

사무실의 실내공기질 현황

노영만 | 한양대학교 환경 및 산업의학연구소
교수

E-Mail : ymroh@hanyang.ac.kr

I. 서 론

현대 건물의 대형화와 고층화가 급속하게 진행되고 있는 우리나라 대도시의 변형은 소위 문화의 시대, 쾌적한 환경의 시대라고 일컫는 선진국의 도시 환경에 신속히 공감할 수 있는 경향을 보여주고 있다. 공공시설의 새로운 설계, 도로의 변형 등 우리를 둘러싸고 있는 환경이 다양화되어지고 있어 이에 대처한 쾌적한 환경에 관심이 기울여져야만 할 추세이다. 그러나 고층화되고 다양화된 건물의 외형에 비해서 사무실 공간으로 눈을 돌려보면 질적으로 많은 문제점을 내포하고 있는 실정이다. 다시 말해서 우리나라의 사무실 실내환경 수준은 매우 낙후되어 있는 실정이다.

실내환경문제 중 대표적인 실내공기질의 중요성에 대한 배경은 1970년대 이후 각종 산업분야에서 에너지 절감 및 효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 건물의 열효율 및 에너지 절감을 위한 밀폐화로 인하여 이들 건물의 실내공기질이 악화되면서 발생되었다. 또한 실내공기오염은 산업화 및 도시화로 인한 대기오염, 새로운 건축자재에서 방출되는 의외의 오염물질, 경제수준의 향상으로 인한 다양한 생활용품 사용의 증가로 새로운 오염물질이 방출되고, 실내 거주자의 흡연과 같은 생활습관 등에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다.

실내환경문제 중 대표적인 실내공기질(IAQ-Indoor Air Quality)의 중요성에 대한 배경은 1970년대 이후 각종 산업분야에서 에너지 절감 및 효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 건물의 열효율 및 에너지 절감을 위한 밀폐화로 인하여 이들 건물의 실내공기질이 악화되면서 발생되었다. 또한 실내공기오염은 산업화 및 도시화로 인한 대기오염, 새로운 건축자재에서 방출되는 의외의 오염물질, 경제수준의 향상으로 인한 다양한 생활용품 사용의 증가로 새로운 오염물질이 방출되고, 실내 거주자의 흡연과 같은 생활습관 등에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다.

선진국에서 조차 산업화와 경제화에 초점을 맞춘 국가정책에 따라 실내환경의 중요성은 인식되지 못하였고, 1970년대초 선진 각국에서 빌딩증후군(SBS- Sick Building Syndrome)이라는 새로운 증상이 보고되면서 부터 본격적으로 건강위해성과 관련하여 관심을 갖게 되었다. 또한 1980년대 후반 이후 부터는 복합화학물 민감증(MCS- Multiple Chemical Sensitivity), 1990년대 후반이후에는 새 집증후군(SHS -Sick House Syndrome)등과 같은 새로운 증상 등이 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 아울러 현대인들의 실내생활 증가와 건축자재의 화학물질 사용 및 실내오염 물질 발생원 증가와 함께 환기부족 등으로 실내공기오염관 관련된

신종 질병이 부각되면서 실내공기의 적정관리에 대한 요구가 급증하고 있다.

빌딩증후군이란 건물의 거주자가 느끼는 급성의 건강상 증세로서 건물내에서 보내는 시간과 관련이 있는 것으로 보이나 특정한 질병이나 원인이 규명되지 않은 증상을 나타내는 용어이다. 이러한 증상은 건물의 특정 부분에 거주하는 거주자들에게서 나타날 수도 있고 또 건물 전체에 만연되어 있을 수도 있다. 이런 빌딩증후군은 인공적인 공기조절이 잘 안되고 실내공기가 오염된 상태에 흡연에 의한 실내공기 오염이 가중되고 실내온도, 습도 등이 인체의 생리기능에 부적합함으로써 생기는 일종의 환경유인성 신체증후군이라 할 수 있다. 빌딩증후군의 증상은 눈 및 인후 자극, 피로, 두통, 피부발적, 현기증, 무기력, 불쾌감 등 매우 다양하게 나타나며 작업능률을 저하시키고 기억력을 감퇴시키는 등 정신적 피로를 야기한다.

사무실에서 작업하는 근로자의 경우 사무실 공기 오염에 따른 다양한 건강장해가 유발될 수 있다. 사무실 공기오염이 사무실 근로자들의 건강이상 증상에 실제적인 원인으로 작용하지 않는다 하여도 지출되는 의료비용, 빌딩조사비용, 그리고 수입손실이 미국의 경우 대략, 연간 47억불 정도 된다는 보고도 있다. 이러한 비용 이외에도 실내환경질 저하가 근로자의 집중과 생산성을 저하시켜 근로자 12인당 하루 평균적으로 14분의 시간 손실을 가져온다는 보고도 있다. 이 손실 비용을 회사 전체적으로 연간비용으로 계산한다면, 특히 전문적인 경우가 많은 사무직의 경우 우리가 일반적으로 상상하는 금액보다 훨씬 많이 늘어나게 될 것이다. 따라서 쾌적한 사무실 실내환경 질 조성은 사무직 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 목적도 있지만, 회사 생산성을 높여 경쟁력을 확보한다는 차원에서도 중요하다 할 수 있다. 이에 선진외국에서는 사무실환경

의 공기질을 적절하게 유지 및 증진시키기 위한 규정의 필요성을 인식하여 국제노동기구에서는 빌딩(상업용 및 사무용) 위생에 관한 협약을 제정하였고, 일본에서는 노동안전위생법 사무소 위생기준규칙을 제정하였으며, 미국산업안전보건청에서는 실내공기질과 관련된 규정을 제안한 바 있다.

우리나라도 사무실 환경의 공기질 관리의 중요성을 인식하고 산업안전보건법의 개정을 추진하여 2002년 12월 30일에 개정법령(법률 6847호)을 공포하였다. 이에 따라 하위법령으로서 동법 시행령(2003. 6. 30), 시행규칙(2003. 7. 7) 및 산업보건기준에 관한 규칙(2003. 7. 12)의 개정작업을 2003년에 모두 완료함으로써 사무실 근로자의 건강을 위하여 산업보건기준에 관한 규칙에 '사무실 오염으로 인한 건강장해의 예방'을 신설하였고, 4개 물질(호흡성분진, 일산화탄소, 이산화탄소, 포름알데히드)에 대하여 사무실내 공기질 기준을 제시하고 있다.

미국 산업안전보건청(OSHA)은 빌딩증후군의 영향을 받는 미국근로자수를 3-7천만명으로 추정하고 있다. 우리나라의 경우는 이에 대한 자세한 통계는 없지만 2004년 건설교통부의 통계연보에 의하면 상업용빌딩 88만개, 문화사회용빌딩이 9만6천개 정도로 집계하고 있어 약 100만개정도의 빌딩이 있고 이 빌딩에서 근로자가 최소한 한 개정도 있다고 가정한다면 100만개 정도의 사무실이 빌딩증후군을 발생시킬수 있을 것으로 간주된다.

그러나 현행 산업안전보건법상의 사무실 공기질 측정은 국내 실내환경질을 관리하고 있는 타법과는 달리 자율적인 측정관리체계가 되어있으며, 또한 실내공기질과 관련한 국내 타법 등에서 규정하고 있는 관리대상 인자가 산업안전보건법에서는 제외된 항목이 있는 실정으로 현행 자율적인 사무실환경 측정체계의 측정제도 개선과 관리대상오염물질의 추가선정 등 사무실 공기질 관련 정책의 개선 및

표 1. 국내 각 부처별 실내공기질 관리현황

부 처	대상시설	관련법령
노동부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업환경측정 대상 유해인자에 노출되는 근로자가 있는 작업장 ○ 사무실 	산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙
환경부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하역사, 지하도상가, 도서관, 박물관, 미술관, 의료기관, 실내주차장, 여객터미널, 대합실, 보육시설, 노인의료시설, 장례식장, 찜질방, 산후조리원, 대규모점포 	다중이용시설등의 실내공기질 관리법
교육인적자원부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 학교(교실의 조도, 소음 및 온도관리) ○ 학원(공중위생관리법 적용대상 제외) 	학교보건법 학원의 설립·운영에 관한 법률 초·중등 교육법
건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일정규모 이상 건축물, 도로 및 지하선로 주차장의 공기질 관리 	건축법, 도로법, 철도법, 도시철도법, 주차장법
보건복지부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업무시설(3,000m² 이상), 복합건물, 학원, 음식점(2,000m² 이상), 공연장, 실내체육시설, 지하상가(환경부 대상 제외) ○ 학원보육시설 	공중위생관리법 영유아 교육법

정책 수립에 있어 과학적 자료를 제공하기 위한 체계적이며 종합적인 연구 수행이 요구되고 있다.

II. 노동부의 사무실 오염 관련 규정

1) 사무실 오염으로 인한 건강장애 예방조치 시행 내용

① 사무실적용범위(제46조)

중앙관리방식의 공기정화설비 등을 갖춘 건축물로 근로자가 업무를 수행하는 실내공간과 그 부속 시설인 휴게실 식당 화장실 회의실 강당 보건의료 시설 복도 계단 등의 공간을 말한다.

사무실 오염물질에 대한 정의를 법 제24조제1항의 규정에 의한 분진·가스·증기 등과 곰팡이·세균·바이러스 등 사무실의 공기중에 떠다니면서 근로자

에게 건강장해를 유발할 수 있는 물질을 말한다.

공기정화설비등"이라 함은 사무실오염물질을 바깥으로 내보내거나 바깥의 신선한 공기를 실내로 끌어들이는 급 배기장치, 오염물질을 제거 또는 감소시키는 여과제 또는 온도·습도·기류 등을 조절하여 공급할 수 있는 냉난방장치, 그 밖의 이에 상응하는 장치 등을 말한다.

② 공기정화설비(제47-48조)

사무실에 근로자를 종사하도록 하는 때에는 사무실 오염을 방지할 수 있도록 공기정화설비 등을 적절히 가동하여야 하고 설치된 공기정화설비 등에 대해 수시점검 및 개,보수하여야 한다.

③ 조치

사업주는 근로자 건강보호를 위해 필요한 경우 사무실 공기를 측정평가하고 필요한 조치를 하여야

한다.(제50조)

옥외의 오염물질 유입을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다.(제51조)

미생물로 인한 사무실 공기오염을 방지하기 위해 미생물이 증식된 곳을 청소하는 등의 조치를 하여야 한다.(제52조)

건물 개,보수시 공사장소를 격리하는 등의 조치를 하여야 한다.(제53조)

④ 유지 및 관리

분진, 미생물 또는 해충발생 우려가 있는 화장실, 목욕시설 등에 대해서는 소독 등 사무실을 청결하게 유지, 관리하여야 한다.(54조)

공기정화설비 및 개,보수작업을 하는 근로자에게 방진마스크 등 적절한 보호구를 지급하고, 주의사항 등을 알려야 한다.(제55, 56조)

표 2. 노동부와 환경부의 실내공기질 관련 법규의 비교

담당부처	노동부(산업안전국 산업보건환경과)	환경부(대기보전국 생활공해과)
근거법령	산업안전보건법, 산업보건기준에관한규칙	다중이용시설등의실내공기질관리법, 동법시행령 및 시행규칙
규제대상	중앙관리방식의 공기정화설비 등을 갖춘 사무실	신축 공동주택, 다중이용시설(지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널·항만시설·철도역사 대합실, 공항 여객터미널, 도서관, 미술관, 박물관, 실내주차장, 그 밖에 대통령령으로 정하는 시설) *구체적인 규모는 대통령령에서 제시
관리 오염물질	호흡성분진(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하), 일산화탄소(10ppm이하), 이산화탄소(1,000ppm이하), 포름알데히드(0.1ppm이하) 등 4종	미세먼지(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하), 일산화탄소(10ppm이하), 이산화탄소(1,000ppm이하), 포름알데히드(120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하), 총부유세균(800CFU/ m^3 이하) 이산화질소(0.05ppm이하) 라돈(4.0pCi/l이하) 총휘발성유기화합물(500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하) 석면(0.01개/cc이하) 오존(0.06ppm이하) 등 10종
관리방법	공기정화설비 적정가동 및 유지관리, 필요한 경우 사무실 공기 측정·평가, 실외 오염물질의 유입방지, 미생물 오염관리, 건물 개·보수시 공기오염관리, 사무실의 청결의무 등 대부분 선언적 사항 규정	실내공기질 유지기준 준수 의무, 환기설비 및 공기정화설비 설치의무, 실내공기질 자가측정 실시의무, 관리책임자는 실내공기질관리 교육 의무, 오염물질 다량 방출 건축자재 사용제한, 실내공기질관련 실태 보고의무
벌칙	법 제24조(보건상의 조치) 제1항의 규정에 위반한 자에 대하여는 5년이하의 징역 또는 5천만원 이하의 벌금에 처하는 포괄적 벌칙 규정(법 제67조)	환기설비 미설치시 개선명령부과 및 미이행시 벌칙 부과, 각 관리방법 미이행시 및 공기질기준 초과시 과태료 부과
기타	별도 제시 없음	측정방법 및 측정기관 제시

공기정화설비 등의 청소 개,보수 작업자에 대하여 오염원 종류, 응급조치요령 등에 대하여 알려한다.(제57조)

III. 사무실 실내공기질 실태 현황

실내공기질과 관련된 연구사례를 살펴보면 1990년 이전에는 실내공기오염의 측정이 주로 이산화질소 농도의 측정방법과 개인용 측정기구를 이용한 주택(거실, 주방)농도, 실외농도 및 개인노출량을 제시하였으며, 그 후, 1990년대 중반까지는 대부분 일산화탄소, 이산화질소, 이산화황, 총 부유분진 등 몇몇 오염물질에 관한 조사가 부분적으로 수행되어져 왔으나 최근에는 휘발성유기화합물, 환경담배연기, 중금속, 미세먼지, 석면, 다환방향족탄화수소, 미생물, 라돈 등 특수 또는 미량의 유해오염물질에 대한 조사가 보고되고 있다. 특히 지난 10여년간에 수행된 국내 실내공기질 연구결과를 주요 문헌고찰을 통해 실내공기오염물질별로 보면 국내에서는 PM10, NO₂, CO, CO₂ 등을 중심으로 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다.

사무실내의 실내공기질의 연구사례를 보면 1998년 보건복지부에서 서울, 울산지역 사무실을 대상으로 PM10과 CO, CO₂를 조사한 결과 PM10은 38.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 CO는 3.28ppm, CO₂는 556.9ppm으로 조사되었다. 한양대학교 환경 및 산업의학연구소에서 1995년에 서울시에 위치한 사무실을 대상으로 조사한 결과 PM10 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 1.83ppm, NO₂ 17.82ppb이었고 미생물 중 총세균은 590.66CFU/m³,진균류는 36.81CFU/m³이었다. 또한 도시지역의 흡연구역이 있거나 흡연을 허가하고 있는 건물내에서의 환경흡연에 관한 연구를 보면 PM10이 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이라는 기준치 이상의 농도를 보여 사무실에서의 ETS에 대한 문제점이 제기되

었다.

부산지역의 지하상가의 실내공기질을 대상으로 한 1998년 보건복지부의 조사결과 SO₂, CO, NO₂, TSP, 중금속의 실내공기 중 농도는 SO₂는 0.136ppm, CO는 1.395ppm, NO₂는 0.040ppm, TSP는 154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 나타내었으며 중금속 중 Pb는 0.996 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cd는 0.016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cr은 0.364 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, V는 0.361 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었다.

1998년 서울시 지하철공사의 지하철역사를 대상으로 실내공기질 조사결과 PM10의 경우 대합실 126.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장 172.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며, CO₂의 경우 대합실은 584.25ppm, 승강장은 466.25ppm을 나타내었다. 또한 NO₂는 대합실이 30ppb, 승강장이 25.7ppb로 나타났고, HCHO의 경우 대합실이 22.78ppb, 승강장이 24.33ppb로 조사되었다. TSP는 대합실이 206.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장이 235.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈으며 중금속 중 Fe의 경우 대합실은 19.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장은 37.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cu의 경우 대합실은 0.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장은 0.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 또한 라돈의 경우 대합실은 1.97pCi/L, 승강장은 0.88pCi/L로 나타났으며, 석면의 경우 대합실은 0.003 fiber/cc, 승강장은 0.002fiber/cc로 나타났다.

1995년 녹색생명운동연합에서 서울지역에 위치한 백화점의 실내공기중 CO₂, NO₂, HCHO, TSP, 미생물의 농도를 조사한 결과 CO₂는 779ppm, NO₂는 40ppb, HCHO는 0.16ppb이었고 TSP는 0.023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 미생물은 진균류가 297CFU/m³, 총세균이 1622CFU/m³로 조사되었다.

2002년 컴퓨터 게임방과 노래방의 실내공기질 오염도 조사에서 컴퓨터 게임방의 경우 CO₂, TSP, 미생물의 농도가 각각 1589ppm, 0.33mg/m³, 16CFU/m³로 조사되었으며, 노래방의 경우 각각 615ppm, 0.57mg/m³, 12CFU/m³로 조사되었다.

2002년 김윤신 등에 의해 서울시에 위치한 백화

점, 사무실, 아파트, 병원, 주택의 지하공간과 지상 공간의 실내공기중 라돈농도를 조사한 결과 지하공간의 경우 각각 31.6Bq/m³, 53.2Bq/m³, 24.4Bq/m³, 29.4Bq/m³, 88.6Bq/m³으로 조사되었으며, 지상공간의 경우 28.2Bq/m³, 32.2Bq/m³, 34.5Bq/m³, 28.6Bq/m³, 50.6Bq/m³으로 조사되었다. 또한 2002년 이철민 등에 의해 서울, 대전, 대구, 광주, 부산에 위치한 대학교 건물내 실내공기중 라돈농도 조사결과 각각 26.8Bq/m³, 28.2Bq/m³, 22.3Bq/m³, 16.0Bq/m³, 10.6Bq/m³으로 조사되었다.

실내공간 오염에 대하여 한국환경정책평가연구원의 “실내공기오염에 대한 국민 의식조사와 정책방안연구(2001)”를 보면 사무실 근로자들은 하루 평균 23 시간을 실내에서 보내고 있으며, 그 가운데 10시간 정도를 직장에서 보내는 것으로 나타났다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 실내공기 오염만을 놓고 생각할 때에는 사무실 공기질이 건강에 나쁜 영향을 끼친다는 응답이 70%를 넘고 있으며, 빌딩증후군을 느낀 적이 있다는 응답도 60%에 이르고 있다.

- 사무실 근무를 하면서 느낀 적이 있는 이상 증

세로는 ‘피로감.권태’, ‘졸림.나른함’ 등 원인 모를 무기력을 느꼈다는 응답이 80%를 넘고 있으며, ‘두통’, ‘재채기’ 등의 증상도 70% 이상이 경험한 것으로 나타났다. 이처럼 몸으로 이상을 많이 느끼다보니 정기 건강 검진에 사무실 공기오염과 관련된 질병 검사를 포함시켜야 한다는 견해도 90%로 매우 높으며, 사무실 공기 질을 정기적으로 평가해 보고 싶다는 응답도 80%로 높게 나타났다.

- 사무실의 공기를 오염시키는 주된 물질은 ‘먼지’라는 응답이 가장 높았으며, 그밖에는 ‘외부공기 유입’, ‘냉/난방 기구’, ‘실내흡연’ 등이 비슷하게 꼽혔다. 이러한 오염물질들이 제거되지않는 가장 큰 원인으로서는 60% 이상이 ‘환기시설 미흡’을 들고 있다.

- 사무실 내에 공기정화 장비가 없다는 응답도 56%에 이르고 있어 각 사무실들이 냉/난방에만 많은 신경을 쓸뿐, 공기 질 관리에는 큰 관심을 두지 않고 있음을 알 수 있다.

사무실근무자의 건강이상에 대한 자각증상에 대한 연구결과인 한국환경정책평가연구원의 “실내공기오염에 대한 국민 의식조사와 정책방안연구

표 3. 국내 실내공기질에 대한 측정결과(1992-1995)

측정대상		측정대상건물(측정 건물수)							
		사무소(5)		공동주택(4)		지하상가(4)		병원(4) (냉방기)	
		냉방기	난방기	(난방기)	냉방기	난방기	외래부	관리부	병동부
측정요소	허용기준								
CO	10ppm/8시간	3.7	4.9	3.9	3.4	3.1	2.9	2.8	2.2
CO ₂	1,000ppm/8시간	643	1010	402	866	1077	1210	924	876
HCHO	0.1ppm/일(WHO)	-	-	-	-	0.01	-	-	-
NO ₂	0.21ppm/시간(WHO)	-	-	-	-	0.06	-	-	-
SO ₂	0.12ppm/시간(WHO)	-	-	-	-	0.02	-	-	-
부유분진	0.15mg/m ²	0.05	0.07	0.03	0.107	0.12	0.018	0.013	0.027
라 돈	1.0pCi/l(ASHRAE)	-	-	1.87	-	-	-	-	-

자료 : 이윤규, “실내공기환경기준과 제어기술”, 『건설기술정보』, 1996. 10

표 4. 국내 사무실의 부유분진(PM10)과 데이트 농도

단위: ug/m³

위 치	시료수	평균(표준편차)	
		PM10	포름알데히드
사무실 및 복도	6	104.2(33.4)	4.8(0.3)
옥상1	1	128.2	1.8
옥상2	1	123.9	1.8

출처: 정지연, 고층상업빌딩 소재 사무실의 실내환경질 평가, 2002

표 5. 다중이용시설의 실내 농도

대상시설	포름알데히드 농도(ug/m ³)	
	평 균	범 위
가구점	494	417-597
화장품점	146	95-335
페인트점	78	59-131
옷가게	183	123-335
카페트점	72	32-138
벽지가게	337	136-534
신축아파트	173	13-3141
신축교사	252	101-885
신축사무실	302	103-674

출처: 신동천, 실내 공기 중 aldehydes의 실태 및 관측 연구, 2004

(2001)”를 보면 피로감, 권태를 느낀적이 있다는 반응이 87.7%로 가장 높았으며, 졸림이나 나른함(82.7%), 두통(76.3%), 재채기(73.7%), 목의 건조함(68.7%), 안구 염증이나 눈의 피로(61.0%), 코막힘이나 비염(62.3%)을 사무실 근무중에 느낀적이 있다고 조사되고 있다.

PM10 농도 경우 사무실내 평균이 기하평균 농도로 한국, 미국, 그리고 일본이 각각 58.9 ug/m³, 11.4 ug/m³, 20 ug/m³로 우리나라가 가장 높았고 일본, 미국 순이었다. 한국과 미국의 조사결과에 의하

면 대부분의 업무용 빌딩에 입주해 있는 사무실내의 먼지농도는 일부 사무실을 제외하곤 대부분 실외농도보다 낮은 수준인 것으로 조사되었으며, 사무실내에서의 PM10과 호흡성 또는 PM2.5 농도 간에는 높은 상관성이 있었으나 실내·외 농도 간에는 상관성이 높지 않은 것으로 조사되었다. 이는 사무실내의 먼지농도는 실외의 먼지농도에 의해서도 영향을 받지만 실내에도 먼지에 대한 오염원이 있을 수 있으며, 또한 실외의 공기가 사무실내로 유입되는 주요경로는 먼지 여과장치가 설치된 공기조화기를 일차적으로 거치기 때문에 실외의 먼지농도에 직접적인 영향을 받지 않을 수 있기 때문인 것으로 보인다.

사무실에서 검출되어지는 이산화탄소의 농도는 350-2500 ppm 정도이고, 일반 대기 중의 이산화탄소 농도는 약 350ppm 정도 된다고 한다. 우리나라 사무실에서 조사된 이산화탄소 농도를 보면 1일 평균농도로서 639-786ppm 정도였으며, 조사당시 실외의 이산화탄소 농도는 374-456ppm 정도였다. 그러나 사무실내에 불완전 연소기구가 없고 사람의 호흡이 주요 이산화탄소 발생원이며 또한 자연환기든 기계환기든 사무실내의 환기가 잘 안 이루어진다고 한다면 사무실내에서 이산화탄소 농도는 오전 11시와 오후 3시 전후에 가장 높은 농도를 보이게 된다. 정지연등의 조사결과에 의하면 환기가 잘 이루어지 않고 있는 빌딩에 소재한 9개 사무실 중 8개 사무실이 천장치(Ceiling)로서 800ppm을 초과하였고, 이중 3개 사무실은 1,000ppm으로 초과하였다고 한다.

1997년부터 1999년까지 미국 뉴욕소재 136개 업무용 빌딩에서 측정된 15,094개의 사무실내의 이산화탄소 농도측정치의 경우 평균 621ppm, 그리고 범위는 370-2,040ppm이었으며 전체 측정치 중 약 2%인 312개가 1,000ppm을 초과한 것으로 조사되

표 6. 사무실 근무 중의 건강 이상에 대한 자각 증상

	항상	자주	가끔	드물게	경험	무경험
두통	2.7	11.7	34.3	27.7	76.3	23.7
메스꺼움	1.0	5.7	13.7	29.7	50.0	49.7
콧물	1.3	7.3	21.0	28.7	58.3	41.7
코막힘, 비염	1.7	11.3	23.3	26.0	62.3	37.3
재채기	1.3	13.3	25.0	34.0	73.7	26.3
기침	1.0	8.0	22.0	27.7	58.7	41.3
호흡시 가슴소리	-	2.7	12.0	24.3	39.0	61.0
숨가쁨	1.0	1.7	11.0	29.0	42.7	57.3
가슴답답함	1.7	5.0	18.7	32.3	57.7	42.0
안구 건조 및 가려움, 안구열상	1.7	10.0	18.7	24.0	54.3	45.7
안구 염증, 눈의 피로	3.3	12.3	21.7	23.7	61.0	39.0
흐릿한 시야, 이중 시야	1.7	8.7	19.0	22.0	51.3	48.7
안구 열감	1.0	6.7	12.7	22.0	42.3	57.7
목의 염증	1.3	6.7	12.3	18.7	39.0	61.0
목이 쉬	0.7	4.7	13.3	28.3	47.0	53.0
목의 건조함	3.0	13.7	24.3	27.7	68.7	31.3
피로감, 권태	10.7	20.3	37.7	19.0	87.7	12.3
졸림, 나른함	6.7	26.0	27.0	23.0	82.7	17.3
오한	-	1.7	8.7	23.0	33.3	66.7
발열	0.3	1.7	6.3	19.3	27.7	72.3
관절, 근육통증	1.7	6.0	10.7	28.7	47.0	53.0
콘택트렌즈와 관련된 문제들	1.7	2.7	5.3	10.7	20.3	79.0
기억력 장애	1.7	3.3	10.0	24.3	39.3	60.7
현기증 및 어지러움	1.3	5.0	15.0	26.0	47.3	52.7
우울	1.0	2.7	9.7	24.7	38.0	62.0
긴장, 예민해짐	1.7	6.0	17.3	27.0	52.0	48.0
집중력 장애	2.0	8.0	19.7	26.3	56.0	44.0
피부건조 및 가려움증	1.3	5.0	22.0	20.0	48.3	51.3
상배부통 및 강직	-	3.0	9.7	21.3	34.0	65.7
히베르팅 a:c rldw:r	0.3	1.7	9.0	25.3	36.3	63.7
어깨 및 목 통증 또는 무감각	3.0	9.0	18.3	23.3	53.7	46.3
손 또는 손목 통증 및 무감각	1.0	4.3	14.3	24.7	44.3	55.7

었다. 조사당시 실외의 이산화탄소 농도는 평균 448 ppm이었고 농도 범위는 335-619 ppm 이었다.

1997년 일본 후생성이 특정건축물을 대상으로 실시한 사무실내의 이산화탄소 농도는 총 335개의 측정치 평균은 753 ppm 이었고 농도범위는 370-1,650ppm 이었으며 전체 측정치 중 8.1%가

1,000ppm을 초과한 것으로 조사되었다.

Apte등이 미국 EPA에서 실시한 BASE (building assessment survey and evaluation) 조사결과 중 1994년부터 1996년까지의 업무용 빌딩 41개소의 이산화탄소 측정치와 빌딩중후군 간의 연관성을 분석한 결과, 실내·외의 이산화탄소 농도차이가 클

수록 빌딩증후군(특히, 목, 눈, 그리고 코 자극증상, 흉부압박감, 기침)과 유의한 연관성을 가지는 것으로 조사되었다. 특히 실내·외의 농도차가 100ppm이었을 때 여러 혼란변수를 통제한 교차비(odds ratio)가 1.1에서 1.5로 증가하였고, 사무실내의 1일 이산화탄소 평균농도가 800ppm 이하로 유지되는 사무실의 경우 이산화탄소 농도의 1시간 최대치와 실외농도간의 차이가 250 ppm이었을 때 교차비는 1.3에서 2.3으로 증가하였다고 한다. 동 조사결과를 바탕으로 Apte는 사무실내에서의 환기율을 증가시켜 실외의 이산화탄소 농도 비슷한 수준으로 유지시킨다면 빌딩증후군의 유병율을 70~85% 정도 줄일 수 있다고 주장하고 있다.

이산화탄소는 산소를 운반하는 혈액속의 헤모글로빈과 친화력이 산소에 비해 약 200-250배 정도 높은 질식성 가스로서 탄소의 불완전 연소에 의해 발생하기 때문에 사무실내에서의 주요발생원은 각종 개방형 연소기구, 그리고 흡연을 들 수 있으나 대부분의 업무용빌딩은 개방형 연소기구를 사용하지 않고 있고, 또한 대부분의 빌딩이 금연빌딩이기 때문에 흡연에 의한 영향도 별 크지 않은 것 같다. 따라서 사무실내에서의 일산화탄소 농도에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 자동차 배기가스에 의한 영향이 큰 것 같다. 특히 사무실이 인접한 도로에 위치하거나 빌딩 내에 설치된 주차장등에서 발생한 자동차 배기가스가 적절히 관리되지 않는다면 사무실내의 일산화탄소 농도는 높아질 수 있다. 현재 사무실내에서의 일산화탄소 관리기준은 대부분의

기관이 10ppm을 제시하고 있으며, 사무실에서의 일산화탄소 농도가 5ppm이 넘으면 주변에 일산화탄소 발생원이 있는지 의심해보아야 한다.

홍콩에서는 1995년부터 1997년까지 40개의 사무실을 대상으로 실내공기질에 대한 연구를 수행한 결과 조사대상의 32%가 "sick building"으로 확인되었고, 대상시설의 37.5%가 이산화탄소의 관리기준인 1000 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 32.5%가 포름알데히드의 기준인 100 ug/m³을 초과하였고 공기중 박테리아는 20%가 관리기준 1,000 cfu/m³을 초과하는 것으로 조사되었다. 이러한 실내공기질 악화의 주원인은 사무실 거주자의 밀도가 높고 환기 및 공기조화시스템의 유지 및 관리부족인 것으로 나타났다.

표 7은 각국의 업무용 빌딩 사무실에서 조사된 일산화탄소 농도를 나타낸 것으로 우리나라 경우 사무실내의 일산화탄소 평균농도는 2.6ppm이었고, 미국의 경우 1.7ppm, 그리고 일본은 1.2ppm으로 우리나라가 미국이나 일본보다 약 2배 정도 높았으나 관리기준(10ppm)에 비해 매우 낮은 수준이었다.

한국산업안전공단에서 실시한 실태조사의 결과를 보면 국내 업무용 빌딩에 위치한 36개 사무실에서 총 151개의 시료와 옥외에서 42개의 시료를 채취하여 평가한 결과 사무실의 경우 기하평균농도는 사무실의 경우 0.032 ppm, 그리고 옥외의 경우 0.007ppm으로 사무실 실내가 실외에 비해 4.6배 정도 높게 나타났으며, 사무실내 총 151개의 시료 중 관리기준(0.1ppm)을 초과한 시료는 2%인 3개 시

표 7. 각국의 업무용 빌딩 사무실의 일산화탄소농도

(단위 : ppm)

물 질	한 국			미 국			일 본		
	시료수	평균	범 위	시료수	평균	범 위	시료수	평균	범 위
일산화탄소	396	2.6	1.6-4.7	15,094	1.7	0.2-10.3	335	1.2	0.3-3.0

료인 것으로 조사되었다. 사무실내에서 포름알데히드 농도는 특히 발생원의 존재유무 및 배출량, 그리고 사무실의 환기조건, 온도 및 습도조건에 따라 농도가 달라지는데, 독일, 핀란드 및 미국등지에서 조사된 실내에서의 포름알데히드 농도범위는 약 0.07-1.9ppm 정도 되는 것으로 조사되었다. 발암성을 제외한 포름알데히드 노출과 관련된 주증상은 주로 눈, 코 등 호흡기계 및 피부자극 증상과 관련이 있으며 이런 자극증상은 0.01-2.0ppm 수준에서도 발생하는 것으로 보고되고 있다.

우리나라의 경우 사무실내에서 휘발성 유기화합물에 대한 관리기준은 아직까지 미설정 되어 있으며, 환경부 경우 C₆-C₁₆까지의 휘발성유기화합물을 Tenax등의 흡착제로 포집하여 열탈착방법을 이용한 GC/MS 분석법으로 분석하여 이를 톨루엔의 농도로 환산한 측정치로서 평가토록 하고 있는데, 대합실, 터미널 등의 다중이용시설에 대해서는 500 μ g/m³, 그리고 의료기관, 보육시설 등의 시설에 대해

서는 400 μ g/m³를 제시하고 있다. 외국의 경우 TVOC의 기준은 일본이 400 μ g/m³, 홍콩과 중국, 핀란드가 600 μ g/m³를 제시하고 있다. 그러나 TVOC의 경우 단일물질로 평가해야 하는지 혹은 총 휘발성 물질의 합으로 평가해야 하는지에 대한 논의가 분분하고, 비록 TVOC의 농도로서 관리기준을 제시하고 있는 기관이 있기는 하지만 TVOC 노출과 건강영향 간에 양-반응관계가 아직까지는 정립된 것이 없다. 따라서 SBS가 발생된 사무실에 대한 조사시 TVOC가 원인물질로 추정되는 경우 SBS가 발생한 사무실과 발생하지 않는 사무실, 그리고 실내 및 실외에서의 TVOC 비교평가가 단순히 TVOC의 기준과 단순비교 하는 것 보다 더 중요할 수 있으며, 특히 검출되어지는 휘발성 유기화합물 중 자극성, 또는 알러지를 유발하는 물질이 검출되는 경우 개별물질로 평가하는 것이 더욱 중요할 수 있다.

표 9는 1990년대부터 2003년까지 환경관련 학술

표 8. 실내에서의 발견된 주요 휘발성유기화합물의

물 질 명	농 도(μ g/m ³)				평 균
	Percentile				
	10	50	90	98	
Benzene	2	10	20	30	10
Toluene	30	65	150	250	80
n-Decane	3	10	50	90	20
Limonene	2	15	70		30
o-Xylene	3	5	10		10
1,1,1-Trichloroethylene	2	5	20		10
p-Dichlorobenzene	1	5	20		
1,2,4-Trimethylbenzene		5	20		10
m- and p-Xylene	10	20	40		20
Undecane	3	5	25		10
1,3,5-Trimethylbenzene		2	5		5
Dichloroethane		<10	<10	600	
Trichloroethane	1	5	20	30	

지에 발표된 실내환경에 관한 연구논문 중 사무실 관련 연구결과만을 취합하여 제시한 것으로 내용을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 1990년 이후 국내 환경관련학회지에 수록된 사무실 실내공기질 실태조사에 관한 연구결과물을 정리한 것으로 총 8편의 논문이 발표된 것으로 조사되었다.

- 신동천 등(1990)은 가스 검지관과 용액흡수법 및 Dust Monitor를 이용하여 서울시에 위치한 흡연사무실과 비흡연사무실의 실내공기 중 오염물질 농도분포를 조사하여 제시하였다.

- 신혜수 등(1993)은 사무실 4곳을 대상으로 활성탄관(charcoal, coconut, 100 mg / 50 mg : Gillian Co.)을 개인용 공기포집기에 부착하여 200 ml/min의 유속으로 2 ~ 3시간을 포집, 용출 후 GC(Hewlett Packard 5890)을 이용하여 휘발성유기화합물질을 조사하였다.

- 백성옥 등(1996)은 대구시에 위치한 사무실을 대상으로 비분산적외선분석법을 이용하는 CO11M (Environment S.A., France)을 이용하여 일산화탄소를 측정하였다. 또한 이산화탄소는 Tedler Air Sampling Bag(SKC Inc., UK)를 이용하여 포집한 후 FID와 Methanizer(Zr/Ni catalytic reactor, Perkin Elmer, USA)가 장착된 GC를 사용하여 분석하였다. 또한 휘발성유기화합물질은 30 mg의 carbotrap(60/80 mesh, Supel Co.)을 충전한 스테인레스 스틸 샘플링 튜브를 휴대용 펌프에 부착하여 포집한 후 SGE BP1 capillary column을 갖춘 GC에 자동열탈착장치인 ATD 400(Perkin Elmer, UK)을 부착하여 분석하였다.

- 황승만 등(1999)은 대구 및 대전 지역에 위치한 사무실 환경을 선정하여 흡연 및 비흡연 그룹으로 나누어서 Personal 펌프를 이용하여 호흡성분진을 포집하였다.

- 남보현 등(2002)은 Mini-Volume Portable Sampler(Model 4.1, Airmetrics Co., USA)를 사용하여 PM10을 포집하였다.

- 방선재 등(2002)은 서울과 경기도에 위치한 사무실을 대상으로 공기 중의 미생물을 조사하여 보고하였다.

- 김윤신 등(2002)은 서울에 위치한 사무실내 공기중의 라돈농도를 지하공간과 지상공간으로 구분하여 일본 나고야 대학 원자력핵공학과에서 제작한 Passive Monitor인 Radon Cup을 이용하여 조사하여 보고하였다.

- 박정균 등(2003)은 CO integrator(V-01-AN, Japan) 및 CO₂ integrator(CD-95, Japan)를 사용하여 일반 사무실과 공중 사무실 실내공기 중의 CO 및 CO₂를 조사하여 보고하였다.

- 기준공기오염물질의 병합평균농도는 호흡성분진의 경우 $114 \pm 84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 일산화탄소는 2 ± 1.6 ppm, 이산화탄소는 $1,008 \pm 983$ ppm로 분석되었으며, 포름알데히드의 경우 1990년 이후 국내 환경 관련 학술지에 발표된 연구결과가 없는 것으로 조사되었다. 또한 휘발성유기화합물질의 병합평균농도는 Benzene은 $11.1 \pm 13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Toluene은 $65.8 \pm 79.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ethylbenzene은 $7.7 \pm 9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m-p-Xylene은 $23.1 \pm 25.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Styrene은 $5.5 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o-Xylene은 $14.6 \pm 17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다.

1) 국내 관련 연구사례 상세 조사 및 분석

작업환경측정협의회에서는 2004년 7월부터 9월 까지 사무실에서 발생하는 오염물질의 농도수준을 조사하고 사무실 근무자의 자각 증상 등을 파악하여 사무실 실내공기관련체도의 개정을 위한 근거자료를 제시하고 사무실 근무자의 건강을 관리하는데

표 9. 사무실 실내공기질에 관한 선행 연구결과의 요약

저자 (년도)	조사장소 (기간)	오염물질	조사방법	요약(농도)
신동천 등 (1990)	서울 5개 사무실 (1989. 2 / 1989. 7)	CO, CO ₂ , NO _x , SO ₂ , TSP	<ul style="list-style-type: none"> • Gastec detector pump(unico 400), • KIMOTO(HS-7, Japan) • Pararosaniline formalin • Dust monitor 	Non-smoke (Summer, Winter) CO-1.4±0.4, 3.1±1.7 CO ₂ -646±148, 741±185, NO _x -0.136±0.008, 0.023±0.010 TSP-86±25, 137±41 smoke(Summer, Winter) CO-2.0±0.9, 4.5±2.5 CO ₂ -806±186, 680±175, NO _x -0.018±0.006, 0.033±0.017 SO ₂ -0.046±0.022, 0.049±0.025 TSP-139±104, 225±92
신혜수 등 (1993)	서울 4개 사무실 (1993. 3 ~ 4)	Benzene Toluene Ethylbenzene o-Xylene m-p-Xylene	<ul style="list-style-type: none"> • Charcoal, coconut, 100mg/50mg : Gillian) 	Benzene-76.9±63.7, Toluene-434.8±467.4, Ethylbenzene-54±64, o-Xylene-18.5±15.2, m-p-Xylene-46.9±33.2
백성욱 등 (1996)	대구 24개 사무실 (1994. 8 / 1994. 12 ~ 1995. 1).	CO, CO ₂ , NO ₂ , Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m-p-Xylene, Stylene, o-Xylene, 1,3,5-TMB, 1,2,4-TMB, Naphthlene	<ul style="list-style-type: none"> • CO11M, Environment. S.A., France • Tedler air sampling bag(SKC Inc., UK) (GC: Zr/Ni catalytic reactor analysis) • Filter Badge(Toyo Roshii Kaisha Inc, Japan) • Portable Pump (Model AFC123, Casella London Ltd, UK) • Carbotrap(60/80 mesh, Supeloco Inc, USA) (GC: ATD-400 analysis) • Portable Pump (SP15, Casella London, UK) 	CO-2±1.6, CO ₂ -1008±983, NO ₂ -0.022±0.013, Benzene-11.1±13.1 Toluene-65.8±79.8, Ethylbenzene-7.7±9.3, m-p-Xylene-23.1±25.6 Stylene-5.5±5.2, o-Xylene-14.6±17.9 1,3,5-TMB-8.1±19.1 1,2,4-TMB-18.3±39.2 Naphthlene-6.9±7.2
황승만 등 (1999)	대구와 대전 18개 사 무실 (1999. 8~9)	PM10	<ul style="list-style-type: none"> • Portable pump 	Daegu(Smoke, Non-smoke) PM10-55.10, 7.66 Daejeon(Smoke, Non-smoke) PM10-59.80, 96.80
남보현 등 (2002)	서울 2개 사무실 (2000. 4~10)	PM10, B, Mg, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Ba, Ce, Pb	<ul style="list-style-type: none"> • Mini-volume portable sampler (Model 4.1, Airmetrics Co., USA) 	PM10-57.5, B-0.540, Mg-0.009, Al-1.097, Ti-0.005, V-0.001, Cr-0.140, Fe-0.487, Ni-0.035, Cu-0.001, Zn-0.830, As-0.001, Se-0.001, Cd-0.001, Ba-0.447, Ce-0.002, Pb-0.027
방선재 등 (2002)	서울과 경기 4개 사무실 (2001. 6 ~ 9)	Legionella.spp Bacteria Fungi Coliform	<ul style="list-style-type: none"> • Air Sampler MAS 100 (MERK Germany) 	Legionella.spp-5, Bacteria-230, Fungi-54, Coliform-112
김윤신 (2002)	서울 5개 사무실 (1996. 3~1997.3)	Rn	<ul style="list-style-type: none"> • Radon cup(Passive integrate) 	Underground Rn-53.2±28.7 Above ground Rn-32.2±7.1
박정균 등 (2003)	경기도	TSP, CO, CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Dust Indicator(P-5H, Japan), • CO Integrator(V-01-AN, Japan) • CO₂ Integrator(CD-95, Japan) 	General office TSP-50, CO-1.31, CO ₂ -806.25 Public office TSP-35, CO-1.35, CO ₂ -929.55

있어 지침자료를 제공할 목적으로 사무실 공기질 오염 실태조사를 실시한 바 있다. 이 사업의 내용 및 결과를 간략히 요약하여 정리하면 다음과 같다.

① 연구대상

서울, 경기, 부산, 순천에 위치한 신축 및 개축 사무실 40개소를 대상으로 1년 이내, 1년과 3년 사이, 3년 이상 및 지하사무실로 구분하여 사무실내의 실내공기질을 조사하였으며, 사무실에 근무하고 있는 사무실 근무자 1,395명을 대상으로 빌딩증후군에 관한 인식 및 자각증상에 대한 설문조사를 2004년 7월부터 9월까지 실시하였다.

② 연구내용 및 방법

사무실 실내공기오염물질 즉 포름알데히드, 휘발성유기화합물, 이산화탄소, 호흡성분진, 세균의 농도를 조사하였고 이산화탄소와 호흡성분진은 외기의 영향을 알아보기 위해 실외의 농도를 조사하였다.

사무실 실내공기오염물질에 대한 측정 및 분석방법은 환경부의 실내공기질 공정시험방법을 준용하였으나 호흡성분진의 경우는 광산란방식인 직독식 장비(Sibata, Model GT331, Japan)로 호흡성분진의 농도를 측정하였다.

또한, 사무실 근무자를 대상으로 실내공기오염 인식 및 증후군에 대한 자기기입식 설문지는 한국

환경정책평가연구원(2001)에서 사용한 실내공기질 자각증상 설문조사 양식을 사무실 근무자에 적절하게 수정하여 사용하였다.

설문지는 일반적 사항, 사무실 환경, 건강장해, 관련법규사항 등으로 구성되어 있으며, 설문조사방법은 자기기입식 조사방법을 활용하였다.

③ 실태조사 결과

- 사무실의 일반적 특성 및 온열환경

표 10은 본 연구에서 조사된 사무실의 일반적 특성(건물의 연식 및 사무실 근무자수)과 온열환경(온도 및 습도)을 나타낸 것으로 사무실의 연식 및 지하사무실의 분포는 1년 이내 8개소, 1년에서 3년 사이 8개소, 3년 이상 15개소, 지하사무실 9개소로 구분할 수 있었다. 연구대상 사무실의 사무직 근무자의 수는 전체 22.7 ± 45.8명으로 건물 연식이 1년 이내, 1년 이내에서 3년 사이, 3년 이상의 사무실에 근무하는 사무직 근무자의 수는 49.5 ± 101.5명, 16.5 ± 7.9명, 18.9 ± 9.7명이었으며, 지하사무실의 경우는 10.7 ± 6.3명으로 조사되었다.

사무실의 평균 실내온도 및 상대습도는 각각 25.5 ± 1.8℃, 60.4 ± 12.6%로 1년 이하의 사무실의 경우 25.2 ± 1.9℃, 58.0 ± 13.7% 1년에서 3년 사이의 사무실은 25.0 ± 2.3℃, 60.3 ± 16.1%, 3년 이상의 사무실은 25.8 ± 1.6℃, 63.2 ± 12.0%였으며, 지하사무실의 경우는 25.8 ± 1.8℃, 58.1 ± 10.3%였다.

표 10. 조사대상 사무실의 일반적 특성

분 류	지 상				지 하	총 합
	1년 미만	1-3년	3년 이상	총 합		
조사대상 사무실 수	8	8	15	31	9	40
작업자수 (평균±표준편차)	50±101.5	17±7.9	19±9.7	26±51.6	11±6.3	23±45.8
온도(℃)	25.2±1.9	25.0±2.3	25.8±1.6	25.5±1.8	25.8±1.8	25.5±1.8
상대습도(%)	58.0±13.7	60.3±16.1	63.2±12.0	61.6±13.3	58.1±10.3	60.4±12.6

이들 사무실간의 평균 온도 및 상대습도는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으며(각, $p=0.54$, $p=0.67$), 지상과 지하 사무실의 평균 온도 및 상대습도 역시 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(각, $p=0.61$, $p=0.12$).

- 사무실의 실내공기오염도

사무실 실내공기 중 이산화탄소의 농도를 측정할 결과 1년 이하, 1년에서 3년 사이 및 3년 이상 된 사무실에서 각각 506.2 ± 152.5 ppm, 480.7 ± 231.4 ppm, 659.3 ± 296.5 ppm으로 조사되었으며, 건물의 연식에 따른 사무실 내 공기 중 이산화탄소의 농도 간에는 통계적으로 유의한 차이는 나타내지 않았다($p=0.20$). 또한 지상과 지하에 위치한 사무실 내 이산화탄소의 농도는 각각 573.7 ± 257.1 ppm, 574.8 ± 230.1 ppm으로 이 또한 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=0.93$).

휘발성유기화합물은 건물연식이 1년 이하 및 1년에서 3년 사이 된 사무실에서 각각 $762.2 \pm 1121.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $248.1 \pm 125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 통계적으로 유의

한 차이를 나타내지는 않았으며($p=0.56$), 완공 후 3년 이상 된 사무실에서는 조사가 이루어지지 않았다. 지상과 지하에 위치한 사무실 내 공기 중 휘발성유기화합물의 농도는 각각 $648.0 \pm 997.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $360.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 이 역시 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다($p=0.79$).

사무실 내 포름알데히드에 대한 오염정도는 건물연식이 1년 이하, 1년에서 3년 사이 및 3년 이상 된 사무실에서 각각 52.6 ± 32.8 , 67.3 ± 65.2 , 50.6 ± 28.1 로 조사되었으며, 이산화탄소와 같이 건물의 연식에 따른 실내공기중의 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.74$). 지상과 지하에 위치한 사무실 실내공기 중 농도는 각각 $55.4 \pm 40.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $62.0 \pm 21.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=0.58$).

미생물에 의한 사무실 공기의 오염정도는 건물의 연식 즉, 1년 이하, 1년과 3년 사이 및 3년 이상의 사무실에서 각각 218.3 ± 183.0 CFU/ m^3 , 96.5 ± 58.7 CFU/ m^3 , 72.0 ± 76.4 CFU/ m^3 로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었으며

표 11. 조사대상 사무실 실내공기중 오염물질의 농도

	지 상				지 하 (N=18)	총 합 (N=80)
	1년 미만 (N=16)	1-3년 (N=16)	3년 이상 (N=30)	총 합 (N=62)		
CO ₂ (실내)	506.2±152.5	480.7±231.4	659.3±296.5	573.7±257.1	578.9±100.2	574.8±230.1
CO ₂ (실외)	404.9±107.3	323.5±81.9	387.9±117.5	375.6±108.3	427.7±82.4	387.4±104.4
VOC(ug/m ³)	762.2±1121. (N=7)	248.1±1.25 (N=2)	-	648.0±997.3	360.1 (N=1)	698.2±944.7 (N=10)
HCHO(ug/m ³)	52.6±32.8	67.3±65.2	50.6±28.1	55.4±40.8	62.0±21.9	56.9±37.2
Bacteria(CFU)	218.3±183.0 (N=4)	96.5±58.7 (N=2)	72.0±76.4 (N=2)	151.3±144.5	272.3±90.4 (N=6)	203.1±135.1 (N=14)
호흡성분진(실내) (ug/m ³)	65.2±48.3	48.5±34.5	65.0±50.8	60.8±45.6	61.5±57.1	60.9±47.6
호흡성분진(실외) (ug/m ³)	93.1±51.37	69.8±47.7	80.4±50.0	81.0±48.8	224.6±319.0	113.3±162.4

표 12. 노동부나 환경부 규제기준초과 대상 사무실의 수 % (초과수/조사수)

	1년 미만	1-3년	3년 이상	지하	총합
CO ₂ (실내)	-	-	6.7(2/30)	-	2.5(2/80)
CO ₂ (실외)	-	-	-	-	-
VOC	28.6(4/14)**	-	-	-	20(4/20)
HCHO	6.3(1/16)	18.8(3/16)	6.7(2/30)	-	7.5(6/80)
미생물	-	-	-	-	-
호흡성분진(실내)	-	-	-	5.6(1/18)	1.3(1/80)
호흡성분진(실외)	-	-	-	-	-

(p=0.49), 지상과 지하에 위치한 사무실의 공기 중 미생물의 농도는 각각 151.3 ± 144.5 CFU/m³, 272.3 ± 319.0 CFU/m³으로 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.29).

호흡성분진의 농도는 1년 이하, 1년과 3년 사이 및 3년 이상에 대해 각각 65.2 ± 48.3 , 48.5 ± 34.5 , 65.0 ± 50.8 로 건물의 연식에 따른 사무실 내 공기 중 호흡성분진의 농도에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.88). 지상과 지하에 위치한 사무실 내 공기 중 호흡성분진의 농도는 각각 60.8 ± 45.6 , 61.5 ± 57.1 로 이 또한 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.97).

그림 1은 이산화탄소와 호흡성분진의 사무실 실내의 공기중 농도간의 상관관계를 나타낸 것으로 가스상 물질인 이산화탄소의 경우 양의 상관관계를 나타냈으며(r=0.39, p=0.01), 입자상 물질인 호흡성분진 역시 양의 상관관계를 나타냈다(r=0.43, p=0.01).

이산화탄소의 경우 전체 80개의 시료 중 2건(2.5%)이 유지기준(1,000 ppm)을 초과한 것으로 조사되었으며, 휘발성유기화합물의 경우는 전체 20개의 시료 중 4건(20%)이 유지기준($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 것으로 조사되었다. 특히 이 4건 모두 건물

연식이 1년 이하인 사무실에서 조사되었다. 포름알데히드의 경우는 전체 80개의 시료 중 6건(7.5%)이 유지기준($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 것으로 조사되었으며, 휘발성유기화합물에 비해 건물연식이 1년 이하, 1년과 3년 사이, 3년 이상의 건물에서 유지기준을 초과하고 있는 것으로 조사되었다. 호흡성분진의 경우는 전체 80개의 시료 중 1건(1.3%), 즉 지하시설물에 위치한 사무실에서 유지기준($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 것으로 조사되었다.

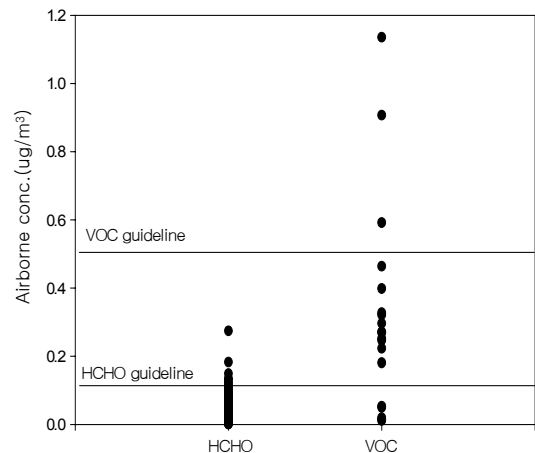


그림 1. 조사대상 사무실 내 휘발성유기화합물의 공기중 농도

IV. 결론 및 제언

최근 사무실의 실내공기오염물질 실태조사를 요약해 보면 다음과 같다.

포름알데히드는 신축 1년 이내 사무실에서는 1개소 (183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 1-3년사이의 사무실은 2개소(124-274 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 3년이상된 사무실은 2개소(131-134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 노동부 및 환경부의 포름알데히드 관리기준인 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1 ppm)을 초과하여 12.5%의 초과율을 보였다. 휘발성유기화합물은 신축 1년 이내 사무실 7개중 3개소에서 환경부의 권고기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하여 42.9%의 초과율을 보였고 초과한 농도범위는 591-6349 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 권고기준의 10배를 넘게 초과하는 사무실도 있었다. 본 결과는 여름에 측정된 것이므로 실내가 밀폐되는 가을이나 겨울에는 실내공기 오염물질의 농도가 더 상승할 것으로 예상된다. WHO와 홍콩의 포름알데히드에 대한 권고기준치는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 포름알데히드 건축자재나 가구등에서 지속적으로 발생되고 있으므로 건축년수에 관계없이 포름알데히드의 계속적인 관리가 중요하다. 휘발성유기화합물은 신축 1년 이내 사무실에서만 초과된 것으로 보아 신축 또는 리모델링한 사무실에서 휘발성유기화합물의 저감노력과 관리는 매우 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다.

사무실환경과 작업환경과의 차이점은 작업환경에 비하여 사무실의 오염물질 농도가 저농도이고 일정한 농도를 유지하고 있으나 하루 24시간의 90%를 실내에서 지내고 있고, 사무실근로자뿐만 아니라 사무실에 방문하는 대상이 노약자를 포함하여 매우 다양하다는 것이다. 아울러 약 250여종의 화학물질에 사무실 근로자가 노출되고 있고 건강한 성인남녀가 근무하는 작업장에 비하여 사무실은 실내오염물질 민감집단(만성병자, 노약자)등이 근무할 가능성도 있다. 또한 작업장은 노출되는 화학물

질을 국소배기장치등으로 근로장에 대한 노출을 보호할 수 장치가 마련되어 있으나 사무실 근무자는 자연환기 또는 빌딩내의 환기시스템에 의하여 실내오염의 오염물질을 방출하고 있으나 대부분의 환기시스템은 기준치에 미치지 못하고 있다.

사무실의 근무자는 쾌적한 환경에서 근무할 것으로 생각되나 위에서 지적한 바와 같이 실내오염물질이 근무자들에게 노출되고 있고 이러한 상황을 최근의 실태조사에서 그대로 반영하고 있다.

노동부에서는 사무실근무자들의 건강을 보호하기 위하여 개선방안을 마련 중에 있고 관련된 사무실 실내환경 관련 연구용역을 한국산업위생학회와 한국실내환경학회에 의뢰하여 개선방안을 마련중에 있다. 추진내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 법 적용대상 사무실 범위 선정문제이다. 현재 산업보건기준에 관한 규칙 제 46조 (정의)에서 사무실의 정의를 “중앙관리방식의 공기정화설비등을 갖추고 근로자가 업무를 수행하는 실내공간과 그 부속시설인 휴게실 식당 화장실 회의실 강당 보건 의료시설 복도 계단 등의 공간”로 규정하고 있으나 중앙관리방식의 공기정화설비를 갖추지 않은 빌딩에서 사무업무에 종사하는 근로자도 실내공기 오염으로 건강장해를 예방하고 관리할 필요가 있다. 그러므로 사무실의 정의를 “사무직 근로자가 일하는 환경”으로 범위를 확대하는 방안의 마련되어야 한다.

둘째, 사무실 공기질 측정횟수 및 주기 제시인데 사무실의 오염부하가 가장 큰 계절은 환기가 불량한 여름 또는 겨울철이고 특히 여름에는 온도가 높아 오염물질의 비교적 높게 증가하는 추세를 보이고 있다. 사무실 환경관리를 자율적으로 실시할 것인지 또는 의무성을 부여하여 주기성을 가지고 할 것인지에 따라 접근방향이 달라져야 한다.

셋째, 사무실 공기질 측정 및 분석 방법의 결정인

데 측정 및 분석방법에는 시료채취장소, 시료채취 근로자 및 지역수, 시료채취의 높이, 시료채취 시간 및 측정방법 등의 항목이 포함된다. 일차적으로 보건기준에서 정하고 있는 4가지 관리오염물질 즉 이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드, 호흡성분진에 대한 공기질 측정 및 분석방법을 제시하고 미지정 물질 즉 휘발성유기화합물, 이산화질소, 석면, 부유세균, 오존, 라돈에 대하여는 실태조사를 통하여 기준제정의 필요성을 확보한 후 공기질 측정 및 분석방법을 제시한다. 특히 라돈은 실내공기 중에서 농도변화가 매우 심하고, 주로 지하사무실에서 높은 농도로 존재할 수 있으므로 미국 환경보호청에서는 48시간이상 측정할 것을 권고하고 있다. 위와 같은 사항을 감안하여 다음과 같은 연구항목을 통하여 사무실 공기질 측정 및 분석 방법 등이 제시되어야 한다.

넷째, 사무실 환기설비의 성능 및 환기기준 제시와 관리의무자 주체의 결정인데 사무실은 사업장내의 사무실을 제외하곤 대부분 빌딩 내에 위치하고 있어 사무실의 사업주와 빌딩관리주가 다른 상황이 대부분이다. 또한 한 빌딩 내에 여러 개의 사무실이 임대형식으로 위치하고 있어 사무실 실내 환경관리 및 개선에 어려움이 많다. 사무실의 사업주만 대상으로 실내환경관리 의무를 부여하는 현 규정은 사무실의 환기설비를 관리하는 빌딩관리주에게는 적용되지 않아 사무실 환경개선에 크게 기여하지 못하고 있는 실정이다. 사무실의 환경개선을 위한 법적용 사업주의 범위를 빌딩관리주까지 확대하는 방안이 검토하여야 한다.

다섯째, 측정기관의 인력 및 장비 등 지정요건 선정인데 기술한 바와 같이 현재 우리나라의 사무실은 대략 100만개 정도로 추산되고 있으나 정확한 대상 사무실의 개수는 파악되지 않고 있다. 100만개의 사무실을 측정하고 관리하는 것은 현 작업환

경측정기관의 인력으로는 부족하므로 측정인력의 확대 및 양성방안이 필요할 뿐 아니라 실내공기 오염물질 중의 하나인 총휘발성유기화합물(TVOC)을 분석하기 위해서는 고가의TD-GC-MSD(여탈착과 질량분석기 부착 가스크로마토그래프)가 필요한데 현재처럼 모든 측정기관에 고가의 장비를 구비하도록 의무를 부여하는 방안과 지역별로 중앙분석센터를 지정하여 총휘발성유기화합물에 대하여는 분석의뢰를 하도록 하는 방안이 검토되어야 한다.

사무실 실내공기질의 지속가능한 발전을 도모하기 위해서는 종래의 오염현황 파악에서 탈피하여 일정 규모의 대형 실내건물에 대해서는 건축물 특성, 실내 환경오염 측정, 주변 환경시설 및 오염도, 실내거주자의 빌딩증후군 관련 자각증상 조사 등을 고려한 실내환경영향 평가제도를 모색할 수 있고, 이를 기초로 홍콩과 같은 실내환경빌딩인증제도 또는 쾌적한 빌딩(CB- Clean Building) 인증마크를 부여하는 제도를 검토할 수 있다. 또한 실내오염관리의 비용효과면을 고려한 위해성평가모델이 개발되고, 사무실 근무자의 건강증진모형의 설정이 수반되어야 한다.

- 참고문헌 -

1. 김신도 외 “실내공간 실내공기오염 특성 및 관리 방안 연구” 환경부(2002)
2. 김신도 외 “실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사” 환경부(2001)
3. 김영민 외 “대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도”, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집 pp348~351(1995)
4. 김윤신, 김동술, 이주형, 실내외 공기오염의 보건학적 영향에 관한 조사연구, 대한 보건협회지, 17(1), 90-96, 1991.

5. 김윤신, 노영만, 홍승철, 이철민, 전형진, 김종철, 조정현, 다중이용시설에서의 실내 공기질 조사, 한국실내환경학회지, 1(2), 144-155, 2005.
6. 김윤신 외 “삼성항공내 사무실의 공기질 평가에 관한 조사”, 한양대학교 환경 및 산업의학연구소 (1995)
7. 김윤신 외 “서울시내 대형 백화점의 공기질 조사에 관한 연구” 한국일보사 환경운동연합 녹색생명운동(1995)
8. 박정균, 윤재웅, 다중이용시설의 실내환경 관리 수준과 영향요인의 분석, 환경관리학회지, 9(1), 25-37, 2003.
9. 백성옥, 김영민, 도시지역에서의 실내외 주변공기 중 휘발성유기화합물의 농도측정에 관한 연구, 대한환경공학회, 18(2), 181-197, 1996.
10. 백성옥 외 “대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도”, 대한환경공학회 추계학술발표회 논문초록집 pp348~351(1995)
11. 백성옥 외 “도시지역 실내환경 유형별 공기질 특성 평가”, 한국대기보전학회지 제14권 제4호, 1995.
12. 삼성물산 건설부문 기술연구소, 한양대학교 건설연구소, “건축물의 실내공기환경평가에 관한 연구(Ⅱ)”(1997)
13. 서울특별시, “지하생활공간 공기오염 저감방안 연구”, (1997)
14. 신동천, 등. (2001) 실내공기 오염물질의 위해성 평가 지침서. 연세대 환경공해연구소
15. 신웅배 외 “서울시 지하철내 환경기준 설정 및 환경관리방안에 관한 연구”, 서울특별시 지하철공사(1992)
16. 신혜수, 김윤신, 허귀석, 실내외 공기중 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 310-319, 1993.
17. 이지호, 박성은, 신동천, 실내 환경 중 aldehyde 분석과 다양한 실내구역에서의 농도 분포, 한국환경분석학회지, 3(2), 117-128, 2000
18. 정지연, 이광용, 이병규, 피영규. 사무실 공기질 평가 및 관리기준 개발(I). 산업안전보건연구원, 2004.
19. 환경부, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방안 연구, 2002.