어 있으며 방사선 및 실내환경 국립 실험실(Radiation and Indoor Environments National Laboratory)은 그 중 한 개 실험실이다. 실험실은 다시 3개의 센터로 구성되어 있다. 그중 실내환경센터(CIE : Center for Indoor Environments)는 실내환경의 공기질관리를 통해 쾌적함과 생산성을 도모하며 안전하고, 위생적이며, 생산적인 실내환경을 지키는 것을 목적으로 하고 있다.

EPA에서는 학교의 IAQ 관리를 위하여 다음과 같은 10단계를 제시하고 있다

- IAQ 관리자의 선출 → IAQ 관리자의 교육 → IAQ 관리자의 직위(권위) 보장 → 라돈에 관한 정보 획득 → 학생들의 전염병관리에 대한 정보 획득

→ 남에 대한 정보 획득 → IAQ 점검표 작성 → IAQ 악화방지를 위한 계획  
 → IAQ 관련 협회 및 기관들에게 정보의 통보 → 적절한 IAQ 정책의 수립

## 2) 일본

우리나라와 유사한 일본은 건축기준법, 빌딩위생관리법, 학교보건법 등에서 생활환경기준치가 제정되어 있고 대기환경보전법에 외기 환경을 규제하고 있으며, 노동안전위생법, 사무소 위생규칙 등에서 노동환경 기준치가 제정되어 있다.

일본의 후생성은 11국 4부로 이루어져 있으며, 후생성의 11국 중에서 생활위생국은 생활의 안전성과 쾌적을 목표로 하고 있다. 생활위생국은 우리들이 말하는 식품 이외에 가정용품, 화학물질의 안정성 확보 대책, 일상 생활에 긴밀한 음식점, 여관, 흥행장소, 클리닝, 공중 목욕탕등의 환경위생 관계영업의 진흥 시책, 건축물의 환경위생 확보 등, 쾌적한 생활환경의 확보 업무등을 주로 담당한다.

다음의 <표 5>를 보면 미국과 일본의 대략적인 실내공기질 관리현황을 알 수 있다.

<표 5> 미국과 일본의 실내공기질 관리현황

구분	미국	일본
관리현황	* 노동부 안전보건국(Occupational and Health Administration : OSHA) - 작업장 내 공기오염도에 대한 허용 기준 제정	* 건설성 : 건축기준법 - 지하시설에 대한 건축규제 및 환기 규제
	- 지하주차장, 상가 등 지하공간에 대한 공기오염도 규제 미설정	* 위생성 : 건축물에 있어서의 위생적 환경의 확보에 관한 법률 - 국내 공중위생 관리법 규제기준과 같음
	* 환경청 실내환경 권고기준(석면) : 0.01개/cc	* 노동성 : 지하상가 노동대책 요령 - 지하상가의 작업환경 및 노동조건에 대한 사항 규정

### 3) 독일

독일 연방정부 산하에 환경부가 있으며 그 아래 환경청, 자연보호청, 방사성관리청 등 3개 기관으로 나누어진다. 3개의 기관 중 환경청은 청장, 부청장, 환경위원회의 귀속 부서로 다섯 개의 부서가 있다. 다섯 개의 부서는 Administrative Centre, Subject Area I, Subject Area II, Subject Area III, Subject Area IV가 있으며 이중 Subject Area II에서는 환경연구, 환경질의 목표 관리, 위생관리, 쾌적한 온열조건유지 및 관리의 업무를 수행하고 있으며 위생관리업무에서 실내공기질을 관리하고 있다.

### 4) 덴마크

덴마크의 경우 노르웨이를 비롯한 많은 유럽국가들과 같이 WHO에서 1987년 제정한 '유럽의 실내공기 환경 지침서(Air Quality Guidelines for Europe)'에 근거하여 기준을 설정하고 있으며, WHO는 이 기준을 실내공기 환경과 건강측면의 여러 연구결과의 축적된 증거자료를 참고로 1997년 개정안을 제시하였다.

덴마크 환경보호부는 6개 과와 3개의 위원회로 이루어져있다. 이중 실내공기 오염관리는 환경보호청에서 담당하고 있다. 최근 Denmark를 위시한 서구 환경선진국에서는 실내공기질을 악화시키는 실내오염원의 원천적 제어를 위한 건축자재와 설비의 기준강화를 통하여 VOCs, PAHs, Radon, HCHO, Asbestos등과 같은 물질의 실내 배출원을 엄격히 통제하는 제도적 방안을 모색·실시 중이다. 덴마크에서 시행하는 ICL(Indoor Climate Labelling)은 처음에는 장래의 CEN(European Committee for Electrotechnical Standardization)과 ISO(International Standardization Organization)의 검증수단을 위하여 하나의 단체로서 설립되었으나, 이미 2년내에 경제적, 법률적으로 각각 독립된 단체로 분할되어져 나와 DICL(Danish Indoor Climate labelling)과 DSIC(Danish Society of Indoor Climate)으로 조직화되어 관리하고 있다. Product Standard Group으로는 벽, 천장시스템, 카펫, 현관, 칸

막이벽, 창문, 외부현관, 탄력성바닥재, 나무바닥재, 합판바닥재, 바닥광택재, 부엌, 목욕탕, 옷장, 실내페인트가 있으며, 규제를 받고 있는 물질로는 가구 세척물질, 가구 보수물질이 있고, 고려대상물질로는 방수제, 시멘트기초물질, 석조건축, 난방기, 환기시스템 등으로 구성되어 있다.

덴마크의 실내환경협회는 건물재료와 인테리어 재료들이 실내환경에 영향을 미친다는 점을 중시하여 실내환경라벨링(ICL)을 실시하고 있으며 ICL의 실행으로 실내공기오염물질의 배출로 인한 건강 및 쾌적함의 문제를 해결할 수 있다고 보고 있다. ICL의 표준과 라벨발행은 덴마크에서 구체화되었다.

덴마크 ICL의 주 업무는 실내환경협회의 표준실험방법과 기준물질을 근거로 라벨을 발행하고 라벨링증명서를 감독하며 실내 라벨링물질의 현황을 알려주는 일을 하고 있다. 노르웨이는 1998년 8월에 ICL에 가입했고 덴마크가 구성하고 있는 것처럼 기준을 세우고 부서와 라벨발행단체를 만들었으며 ICL 가입회원국의 수는 증가하고 있는 추세이다.

#### 5) 싱가포르

싱가폴은 빌딩주인으로 하여금 IAQ를 파악하여 필요시 건물관리에 도움이 되고 열악한 IAQ로 인한 인체위해성을 최소화할 목적으로 권고치 설정을 위한 기술자문위원회를 1995년에 구성하였으며, IAQ를 가장 효과적으로 수용하고 독성영향이 발생하지 않는 정도, 특히 공조시설이 된 사무실의 IAQ를 개선하기 위한 수용 가능한 권고기준치를 설정하였다.

권고기준치의 시행은 IAQ가 나쁘다고 의심되는 경우 담당공무원이 직접 측정을 하게 되며 이때 각층별 냉각탑, 청정공기의 유입 등을 체크하고 냉방설비와 환기설비를 조사한다. IAQ의 정밀심사는 매 2년마다 실시하고 환기 등 에어컨 시스템은 매 6개월마다 정밀 검사를 하여야한다. 이와 같은 권고기준치는 건물을 쾌적하게 하여 직장의 생산성을 증가시키고 SBS에 의한 일의 능률저하, 휴가율의 상승, 건강·사회 심리적 불안정 상태를 방지할 수 있다.

IAQ 평가의무와 횟수(조사)를 규정하여 실내공기질로부터 건강부산물까지

의 위해를 평가하기 위해 건물의 소유자가 관리 의무를 가지고 건물과 그 시스템(환기)은 실내공기질에 대한 중요한 작용에 관하여 매 6개월마다 조사하도록 하고 있다. 특히 건물의 관리시 감사를 통해 각 관리항목에 의거하여 매 2년마다 전문가에 의해 평가되도록 화학적, 물리적, 생물학적으로 구분되어 규정하고 있다.

## 6) 호주

호주는 환경 자원부내 실내공기질은 Environment Protection Group에서 담당하고 있다. Environment Protection Group을 좀더 세분화 해보면 Air and Water Quality, Chemicals and the Environment, Environment Assessment 등으로 나눌 수 있다. Environment Protection Group의 궁극적인 목표는 호주의 환경을 보호하고 질을 높이는데 있다. Environment Protection Group의 활동범위는 영향력 평가, 대기와 수질, 국제 환경 기준, 폐기물 최소화, 그리고 깨끗한 제품 등에 걸쳐 이루어지고 있다. 기타 실내공기질 관련 부서로는 노동부, 산업자원부 등이 있으며 실내공기질에 대해서는 각 지방정부의 환경보호관련 부서내에서 관리하도록 하고 있다.

## 7) 캐나다

캐나다 환경부는 대기환경청, 수질관리청, 환경평가청, 기상청, 야생동물관리청등 중심으로 각 지부와 프로그램들로 구성되어 있다. 특히 실내공기오염 관리는 작업장 및 주거지의 실내공기질 관리지침을 두고 이에 따라 관리하도록 하고 있다. 캐나다에서 실내공기질과 관련된 부서로는 캐나다 보건부, 환경부, Public Works and Government Services, 자원부, 농림부 등이며, 여러 부처에서 협력하여 관리하도록 하고 있다. 관리 오염물질은 크게 비발암물질과 발암물질로 나누어 관리하고 있고 그밖에 생물학적인 오염원과 기타 먼지, 담배연기 등을 포함한 권고기준을 두고 있다. 특히 역학조사와 임상실험, 동물실험 결과에 대한 연구와 평가에 기초하여 기준치를 설정하고 관리

하기 때문에 각 항목의 설정 근거가 매우 구체적이라는 특징이 있다.

노출권고치에 언급된 항목으로는 알데히드, CO<sub>2</sub>, CO, 포름알데히드, NO<sub>2</sub>, 오존, 먼지, SO<sub>2</sub>, 라돈, Water vapor 등이다.

## 8) 영국

영국은 환경, 건설, 교통부가 하나로 통합되어 있다. 영국에서는 환경교통 지역개발부(DETR : Department of the Environment, Transport and the Regions)에서 환경보호 및 개선, 산업과 건설, 교통 등을 담당하고 이에 제반된 사항을 수행하고 있다.

전체적인 구성은 통합된 환경건설교통부내의 환경과에서 실내공기오염에 대한 측정 및 감시연구 등을 전담하고, 건설과에서 “주거민의 생산성을 높이기 위한 실내공기질 관리”라는 정책을 위해 단계적으로 목표와 평가지표를 설정하고 있다. 따라서 부내에 통합된 업무들이 각 과별로 나누어져 이루어 지므로 교류와 연계가 용이하다는 장점을 가지고 있는 것이 특징이다.

DETR의 보고서(Report on the Review of the National Air Quality Strategy Proposals to Amend the Strategy)에 의하면 대부분의 사람들이 하루중의 약 90%를 실내에서 보내고, 근로자들은 약 60%를 집에서 보낸다고 한다. 따라서 정부에서는 2003년까지 주요 실내 오염물질을 낮추는 것에 전념하고 있다.

## 9) 핀란드

핀란드 환경부는 환경보호과, 주택 및 빌딩과, 토지이용과, 행정과, 국제협력과로 구성되어 있으며 주택기금, 환경원, 지역환경센터를 소속기관으로 두고 있다. 환경부에서는 지역환경센터와 함께 산림청과 자원보전서비스국에 연계되어 있다. 여기서 실내공기오염관리 연구는 환경부에서 담당하고 있으며 작업장과 관련된 부분은 사회보건부내의 산업안전 및 보건과와 보건복지증진과에서 관리하고 있으며 가이드와 매뉴얼을 제공하고 있다. 핀란드의 경우도 영국과 마찬가지로 환경부내에 주택과 환경관리부서가 공존하고 있기



때문에 공조체계가 잘 이루어져 있다. 주거와 빌딩, 환경보호가 동일 목표에 있어 관리의 일원화가 되어있다고 볼 수 있다.

### 10) 스웨덴

스웨덴은 핀란드와 조직체계가 거의 유사하다. 즉 환경부내에서 실내공기질을 관리한다. 스웨덴의 환경관련법은 자원보전법, 환경보전법, 해양투기금지법, 유류내 황함량관리법, 폐기물관리법, 수질관리법, 화학물질관리법, 환경사고법, 교통배출물관리법, 자원법 등이며 이중 환경보전법과 기타 대기오염관계법이 실내공기오염과 관련된 법들이다.

다음의 <표 6>는 주요 국가의 실내 공기질 환경기준을 나타낸 것이다.

<표 6> 외국의 주요국가별 실내 공기질 환경기준

오염물질	실내환경(Indoor Air)	대기환경(Ambient Air)	작업환경(Workplace)
일산화탄소 (CO)	10ppm(일본건축법/빌딩위생관리법) 20ppm(일본학교위생기준) 8.6ppm(WHO Europe 8시간 평균) 25ppm(WHO Europe 1시간 평균) 51ppm(WHO Europe 30분 평균) 86ppm(WHO Europe 15분 평균)	9ppm(EPA 8시간 평균) 35ppm(EPA 1시간 평균)	50ppm(OSHA, TWA) 50ppm(일본산업위생학회) 10ppm(일본사무소위생기준/노동안전위생법)
포름알데히드 (HCHO)	0.1ppm(ASHRAE) 0.081ppm(WHO Europe) 0.1ppm(스웨덴:신축주거)	-	1ppm(ACGIH, TLV TWA) 2ppm(ACGIH, STEL/일본산업위생학회)
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	0.21ppm(WHO Europe 1시간 평균) 0.075ppm(WHO Europe 24시간 평균)	0.05ppm(EPA 1시간 평균)	3ppm(ACGIH, TLV TWA) 5ppm(ACGIH, STEL/일본산업위생학회)

오염물질	실내환경(Indoor Air)	대기환경(Ambient Air)	작업환경(Workplace)
오존(O <sup>3</sup> )	0.05ppm(ACGIH 8시간 평균) 0.3ppm(뉴질랜드 8시간 평균) 0.08ppm(WHO Europe 8시간 평균) 0.1ppm(WHO Europe 1시간 평균)	0.12ppm(EPA 1시간 평균) 0.06ppm(일본대기환경기준 1시간 평균)	0.1ppm(ACGIH, TLV TWA/일본산업위생학회) 0.3ppm(ACGIH, STEL)
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	1000ppm(일본건축기준법/ASHRAE) 920ppm(WHO Europe)	-	1000ppm(일본사무소위생기준) 5000ppm(OSHA TWA/일본 산업위생학회)
석면(Asbestos)	-	0.01f/cc(일본대기환경기준)	0.1f/cc(OSHA, PEL) 2f/cc(일본 산업위생학회)
휘발성 유기화합물(VOCs)	0.2 ~ 0.6mg/m <sup>3</sup> (필란드 FISLAQ)	-	벤젠 10ppm(OSHA TWA) 100ppm(NIOSH TWA) 10ppm(ACGIH TLV) 0.63ppm(EPA) 톨루엔 200ppm(OSHA TWA) 100ppm(NIOSH TWA/ACGIH TLV) 2.1ppm(WHO Europe) 크실렌 100ppm(OSHA TWA/NIOSH TWA/ACGIH TLV)
라돈(Radon)	4pCi/l(EPA:주택) 2.7pCi/l(WHO) 2.9pCi/l(스웨덴:주택)	-	-

오염물질	실내환경(Indoor Air)	대기환경(Ambient Air)	작업환경(Workplace)
이산화황 (SO <sub>2</sub> )	0.12ppm(WHO, STEL, 1시간)	0.03ppm(EPA, 연평균) 0.14ppm(EPA, 24시간 평균)	2ppm(ACGIH, TLV TWA)
	0.18ppm(WHO, STEL, 15분)	0.5ppm(EPA, 3시간 평균)	5ppm(ACGIH, STEL/일본산업위생학회)
		0.04ppm(일본대기환경기준)	
부유분진 (TSP)	0.15mg/m <sup>3</sup> (일본빌디위생관리법/건축법)	0.075mg/m <sup>3</sup> (EPA, 연평균)	0.15mg/m <sup>3</sup> (일본사무소 위생기준)
	0.12mg/m <sup>3</sup> (WHO 8시간 평균)	0.26mg/m <sup>3</sup> (EPA, 24시간 평균)	

### 3.4 국외의 실내 공기질 연구동향

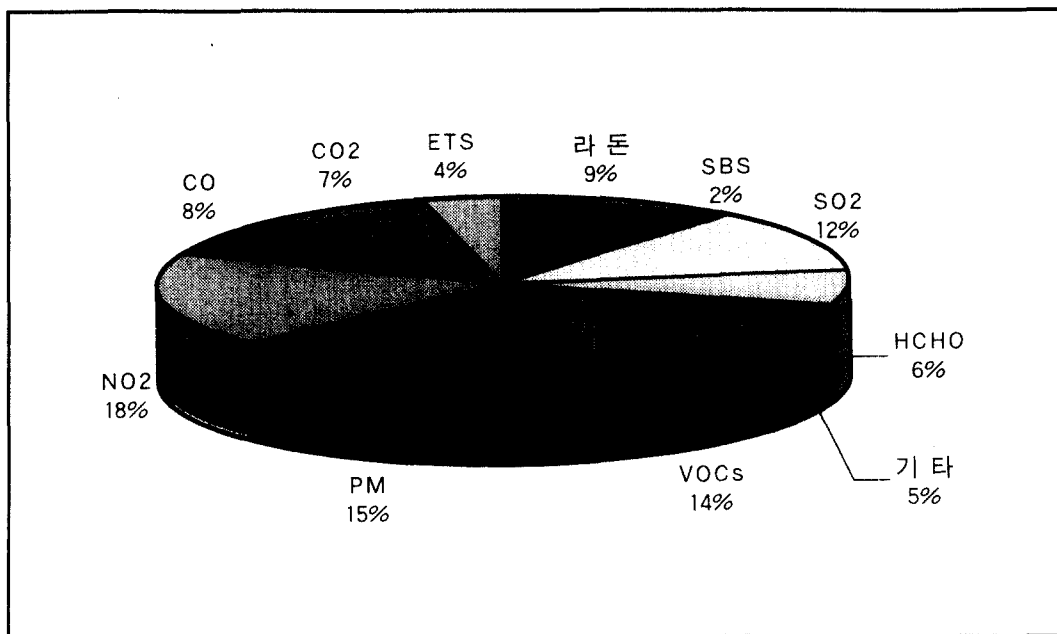
구미 각국에서 1970년대 초부터 실내공기질에 대한 중요성이 강조된 이후 1980년대의 연구는 실내오염물질의 농도 조사뿐만 아니라 각 물질의 발생원 추정 및 인체영향 등을 조사하는데 그 목적을 두고 있었으며 1990년대에는 실내오염물질들의 위해성 평가 및 관리기술 개발, 각종 신기술을 이용한 저감 방법 등에 초점을 맞추어 연구가 이루어지고 있다.

최근 연구사례를 보면 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)의 실내오염에 대한 영향, 계절에 따른 VOCs의 실내외의 오염도 비교 조사, 가정내 PM<sub>2.5</sub> 및 중금속의 농도 조사, 건물 내 VOCs와 Radon에 대한 조사연구 등으로 1970 ~ 80년대에는 먼지나 가스상 오염물질들(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 등)에 관한 연구인 반면, 최근에는 VOCs와 미생물성 물질들에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

또한 온열환경과 실내오염과의 상관성 연구를 들 수 있다. 실내의 온도 및 습도에 따라 환기량이 달라질 수 있으므로 실내의 온열환경은 무엇보다도 실내오염에 중요한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 또한 실내환기의 국제적 연구동향은 실내의 공기를 재순환시키는 과정에서 실내오염을 얼마나 저감시키는가에 초점을 맞추고 연구되고 있다. 특히 미국 및 유럽에서는 단순히

실내공기의 환기 뿐만 아니라 난방 및 냉방시스템을 통해서 실내공기를 정화하는 방법 및 실내 거주자들의 건강을 보호하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 modeling을 통하여 실내 환기량을 예측하여 실내오염을 저감시키는데 노력을 기울이고 있다.

향후 대두될 새로운 실내공기오염물질로는 연소관련 배출원, 각종 생활용품, 장식 및 전자재 등에서 다양하게 배출되어 적정관리가 어려운 VOCs를 포함한 미량의 유해성물질과 건축자재에서 나오는 라돈 등을 들 수 있다. 미국 및 유럽 선진국에서는 TVOCs에 대한 기준설정을 고려 중에 있으며, 미국 EPA에서 수행한 TEAM Study의 결과에서도 TVOCs의 중요성이 제안된 바 있어 국내에서도 향후 VOCs에 대한 연구 및 관리방안이 모색되어야 할 것으로 본다. 문헌조사 결과 수집된 외국의 실내공기질 연구사례를 실내오염물질별로 분포를 아래 <그림 2>에서보면, 국외에서는 VOCs, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 등의 연구가 많이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 2>. 국외 실내공기오염관련 연구의 대상물질분포

유럽지역에서의 연구사례를 보면, 56개의 사무실 건물의 실내 공기질 연구 결과는 CO, CO<sub>2</sub>, VOCs는 국제기준과 유럽기준에 적합하지만 HVAC 시스템 사용에 있어서 저 에너지 사용을 위한 연구가 필요함을 제시하였다(Bluysen, 1996). 또 독일에서는 실내에서 사용되는 제품의 오염물질 방출조사를 통하여 오염물질 중 VOCs의 방출량과 그 영향에 대하여 고찰하였다(Horn, 1998).

한편, 유럽공동체에서 연구사례에서는 실내 공기질 중 TVOCs 오염도가 증가 추세에 있어 오염원 제거에 노력을 기울여야 한다고 고찰하고 있다. 이 상에서와 같이 유럽의 여러 나라에서는 전반적인 실내공기질에 관한 꾸준한 연구와 더불어 VOCs, HVAC, ETS, 라돈 등의 물질에 관한 보다 심층화된 연구 경향을 보여주고 있다(Molhave, 1997).

그리고 미국에서는 최근 환경담배연기(ETS)와 VOCs에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. ETS에 대한 연구 중 1998년에 발표된 대표적인 두 연구 중 하나로 여러 종류의 담배들에 의한 ETS 생성에 관한 연구가 있었는데 이 연구는 환경 통제 chamber를 대상으로 한 것으로 측정 항목은 4개 담배 회사의 ETS 구성물 조사이고, ETS가 o-xylene, benzen 등에 영향이 있다고 결론을 내리고 있다(Nelson, 1998). 또 다른 연구는 ETS에 대한 성인의 폐 기능과 호흡에 대한 24건의 역학 조사를 통하여 14건이 만성 ETS폭로와 질병과 관계가 있다는 결론을 내렸다(Witorsch, 1998).

VOCs에 대한 연구를 보면, 1997년에 Latex Paint에서 나오는 VOCs배출에 있어서의 기질의 영향에 대한 연구가 있었다. 이 연구는 chamber test를 실시한 것으로 2주 동안 측정한 결과, 철판에 페인트를 입힌 것보다 석고보드에 페인트를 입힌 것에서 2~10배 많이 방출되었다(John, 1997).

일본의 경우 주택과 사무실을 대상으로 한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 주택의 연구결과를 보면, 나고야 주거지역에서의 실내공기질 중 NO<sub>2</sub>, 벤조피렌, TSP를 측정한 결과 TSP는 0.015 ~ 0.074 mg/m<sup>3</sup>, 벤조피렌은 0.54 ~ 4.46 ng/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub>는 12 ppb 수준이라고 발표되었고(Mitanil, 1996), 가정에

서 등유히터 사용으로 인한 HCHO의 배출량을 조사한 연구를 보면 등유를 사용하므로 해서 HCHO의 배출량이 증가하고 이로 인하여 산소 소모량 또한 증가한다는 결과가 보고되었다(Nozaki, 1996). 그리고 생물학적 오염물질과 입자상의 물질 측정에서 곰팡이의 경우 화장실에서 가장 높게 측정되었고, 다음은 거실, 창문 순으로 나타났고, SPM의 경우 10월이 가장 높은 것으로 측정되었으며, 알레르겐은 11월, 거실이 가장 높은 것으로 측정결과가 발표되었다(Nakai, 1999). 사무실의 실내공기질 중에서 VOCs농도를 측정한 연구를 보면, 실외보다 실내가 높은 것으로 알려졌다(Iijima, 1996).

지금까지 위의 각 항에서 살펴본 각 국가별 실내공기오염관련 조직, 법규, 권고기준 등을 참고하여 표로 정리하면 <표 7>과 같다. 전반적으로 볼 때 국외에서는 정부부처가 환경과 건설 또는 자원부와 통합되어 있거나 유기적으로 연계되어 있어 관리상으로는 일원화되어 있는 경향을 보이고 있다. 관리 기준상으로 볼 때는 여러 국가간에 큰 차이는 없으며 전반적으로는 우리나라와 같이 규제기준을 설정하기 보다 권고기준을 채택하는 경우가 많고 법의 제정단계나 역사를 살펴볼 때 보건관계법규에서 환경관계법규로 이관되거나 같이 통합되어지는 경우가 많았다. 국내의 관리현황을 보면 실내공기질 관리상에 유사한 행정규제의 경우 통합되어있지 않고 불분명하게 구분되어 있으며 보건, 건설, 환경이 서로 독립적인 부로 나뉘어있어 상기 문제점이 나타나는 것으로 사료된다.

#### 4. 실내공기질의 효율적 관리방안

국내에서는 아직까지 도시지역의 대기오염으로 인한 건강 영향에 대해서만 언급할 뿐 대부분의 사람들은 실내공기오염이 인체에 미치는 영향이 대기오염(실외오염)보다 더욱 중요하다는 것을 거의 인식하지 못하고 있으며 실내공기오염물질의 성질과 농도에 대해서도 파악이 안되고 있다.

실내공기질은 그 대상범위가 넓으며 실외대기오염, 오염물질의 실내발생,

건물의 침투성, 환기와 공기조화체계, 기상학적 인자와 지형학적 인자, 실외 오염원의 위치, 에너지 보전상태 등의 인자들에 의하여 영향을 받을 수 있다. 그러므로 실내공기질을 쾌적하게 유지하기 위해서는 그림 3에서 보는 바와 같이 크게 3가지 측면의 노력이 필요하다.

첫째, 실내공기오염을 제거하기 위한 예방 또는 방지대책으로서 발생원의 제거, 환기 및 청정장치 등을 이용한 처리기술을 포함하는 실내공기오염 제어기술개발 부분의 노력이 필요하다. 실내공기 오염물질의 농도를 조절하는 네가지 주요척도로는 오염원 강도, 공기유입, 공기배출, 공간상의 제거등이 있으며, 이들을 응용한 실내오염물질 저감 방안으로는 건축자재(포름알데히드, 라돈, 석면 등), 주방 및 난방연료(이산화질소, 일산화탄소, 이산화탄소 등) 인간의 활동(분진, 환경담배연기 등), 생활용품(미생물성 물질, 유기용제) 등의 발생원을 제거 또는 대체하는 방법이 있다. 환기의 방법에는 깨끗한 공기로 오염된 공기를 희석하는 희석 환기방법, 오염된 공기를 배출하는 국소 배기방법이 있고, 청정장치를 이용한 공기청정방법은 실내에 공기청정기를 설치하는 것과 청정장치를 공조시스템에 설치하는 방법 등이 있다. 특히 페인트, 내장재, 절연재 등의 건축재에 대해서는 휘발성유기화합물, 자극성 섬유, 석면, 포름알데히드 등의 오염물질 방출률을 낮출 수 있는 기술 개발이 무엇보다 요구되고 있다.

둘째, 실내관련 당사자인 건물주인, 건축업자 및 건설업자 등을 비롯해 産·學·研의 연계성 구축에 대한 노력이 필요하다. 가장 이상적인 실내환경은 실내에 거주하는 사람이 최대한 안락한 기분을 가질 수 있는 조건이다. 건강하고 청결한 실내환경을 유지하기 위해서는 개인의 노력 뿐 아니라 건물주 또는 건물관리인, 건축가, 건축자재 제품업자, 건설업자, 관련 민간협회, 정부기관, 대학 및 기타 관련 연구소 등이 다각적인 협동체제를 구축하여야 한다. 특히, 선진 외국에서는 국제 공동 연구를 통한 실내오염방지 신기술 개발 등이 모색되고 있으므로 우리나라도 실내환경 관련 전문가들에 의한 실내공기질의 국제공동연구 및 세미나에 적극 참여 및 실내공기오염에 관한

<표 7> 국내외 부처별 실내공기관리 담당 부서

	환경부	노동부	보건복지부	건설교통부	비고
한국	<생활공해과> - 지하역사 - 지하상가	<산업보건환경과> - 작업장	<건강증진과> - 공중이용시설	<건설환경과> - 터널 - 지하선로 - 지하연결통로	<지방자치단체> 환경관리실
미국	IED (Indoor Environmental Air Division)	OSHA			
일본		<安全衛生部> 労働衛生課	<生活(衛生局)>		<地方自治團體> 環境部/人氣保全部
독일	Federal Environment Agency (Environmental Health Division)				
덴마크	Environment Protection Agency				
싱가폴	Ministry of the Environment (Environment Management Division)				
호주	Ministry of Environment and Heritage (Environment Protection Group)	Department of Labour (National Occupational Safety and Health Commission)		Department of Primary Industry and Energy	State Government Department (Environmental Protection Authority)
캐나다	Ministry Of Environment (Atmospheric Environment Division)		Ministry of Health (Health Promotion, Medical Service Branch)		
영국	Department of Environment, Transport and Regions (Environmental Protection Group, Housing Regeneration and Countryside Group)				
핀란드	Ministry Of The Environment (Environmental Protection Department, Housing Building Department)	Ministry of Social Affairs and Health (Department for Occupational Safety and Health, Department for Promotion of Welfare and Health)			
스웨덴	Ministry of Environment (Environmental Protection Agency)				



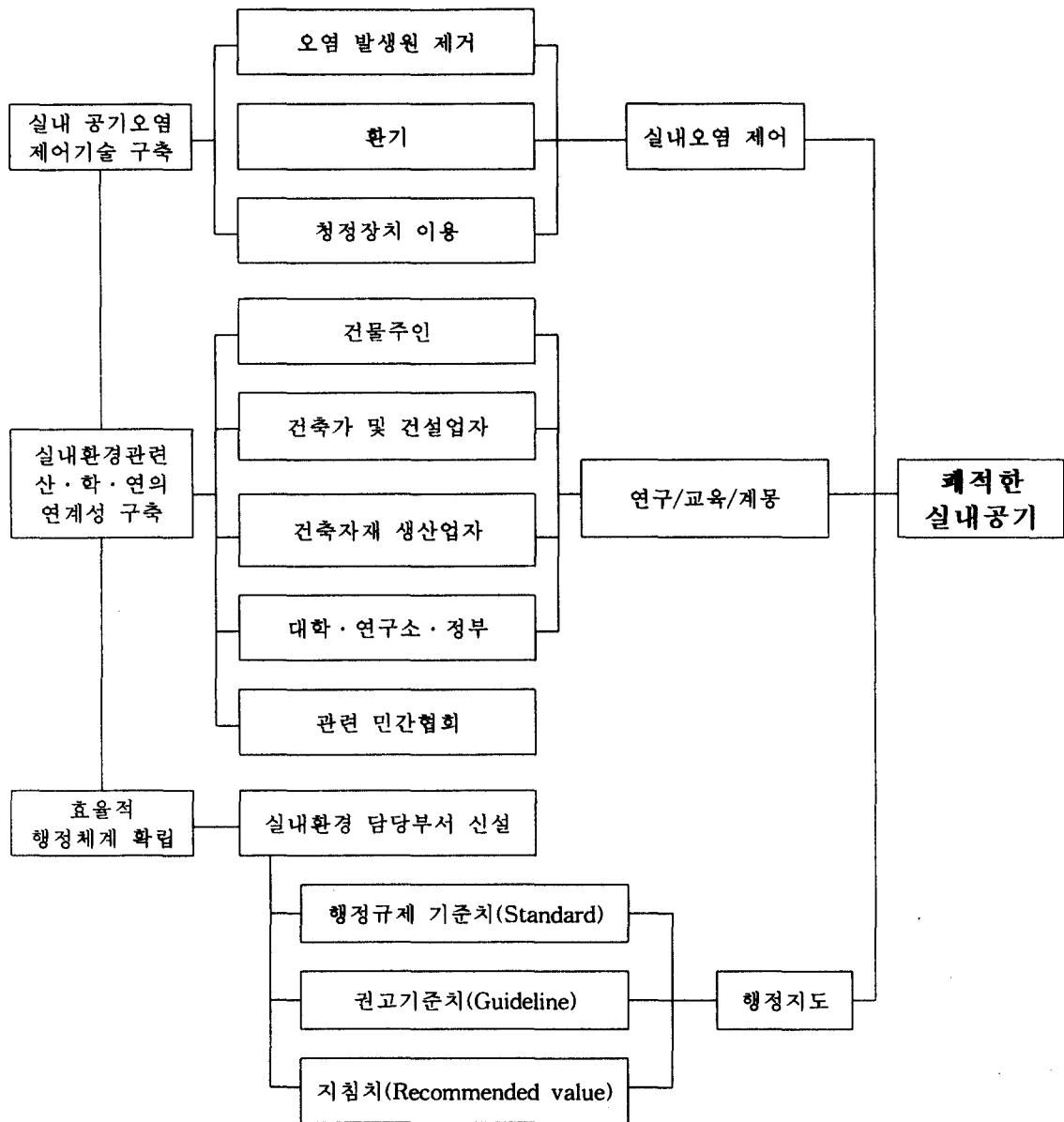
각종 연구들이 선행되어야 할 것이다. 또한 생활속의 환경문제와 직결되어 있는 실내환경분야의 중요성을 건강영향이라는 문제와 관련시켜 학생 및 일반인을 대상으로 계몽활동을 펴나가야 할 것이다.

셋째, 효율적이며 체계적으로 관리 운영할 수 있는 행정체계의 확립에 대한 노력이 필요하다. 전술한 바와 같이 현재 국내에서는 실내공기질과 관련된 업무가 여러 부처로 분산되어 있어 전반적인 실내환경에 대한 공공정책을 수립하는데 많은 문제점을 지니고 있다. 실내공기오염 문제를 다룰 행정부서에서는 다년동안에 걸쳐 실내공기오염물질의 정확한 분석, 오염물질의 반응, 실내 유해물질의 특성 등을 정확히 파악하고 이를 토대로 실내공기질에 대한 위해성 평가를 하여, 이 같은 분석 평가와 아울러 비용-편익을 고려한 실내환경평가를 바탕으로 우리나라 실정에 맞는 실내공기 오염물질의 권고 및 기준치를 설정하여 실내환경오염 방지를 위한 장기적 대책을 강구해 나가야 한다. 따라서 이 같은 3가지 측면의 각 요소가 상호 연계성을 가지고 조화를 이룰 경우에 실내공기질의 효율적이고 체계적인 관리가 될 수 있다고 시사된다.

## 5. 향후 실내공기 오염 연구 전망

전술한 향후 실내공기오염 연구의 전망을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 새로운 건축기술 개발과 주거형태에 따른 실내공기오염 연구가 필요하다. 과거 실내오염물질들로서 많이 연구되었던 물질들이 먼지나 가스상 오염물질들( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ 등)인 반면, 최근에는 건축자재에서 발생하는 VOCs의 실내오염에 대한 영향, 계절에 따른 VOCs의 실외 오염도 비교조사, 가정내  $\text{PM}_{2.5}$  및 중금속의 농도조사, 건물내 VOCs와 Rn에 대한 조사연구등 보다 세분화된 먼지농도와 VOCs 및 방사능 물질들에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 건축자재의 경우 새로운 공법을 실현시키기 위해서 원자재에 새로운 소재가 적용됨에 따라 오염물질이 변화되거나 새로운 오염물질 문제



<그림 3> 쾌적한 실내공기 유지를 위한 구성요소

가 대두될 우려가 있으므로 사전 실내공기오염 안전성 평가가 필요하다. 실내 라돈의 경우 작업장보다는 주택에서, 단독주택보다 아파트가 높게 나타나고 있고, VOCs농도는 도시가 시골에서보다 낮게 조사된 사례 등을 종합하여 볼 때 외기의 공기보다는 실내의 환기여부에 따라 오염도 양상이 결정된다는 것을 알 수 있으므로 앞으로 새로운 주거형태, 설계방식의 차이, 밀폐형 건축물이나 공법, 환기방식차이에 따른 실내공기오염물질 특성을 연구할 필요가 있다.

둘째, 실내공기오염물질의 가능한 모든 노출상황을 고려한 노출평가 연구가 필요하다. 최근 연구는 온열환경과 실내오염과의 상관성에 초점을 두고 있다. 이것은 실내의 온도 및 습도에 따라 환기량이 달라질 수 있으며 실내의 온열환경은 무엇보다 실내오염에 중요한 영향을 미친다는 기존 연구결과를 반영하고 있다고 볼 수 있다. 온도와 습도가 증가하면 실내 VOCs농도도 증가하고 기압의 변화 또한 VOCs와 라돈변화에 영향을 준다는 연구결과가 이를 뒷받침한다. 실내환기의 국제적 연구동향은 실내의 공기를 재순환시키는 과정에서 실내오염을 얼마나 저감시키는가에 초점을 맞추고 연구되고 있다. 특히 미국 및 유럽에서는 단순히 실내공기의 환기와 더불어 난방 및 냉방 시스템을 통해서 실내공기를 정화하는 방법 및 실내거주자들의 건강을 보호하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, modeling을 통하여 실내환기량을 예측하여 실내오염을 저감시키는데 노력을 기울이고 있다. 또한 최근 호주를 중심으로 실내공기오염 연구에 있어서 각종 실내오염원으로 작용하는 제품의 생산부터 폐기에 이르는 전과정에서 인체에 노출도를 산정하는 연구가 진행중이다. 국내에서는 전과정 평가(Life Cycle Assessment; LCA)로 알려진 위 방법은 독립적으로 연구 될 수 있는 부분이나 실내에서 발생원의 대부분이 인위적인 생산품이라는 점을 감안하여 볼 때 실내공기오염을 일으킬 수 있는지의 여부와 어느 정도의 위해도를 나타내는지 사용형태가 어떠한지 노출되는 시간, 장소, 범위 등 여러 가지 상황을 고려하기 위하여 상기 방법을 적용한 연구가 필요하다.

셋째, 총 위해도 중심의 실내공기오염관리(Total Risk based Indoor Air Management) 연구가 필요하다. 향후 대두될 새로운 실내공기오염물질로는 연소관련 배출원, 각종 생활용품, 장식 및 전자재 등에서 다양하게 배출되어 적정관리가 어려운 VOCs를 포함한 미량의 유해성물질과 건축자재에서 나오는 라돈 등을 들 수 있다. 따라서 우리 나라에서도 향후 라돈 및 VOCs의 실내기준에 대한 연구 및 관리방안이 모색되어야 할 것으로 본다. 그러나 다양한 물질들은 각각의 기준 또는 노출량을 중심으로 관리하는 것은 한계가 있을 것으로 예상되므로 총 위해도를 산정하여 관리 대상 항목으로 선정된 물질들의 위해도를 모두 종합하였을 때 허용 가능한 수준이 넘지 않도록 하는 실내공기오염관리가 필요하다. 따라서 이를 뒷받침할 수 있는 적용 가능한 위해도 종합모델, 통계적 방법론, 노출형태를 고려할 수 있는 통합모델연구 등 실내공기오염의 총 위해도 관리를 위한 연구가 선행되어야 할 것으로 시사된다.

## 참고문헌

- 강미옥(1994) 서울시 일부 실내외 공기오염물질의 농도조사에 관한 연구, 석사학위 논문, 한양대학교
- 김윤신(1983) 실내공기오염에 관한 보건학적 고찰, 대한보건협회지.9,29-39.
- 김윤신(1984) 우리나라에 있어서 실내공기오염에 관한 연구, 대한보건협회지 vol.10.
- 김윤신(1994) 실내환경과학. 민음사
- 김윤신(1993) 실내공기오염-대기오염개론, 동화기술
- 윤영훈(1995) 도시지역 실내외 공기중 환경흡연에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교
- 정진원(2000) 서울시 일부 지하생활공간에서의 실내공기질 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교

이윤규(1998) 최근 실내공기 환경기준의 국제적 연구동향-'21세기 실내공기환경의 질'세미나, 대한건축학회

서울특별시 지하철공사(1998) 서울시 지하철 환경개선 방안 연구

서울특별시 지하철공사(1992) 서울시 지하철 내 환경기준 설정 및 환경관리 방안에 관한 연구

환경부(1999) 실내공기질 관리방안에 관한 연구

한국환경과학협의회(1989) 지하공간의 공기오염 및 공기중 미량유해물질에 관한 조사연구

ASHRAE, ASHRAE Standard 55 1992

ASHRAE, ASHRAE Public Review Draft 62 1989, ASHRAE, 1996

Banaszak E F, Thielde W H, and Fink J N (1970) : Hypersensitivity pneumonitis due to contamination of an air conditioner. N. Engl. J. Med. 287: 271-276.

Bjorseh O (1999) : Chamber testing of adsorption of organic compounds (VOCs) on material surfaces. Indoor Air ; 9(4): 2-9.

Dally K (1981) : Formaldehyde exposure in nonoccupational environments. Arch. Environ. Health ; 36, 277-284.

Doctery, DW., Spengler, JP. (1981) Personal exposure to respirable particulates and sulfates. J. Air Pollut. Control Assoc. 31:153-159.

Helen C, Shields (1996) : Comparisons among VOCs measured in three types of U.S. commercial buildings with different occupant densities. Indoor Air ; 6(1): 1-17.

HORN W (1998) : VOCs emissions form cork products for indoor use. Indoor Air ; 8(1): 2-11.

Iijima K. (1996) : Measurment of indoor air quality in office buildings. Indoor Air ; 2: 91-96.

K.Mitani et al. (1996), Concentration of Dust, Benzo[a]Pyrene and NO2

in Indoor and Outdoor Air in the Residential Area of Nagoya City, Japan, Indoor Air, Vol 3, No. 1, pp 95-97.

Kreiss, K. and Hodgson, M.J. (1984), "Building-associated epidemics," In Indoor air quality. Ed. P.J. Walsh 외, 87-106. Boca Raton Fla.:CRC Press.

Kunz CO (1998) : Indoor Radon : Source characterization. Environ. Progress ; 7(4), 236-240.

Molhave L (1996) : The danish twin apartment study - part II : mathematical modeling of the relative strength of sources of indoor air pollution. Indoor Air ; 6(1): 18-30.

NAS (1981) : Indoor Pollutants, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

National Research Council (1987) :(committee on indoor air quality), Policies and Procedures for control of indoor air quality .Washington D.C. : National Academy Press.

Nelson PR (1998) : Studies of environmental tobacco smoke generated by different cigarettes. A&WMA ; 48: 336-344.

NOISH (1972) : Occupational exposure to asbestos. NIOSH SM ; 72-10267.

Nozaki et al.(1996), Emission Characteristics of Formaldehyde from Domestic Kerosene Heaters in Dwellings. Indoor Air Vol.2 pp675-680 Japan

Satoshi Nakai et al(1999), Measurements of Biological Contaminants and Particulate Matter Inside a Dwelling in Japan, Indoor Air 1/99, Vol 9, No 4, 41-46

Philip witorsch, et al.(1998), Effects of Environmental Tobacco Smoke Exposure on Pulmonary Fuction and Respiratory Heath in adults, updat,

Indoorbuilt 7: 4-17

U.S. EPA (1986) : Interim indoor radon and radon decay product measurement protocols. 520/1-86-04.

U.S. EPA (1987) : Regulation for asbestos abatement projects. 40CFR 763, Fed, Reg, 52(15876).

U.S. EPA (1990) : Continuous Emission Monitoring System ; Operation and Maintenance of Gas Monitors.

Yocom. JE (1982) : Indoor-Outdoor air quality relationships. A critical review. J. Air Pollution Control Assoc. 32:500-520.