

사무실 오염물질 측정 및 평가

실내환경질은 최근 들어 중요한 사회문제로 부각되고 있다. 최근 들어 빌딩의 밀폐화, 합성재료의 사용, 실외공기 공급 감소를 유도하는 에너지 절약수단들과 관련하여 불편함을 호소하는 사람들이 늘어나고 있는 추세이다. 현대의 사무자동화기(복사기, 레이저프린터, 컴퓨터 등), 각종 청소용 물질사용, 대기오염은 실내오염물질의 농도를 증가시키는 요인으로 작용하고 있다.

실내오염 물질들이 사무실 근로자들의 건강이상 증상에 실제적인 원인으로 작용하던 안 하던 간에, 지출되는 의료비용, 빌딩조사비용, 그리고 수입손실이 미국의 경우 대략, 연간 47억불 정도 된다는 보고도 있다.

이러한 비용 이외에도 실내환경질 저하가 근로자의 집중과 생산성을 저하시켜 근로자 1인당 하루 평균적으로 14분의 시간 손실을 가져온다는 보고도 있다. 이 손실 비용을 회사 전체적으로 연간비용으로 계산한다면, 특히 전문직인 경우가 많은 사무직의 경우 우리가 일반적으로 상상하는 금액보다 훨씬 많이 늘어나게 될 것이다. 따라서 쾌적한 실내환경질 조성은 사무직 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 목적도 있지만, 회사 생산성을 높여 경쟁력을 확보한다는 차원에서도 바라보아야 할 것이다.

기존 우리나라 실내공기질 관리체계는 환경부의 지하생활공기질관리법, 보건복지부의 공중위생관리법, 건설교통부의 주차장법, 그리고 교육인적자원부의 학교보건법에서 다루어 왔으나, 환경부에서 다중이용시설 실내공기질관리법을 제정하면서 기존 공중위생관리법과 주차장법, 그리고 그 동안 미규제 시설로 남아있던 시설(여객터미널, 도서관, 박물관 등)을 통합하여 다중이용시설등의 실내공기질관리법을 제정 공포하였다('03.5.29공포,'04.5.30 시행). 한편 노동부에서도 산업안전보건법에 중앙관리방식의 공기정화설비를 갖추고 근로자가 업무를 수행하는 실내공간을 적용대상으로 하는 「사무실 오염으로 인한 건강장해의 예방」 보건규칙을 제정('03.7)함에 따라 현재 우리나라에서 실내환경질과 관련된 법규는 노동부, 환경부, 그리고 교육인적자원부등 3개 부처 소관으로 정리되게 되었다.

사무실 오염과 관련되어 발생하는 건강이상증상들의 원인은 단일요인이라기 보다는 여러 요인 복합적으로 작용하는 경우가 많고, 또한 그 원인이 밝혀지지

않는 경우도 종종 있다. 따라서 여기에서는 사무실오염을 측정평가 하는 방법을 설명하는데 있어 두 가지 접근방법에서 설명하고자 한다. 하나는 실제 실내 공기 질과 관련되어 문제가 발생한 사무실에 대해 그 원인을 규명하고 개선대책 제시하기 위한 사무실 측정·평가 전략을 먼저 소개하고, 다른 하나는 사무실 공기 질을 정기적(법적)으로 평가하기 위해 필요한 측정 및 분석방법을 제시하고자 한다.

1. 원인규명 및 개선방안 제시를 위한 측정 및 평가전략

실내환경질 조사는 사무실 환경의 문제점을 격리시키거나 완화하기 위한 시도이다. 따라서 조사는 그 접근방법에 있어서 문제해결 지향성이어야 하고, 가능성스펙트럼의 범위를 체계적으로 좁히는 방향에서 접근되어야 하며, 조사자는 문제를 해결하는데 필요한 단서를 찾도록 조사해야 한다. 소규모 빌딩의 경우 대부분 불평은 실내환경질에 관한 주요내용과 빌딩운용시스템을 이해하는 사람이라면 현장에서 해결되는 경우가 많다.

사무실 환경질은 빌딩시스템, 기후, 중요 오염원(가구, 습도, 작업내용, 활동, 실외오염물질)과 그리고 실내 근무자들과의 상호작용의 결과이다. 주요요인과 이들의 발생원을 요약한 것이 표 1이다.

표 1. 실내공기질 및 편안함에 영향을 미치는 요인 및 주요발생원

요 인	발 생 원
범위를 벗어난 온·습도	모니터링용 온도설치위치 부적절, 습도조절의 부적절, 극한 외부기후조건이나 사무실내의 설비증대에 부합되지 못한 빌딩의 능력
이산화탄소	사람, 화석연료의 불완전 연소
일산화탄소	자동차배기가스, 불완전연소가스, 담배연기
포름알데히드	보드, 각종 보온재, 섬유, 접착제, 카펫, 가구등
입자상 물질	담배연기, 공기유입구, 덕트보온재, 카펫, HVAC 필터, 물 잔재물, 청소등

휘발성유기화합물(VOC)	복사기, 인쇄기, 컴퓨터, 카펫, 가구, 청소용품, 담배 연기, 점착제, 방향제, 헤어스프레이, 솔벤트류등
환기부족	HVAC의 부적절한 설계, 부적절한 운용방법, 잘못된 사무실 배치, 급·배기의 불균형
생물학적 요인	HVAC내의 정체된 물, 빗물 누수, 가습기, 응축수 배출팬, 실외기

HVAC: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning

원인규명을 위한 실내공기질 조사에 있어서 효과적인 의사교환 전략을 수립하는 일도 매우 중요하다. 전 조사기간 중에, 조사기간 후에 실내공기질과 관련된 불평자들과의 원활한 의사소통을 위해서 이에 필요한 과정이 명확히 규정되어야 한다. 의사교환 라인에 실내오염조사와 관련된 주요인물, 근무자, 빌딩스텝, 안전보건위원회, 사용자 및 노동자대표, 보건 및 규제기관 종사자등 필요한 사람을 명확히 규정하고 확인하는 일이 필요하다. 그러나 궁극적으로는 빌딩 소유자가 실내공기질과 관련된 문제를 해결하는 것이기 때문에 이들 전체와의 협력과 개방된 의사교환이 없으면 실내환경질 문제는 왜곡되거나, 점점 복잡해지며 문제해결을 어렵게 만드는 요인이 될 것이다.

쾌적성의 척도는 사람마다 다르다. 아마 빌딩의 모든 사람을 만족시키는 것이 불가능할지도 모른다. 어떤 빌딩 근무자의 경우 극히 낮은 농도의 환경오염물질에 대해서는 민감하게 반응하는 과민성 근로자가 있을 수 있다. 이런 특별한 경우 과민성의 원인규명을 위해서는 작업 및 생활환경 조사를 포함하여 장기적인 관점에서 그러한 증상을 완화 하기위한 생활습관 변경, 의학적 치료가 수행되어야 하는 경우도 있다. 빌딩관리자의 가장 중요한 임무는 실내환경과 관련된 불평을 말하는 근로자들에 즉각적인 관심을 보이는 것과 신속히 대응하는 것이며, 빌딩근무자와의 자유로운 의사소통을 통해서 수행되어야 한다.

실내환경질 조사기간 중에 효과적인 의사소통을 위해서는 포함되어야 할 단계별 내용은 다음과 같다.

- 불평자들의 위치 및 분포에 근거한 불평지역을 구획한다(시간이 경과하면서 불편지역이 변경되는 경우도 추적한다)
- 실내환경질 조사에 필요한 주요 사람을 확인하고, 균형 잡힌 조사팀을 구성한다. 실내환경질 문제를 해결하는데 있어서 빌딩근무자는 중요한 우근이

될 수 있다. 특히, 실내환경질 불평과 관련된 냄새 또는 그 패턴을 관찰하는데 있어서 그 중요성은 커진다.

- 불평자들의 위치와 불평시간에 대한 기록들을 확립한다. 이는 설문조사나 불평관련 기록 등의 검토를 통해 이루어질 수 있다. 문서화된 기록은 실내환경질 문제를 이해하는데 매우 중요하다.
- 향후 수행될 조사의 목적 및 범위를 빌딩근무자들에게 명확히 알려야 한다. 이러한 정보는 게시판에 부착하거나, 근로자에게 직접 알려주거나, 또는 관련 안전보건회의 때 알려주는 방법도 있다.
- 최종 결과를 만들고, 가능한 실행방안을 제시한다. 진행보고서를 제공하고 그리고 협력을 얻어내도록 노력해야 한다

가. 최초평가(Initial assessment)

최초평가는 불평들을 확인하고 기록하는 수준의 사실발견 측면에서 수행한다. 최초평가 기간동안 문제들이 한정(define)되고, 그 심각성이 평가된다. 문제해결에 도움이 될 기본정보들, 즉 가능오염인자, 발생원의 위치, 근로자가 경험한 증상의 종류, 빌딩에 대한 정보, 증상이 발현되는 시간, 또는 시기에 대한 정보들이 수집된다.

빌딩 각층의 단면도도 도움이 되며, 그 위에 관찰된 정보를 직접 기록할 수도 있다. 조사자는 빌딩의 이력, 개·보수(특히 최근에 이루어진)를 포함하여 빌딩이력에 관한 가능한 모든 문서를 검토해야 한다. HVAC를 담당하는 사람이 누구인자 확인해야하고, 그리고 이 사람과 조사시 동행하고, 협력관계를 잘 유지해야 한다.

1) 최초 현장조사(Initial walkthrough)

최초 현장방문조사는 빌딩의 구조, 각층의 단면, 그리고 환기시스템을 파악하는 것이다. 이 방문조사는 조사자가 가설을 세우고, 간단한 개선 조치사항 제공이 가능하고, 그리고 향후 추가조사계획을 수립하는데 필요한 정보를 수집하는 차원에서 실시되게 된다.

간단한 측정이 이 기간에 수행될 수 있다. 조사자는 문제되는 지역에 사용할 수 있는 점검표, 또는 작업표를 만들어 사용할 수 있다.

작업자들 특히 불편함을 호소하는 사람은 반드시 인터뷰해야 한다. 증상에 대한 정보, 발생 및 완화시간, 불평자들의 공간적인 분포 등은 가능한 완전하게 수집되어야 하며 이 정보는 문제크기를 진단하는데 매우 중요한 정보이다. 조사자는 역시 사무실(또는 건물) 내부 또는 외부의 명백한 발생원에 대한 정보를 수집해야 한다.

2) 불평지역에 대한 검토

아래 인자는 오염원의 위치를 확인하는데 도움이 된다.

- 냄새(표 2참조)
- 과밀도
- 비위생적인 상태
- 먼지
- 습도문제, 육안으로 관찰되는 곰팡이 서식
- 천장 타일 또는 카펫 오염 및 변색
- 화학물질의 존재유무

표 2. 사무용빌딩에서 주요 오염인자에 대한 지표냄새

냄새특징	주요 오염인자	불평(또는 증상)
자동차배기가스 냄새	일산화탄소	두통, 구토, 어지러움증, 무기력감
체취(body odour)	근로자수 과밀도, 낮은 환기 효율(높은 이산화탄소농도)	두통, 무기력감, 숨이 막힌듯한 느낌
곰팡이 냄새	미생물 오염, 물 침습	알레르기 증상
화학물질 냄새	포름알데히드, 살충제, 기타 화학물질	눈, 코, 목의 자극
솔벤트 냄새	VOC	냄새, 알레르기, 두통, 어지러움증
먼지, 시멘트냄새	입자상 물질, 습도조절시스템	눈 건조, 호흡기문제, 코와 목의 자극, 피부자극, 기침, 재채기
하수구 냄새	화장실 또는 지하실의배수구	불쾌한 냄새

불평지역을 조사(검토)하는데 있어 다음과 같은 활동은 포함되어야 한다.

- 불평지역과 주변지역의 원래 사용용도 및 현재 사용용도 간의 비교, 근무자 수가 증가하지 않았는가?, 작업지역이 재배치되었거나 다른 용도로 전환되지 않았는가?, 새로운 설비(컴퓨터, 복사기, 프린터, 습도 조절기등)이 추가되었는지 여부 등
- 리모델링, 보수 등이 최근에 수행된 것이 있는가? 먼지, 흙, 그리고 다른 가스상 물질을 제거하기 위한 조치들은 수행 되었는가?
- 불평지역의 온·습도 조건이 편안감을 주는 범위에 들어가는가. 물의 응축 때문에 곰팡이가 서식하는가, 습도가 너무 높지 않은가, 누수가 되는 부분이 있는가?
- 작업영역의 환기지표로서 이산화탄소농도를 체크한다. 1000 ppm이 넘으면 환기율이 극히 불량하다는 이야기이고, 이는 다른 오염물질이 축적되었음을 의미한다.
- 기류 흐름패턴을 관찰한다. 혼잡이 불량한 부분, short-circulating(급기구와 배기구가 너무 가까이 있으면 발생)이 발생하는가, 급기구와 배기구의 기류 흐름을 방해하는 물건은 없는가.

3) 문제 확정 및 결론 도출

최초평가 결론에는 가능한 다음사항이 포함되어야 한다.

- 무엇에 대한 불평인가
- 영향을 받고 있는 사람의 수 크기는 얼마인가
- 불평과 관련된 있는 빌딩시스템 요소, 즉 시간, 위치 등
- HVAC 결격사유, HVAC의 일반적인 운영 및 유지조건
- 명백한 내부 및 외부 오염원

만약 문제의 원인이 밝혀지고, 그리고 해결책이 제시될 수 있다면 그 해결책이 실행되고 다시 평가될 때까지 더 이상의 추가조사는 중지되어야 한다. 만약 그 해결책이 문제를 해결할 수 없거나 다른 문제를 야기한다면 보다 더 자세한 정밀조사가 필요하다.

나. 정밀조사(Detailed assessment)

실내환경에 대한 정밀조사 기간에 실내공기질 관련 지표인자와, 오염물질은 조사되고 측정되고, 그리고 HVAC는 점검되어야 한다. 조사기법은 점검표와 각종 측정장비를 활용하는 것이다.

몇 가지의 측정은 복잡한 측정장비와 실험실적 분석이 필요하고 또한 관련 전문가의 조언이 필요한 경우도 있으며, 팀 접근이 필요한 경우도 많다. 대부분의 빌딩은 HVAC에 의존하기 때문에 이 시스템에 대한 성능을 이해하는 것이 중요하다.

1) 실내공기질 지표인자에 대한 정보수집

가) 측정의 목적

시료채취는 다른 가용한 수단이 없다고 판단될 때 수행되어야 하고, 시료채취전략은 빌딩이 어떻게 운용되는지 그리고 불평의 본질이 무엇인지 포괄적으로 이해하기 위한 방향으로 수립되어야 한다.

다양한 실내오염물질의 측정은 빌딩증후군의 문제에 역점을 둘 필요가 있다. 일반적인 실내환경질 관련 지표인자, 즉 온도, 습도, 기류흐름, 이산화탄소 농도에 관한 측정을 먼저 하는 것도 도움이 된다.

시료채취는 다음조건을 가능하게 하는 방향에서 실시되어야 한다.

- 문제지역의 오염수준과 이 수준의 시간에 따른 변화 및 다른 지역 측정결과와의 비교가 가능하도록 측정
- 실내와 실외의 비교 가능하도록 측정
- 문제 원인에 대한 가설을 검증할 수 있도록 측정
- 제어조치들이 오염물질의 농도를 감소시키는데 기여했는지 여부 및 환기효율이 개선되었는지 확인 할 수 있도록 측정
- 빌딩에서 특별한 상황이 발생되는지 여부를 확인하기 위한 측정
 - ※이산화탄소 농도가 1000 ppm을 넘었는지(환기불충분), 일산화탄소농도가 5 ppm을 넘는지(연소 가스나 자동차 배기가스가 들어온다는 의미)
- 측정결과를 직업적 노출기준이나 공중보건기준 또는 일반적인 오염물질의 가이드라인과 비교가 가능하게 측정

나) 시료채취시 고려사항

실내환경질을 조사하는데 시료채취 지역은 다양한 방법으로 선정할 수 있다.

- HVAC 존에 따라
- HVAC 존의 내부와 외부
- 불평지역과 비 불평지역
- 주요오염원과의 근접성(흡연실과의 거리 등)
- 불평형태에 따라

만약 환기시스템이 밤에 꺼져 있거나 주말에 꺼져 있었다면 빌딩구조물, 가구, 그리고 환기시스템에 의해 유발된 오염물질(포름알데히드, VOC, 생물학적 오염물질)을 평가하기에 가장 최적의 시간대는 아침이다. 근무자(이산화탄소) 또는 근무자의 활동(복사기 사용)에 의해 야기되는 오염물질의 농도가 가장 높은 수준에 도달하는 시간대를 확인하기 위한 경우는 퇴근시간 무렵에 측정하는 것이 좋다.

오염물질의 계절적인 변화특성을 고려하는 것도 중요한 사항이다. 즉 여름철이나 겨울철의 경우 일반적으로 실외공기(OA, outdoor air) 도입량이 적어지게 되므로 실내 오염물질의 축적이 높게 된다.

시료채취전략은 최악의 조건(worst-case), 즉 최대설비 방출량, 최소 환기율, 오염지역의 오염물질이 발생하는 등 최악조건에서 평가되도록 설계되어야 한다. 최악의 조건(worst-case)에서 측정된 결과는 근로자의 최대노출량을 평가하는데 도움이 된다.

측정에 사용되는 장비는 검출한계, 오염원의 발생특성, 오염농도의 변이특성과 측정의 목적에 따라 달라 질수 있다.

2) 개별 오염물질별 평가

아래사항은 실내환경질 지표물질, 오염물질들의 수준별 특징, 가이드라인 및 건강영향 등에 관해 설명하고자 한다.

가) 온·습도

온도와 상대습도는 열적 편안 감을 주는 중요한 요인이다. 열적환경에 있어서 복사온도, 기류, 근무자의 활동수준, 그리고 의복등도 역시 영향을 미치는 요인이다.

상대습도가 25%미만이 되면, 점막, 피부의 건조함을 야기하고 또한 피부가 트거나 자극을 유발 할 수 있다. 습도가 낮으면 역시 정전기를 유발하고 이는 불편함을 초래할 뿐 아니라 컴퓨터나 종이취급 작업을 방해하기도 한다. 반대로 습도가 높으면 빌딩 구조물이나 내·외부 표면에 물 응축을 유발하고 이는 곰팡이 서식지가 될 수도 있다.

일반적으로 실내에서 습도조건으로 ASRAE의 경우 20~60%, NIOSH는 30~60%, 그리고 일본의 경우 40~70%를 권고하고 있다.

■ 점검사항

예비조사 기간에 온·습도 조건과 관련된 근로자의 불평들은 확인할 수 있으며, 이는 관찰을 통해서도 확인해야 한다.

○ 온도

- 고온 또는 저온과 관련된 어떤 증거들을 점검한다. 이것들이 작업자들 때문인지 예를 들면, 히터를 보온했는지 또는 최근에 새로운 설비를 들었는지를 점검한다.
- 가열 또는 냉각과 관련된 국부적인 발생원, 즉 창문을 통해 직사광선이 들어오는지, 또는 창문틀을 통해 겨울철에 과냉각이 되는지 여부를 점검한다.
- 실내공조와 관련된 온도계(thermostat)가 제대로 작동하는지 주기적으로 교정을 받았는지, 적절한 위치에 설치되었는지, 온도계 주위에 방해물은 없는지 여부를 점검한다.
- 온도차이가 어느 정도 되는지 여부 점검: 천장과 바닥과의 온도는 3℃를 초과하면 안 된다.
- 실내 기류흐름을 방해하는 물건이 있는지 여부 : 높은 칸막이, 급기구 및 배기구 주변에 공기흐름을 방해하는 물건을 쌓아 두었는지 등

·급기구 또는 배기구 흐름에 직접 영향을 받는 사람이 존재하는지 여부

○ 상대습도

- 습도조절기의 운전상태를 점검한다. 녹이 슬었는지, 노즐이 막혔는지, 펌프가 고장 났는지, 정체된 물이 있어 부패 하였는지 등
- 환송용 배기덕트 내에 설치된 습도계가 결함이 있는지, 주기적으로 교정을 받았는지 여부
- 너무 높은 습도 또는 보온재 미비로 응축현상이 발생하지 않았는지
- 수처리를 위해 사용되는 화학물질의 종류

■ 개선전략

열적 편안함과 관련된 불평이 발생한 경우 현재 설치된 HAVC 시스템의 용량이 근무자들의 작업영역에 온·습도 조절에 충분한 용량인지 평가되어야 한다. 실제적인 요구량은 최초 설계량과 많은 차이가 발생할 수 있는데 특히, 사용공간의 용도가 변경된 경우, 레이아웃이나 근무자수가 달라진 경우 또는 새로운 설비가 도입된 경우 그러하다.

만약 기존 시스템이 그와 같은 공간에 위치한 사무실을 충분히 온·습도 조절이 불가능하다면 많은 열을 발생시키는 설비의 경우 개별배기를 하거나 제거되어야 한다.

HVAC 시스템은 항상 주기적으로 평형과 보정이 되어져야한다. 또한 작업시작 시간과 동시에 적합한 온·습도 조건을 유지하기 위해 근무시간 전에 미리 HVAC 시스템을 가동하는 것도 한 방법일 수 있다.

나) 이산화탄소

이산화탄소는 무색, 무미의 기체로 일반 대기 중의 농도는 약 300-350 ppm 정도이다. 사무용빌딩에서 실내 이산화탄소농도는 환기정도를 평가하는데 좋은 지표물질이 된다. 실내에서 이산화탄소의 주요발생원은 사람이며, 가벼운 일을 수행하는 사무직의 경우 분당 약 3 L 정도의 이산화탄소를 배출하게 된다.

HVAC 시스템의 일차적인 기능이 온·습도 조절을 통한 열적인 편안감을 주기 위한 목적이지만, 실내에서 발생하는 오염물질이나 냄새물질을 희석시키기

위해 실외공기를 공급하는 것도 중요한 기능이다. 많은 양의 실외공기를 도입하는 경우 온·습도를 조절하는데 많은 비용이 들기 때문에 실외공기 도입량을 가능한 적게 하려는 경향이 있다. 그러나 에너지 절약을 위한 운전조건과 실내환경질 유지하기 위한 전략은 조화를 이루어 건강하고 편한하며, 생산성 있는 작업공간이 되도록 해야 한다. 결국 또는 근로자의 생산성의 저하는 에너지 절약으로 얻은 수익을 훨씬 능가할 수 있기 때문이다.

실내에서 이산화탄소 농도는 위치, 근무자의 수, 일과 시간대에 따라 달라지게 되는데 일반적으로 근무시간이 경과하면서 점점 증가하는 경향을 보인다. 전형적인 사무실 내의 이산화탄소 농도는 600~800 ppm 정도이다. ASHRAE 62-2001의 기준에 따르면 사무실의 적절한 실내공기질을 유지하기 위해서는 근로자당 최소한 0.57 m³/분의 실외공기를 공급 하도록 권고하고 있다. 이산화탄소 농도는 실내환경질이 적절한지 여부를 판단하는 지표물질로 사용 가능하다. 이 근거는 만약 HVAC 시스템이 실내의 이산화탄소를 제거하지 못한다면 이와 비례하여 다른 실내오염물질이 축적된다는 가능성에 근거를 둔 것이다. 그러나 비록 실내의 이산화탄소 농도가 낮더라도 실내에 다른 고농도의 오염물질 발생원이 있을 수 있다는 사실에 항상 유의해야 한다. 사무실간 또는 HVAC 존 간의 이산화탄소 농도의 피크치간 비교는 HVAC시스템의 다양한 환기문제를 진단하는데 도움이 될 수 있다.

■ 점검사항

- 층별 단면도와 잠재적인 오염지역에 영향을 줄 수 있는 개·보수 이력을 파악한다.
 - 개방된 사무공간이 폐쇄된 구조로 전환된 경우
 - 건물 구조변경 또는 개조의 결과로 원래 설계도면상의 용도와 다른 경우 (사무실이 회의실 또는 대기실로 변경)
- 환기부족과 관련된 불평이 존재하는지 여부, 산소부족, 코막힘 증상, 두통, 피로감등이 환기부족 증상이다.
- 다음 질문들에 대한 해답을 찾아본다.
 - 가장 많은 근로자수는 얼마 정도인가, 설계시 참고 되었던 근로자수와 일치 하는가

- 실외공기 유입조절과 댐퍼는 적절히 작동 되는가
- 실외공기는 어떠한 경우에도 최소한 15%정도는 도입되고 있는가
- 실외공기가 오염원으로 작용하고 있는가
- 실내공기 공급 디퓨저는 적절히 작동되는가, 막힌 부분은 없는가
- 환기그릴을 막은 방해물질은 없는가
- 공기의 질이 가장 나쁜 때는 하루 시간 중 어느 때 인가. 일과시간이 끝날 시간대로 갈수록 문제는 커지는가
- 디퓨저와 환기 그릴이 너무 가까워 short-circulating이 발생 하는가
- 사무실내의 환송배기그릴에서의 배기공기 흐름을 방해하는 벽 또는 칸막이가 있는가?

■ 개선조치 전략

- 급·배기 시스템을 현재조건의 근로자 수, 냉난방 부하에 맞춰 조정하고 재 교정한다.
- 실외공기 도입량을 증가시킨다.
- 배기흐름을 방해하는 물건을 제거한다.
- 오염물질이 많은 곳(예 화장실)의 경우 음압을 유지시킨다.
- 급·배기구의 위치를 변경시킨다.
- 팬의 회전수를 증가시켜 SA 또는 RA 공기량을 증가시킨다.

다) 공기 흐름

사무실내의 공기흐름은 대류나 환기에 의한 공기치환을 유발시키기 때문에 실내 쾌적성을 좌우하는 인자중의 하나이다. 만약 작업공간에 공기흐름이 불충분하다면 통풍이 잘 안되는 느낌을 줄 수 있다. 사무실 공기교환이 시간당 4회 정도 이루어진다면 어느 정도 적당한 사무실 공기흐름과 오염물질의 지속적인 이동이 가능하게 된다. 한편 너무 과도한 공기흐름도 신체 일부분의 열손실을 가져와 불쾌감을 주게 된다. ASHRAE의 권고에 따르면 겨울철의 경우 0.15m/sec를 초과하지 말아야 하고, 여름철의 경우는 0.25m/sec를 초과하지 않도록 권고하고 있다.

■ 점검사항

- 디퓨저가 너무 과도한 공기를 공급하거나 또는 막혀있는지 여부
- 환송용 배기그릴이 막혀 있는지 여부
- 천장에 설치된 공기 혼합박스가 적절히 기능하고 있는지 여부 및 댐퍼 위치가 적절한지 여부
- 덕트가 막혔거나 탈락되었는지 여부
- 필터의 상태는 적절한지 여부 등

■ 개선조치 전략

- 디퓨저나 그릴이 적절히 작동되도록 조치
- 겨울철 창문틀이나 벽 등이 적절히 보온되지 않는다면 대류흐름을 유발할 수 있다. 이러한 것은 표면을 단열처리하면 간단히 해결할 수 있다.
- 작업공간이 새롭게 변했을 때 그 공간용도, 사무가구 배치, 근로자수 분포에 따라 급·배기시스템은 재배치되고 조정되어야한다.

라) 일산화탄소

일산화탄소는 무색 무미의 불완전 연소로부터 생성되는 독성가스이다. 실내에서 일산화탄소의 오염은 연소가스가 적절히 배기되지 않거나 또는 빌딩으로 재 유입되면서 발생된다. 만약 실내에 배기가스 냄새가 나거나 연소가스와 관련된 문제가 발생된 것으로 의심될 때에는 일산화탄소는 측정되어야 한다.

사무실과 상업용 빌딩에서 연소가스 중요발생원은 담배연기, 주차장, 사무실과 연결된 통로를 가진 주차대이다. 실내에 필요한 공기유입구가 지상 도로변 주변에 설치되어 있다면 이 또한 배기가스 오염물질을 이동시키는 주요통로로 작용할 것이다.

산업안전보건법에서 일산화탄소 관리기준은 8시간 시간가중평균으로 10 ppm으로 규정되어 있지만 5 ppm을 넘으면 일산화탄소가 적절히 처리되어 배기되지 못하고 있는 상태 즉, 바람직하지 못한 연소오염 물질이 있다는 의미이다.

일산화탄소는 매우 독성이 강한 오염물질이며, 혈액에서 헤모글로빈과의 결합력이 강해 정상적인 산소운반을 방해하기 때문에 일정농도이상의 일산화탄소에 노출되면 두통, 감기와 비슷한 증상, 집중곤란, 메스꺼움, 피로, 호흡이 가빠

지거나, 가슴통증, 착란 등을 일으키게 된다. 이러한 증상의 정도는 개인적인 감수성의 차이, 건강상태 등에 따라 다르므로 동일농도에서도 개인별로 매우 다양한 증상스펙트럼을 보이게 된다.

■ 점검사항

·층별 단면도를 검토하고 빌딩관리자와 오염가능지역에 대한 의견을 교환한다.

·주차장 및 주차대를 점검한다.

- 적절히 배기되고 있는지 여부, 배기구가 막혔는지 여부
- 트럭이나 차가 주·정차 중에도 시동을 걸고 있는지 여부
- 주차대나 주차장에서 발생된 가스가 빌딩내로 이동할 수 있는 통로가 있는지 여부
- 계단, 엘리베이터 축, 또는 여러 덕트가 오염물질 이동통로로 작용하고 있는지 여부
- 주차장에 설치된 일산화탄소 측정기가 제대로 작동되고 또한 주기적으로 교정되고 있는지 여부
- 환기가 일산화탄소농도 최고치에 도달할 때만 작동되는지 여부
- 공기 유입구 근처에 오염원이 있는지 여부

·사무실 지역을 조사한다

- 두통, 피로, 어지러움증, 구통등의 증상이 있는 근로자가 있는지
- 연소가스 발생원 근처에 근무하고 있는 근로자가 누구인지
- 스토브, 각종난로 등의 배기가스는 적절히 배기되는지
- 배기 또는 연소가스 냄새나 관련증상이 출퇴근시간대에 발생되고 있는지
- 공기유입구가 지상에 가까워 배기가스가 실내로 들어오고 있는지, 일반적으로 3층 이하에 설치된 공기 유입구는 자동차 배기가스의 이동경로로 작용할 수 있다.

■ 개선전략

일산화탄소 농도가 5 ppm이 넘으면 문제를 일으킬 수 있으며, 아래 조치상

항에 의해 그 수준을 낮출 수 있다.

- 주차장이나 주차대 근처에 있는 사무실은 양압을 유지한다.
- 문제지역에 환기를 증대 시킨다
- 오염지역과 사무실간의 연결통로들 닫고, 연결통로의 문틈이 새지 않도록 한다.
- 환기시스템을 개조한다. 공기유입구의 위치를 변경시키거나 국소배기시설을 설치한다.
- 운용절차를 변경한다. 서비스를 위해 차량을 대기시키는 경우 시동을 끈다.
- 오염원을 제거하거나 장소를 변경시킨다.

마) 포름알데히드

포름알데히드는 무색 가스이다. 일반적으로 농도가 0.2 ppm을 초과하면 자극성 있는 냄새가 난다. 포름알데히드는 각종 건축자재(카펫, 보드, 직물), 정소용품, 접착제로부터 발생된다.

실내농도는 발생원의 설치경과 연수, 환기율, 실내·외의 온도, 습도 등에 좌우되는데, 포름알데히드 농도는 날간 또는 계절 간에도 약 50% 정도는 변할 수 있다. 측정된 결과는 여러 기준 또는 지침과 비교가능하며, 일반적으로 사무실의 농도는 대개 0.1 ppm 미만이다.

포름알데히드는 잘 알려진 자극 및 감작성 물질이다. 주 증상으로는 목이 건조하거나 화끈거림, 구역질, 현기증, 호흡곤란, 화끈거림, 자통증(stinging), 눈 자극 등이 주증상이다. 자극증상은 일반적으로 0.5 ppm이상에서 발생하나 0.01 ppm에서도 감수성이 예민한 사람에게는 발생 된다는 보고도 있다.

■ 점검사항

- 최근에 개·보수, 페인팅, 합판 또는 보드 설치, 카펫 교체 또는 설치, 새로운 가구도입 등이 있었는지 조사한다.
- 청소과정 및 방법에 대해 조사

■ 개선전략

실내에서의 포름알데히드 농도는 발생원 또는 환기에 대한 대책 수립으로 줄일 수 있다.

- 발생원을 제거하거나 포름알데히드 방출량이 적은 자재로 교체
- polyurethane varnish 같은 물질을 사용하여 포름알데히드 방출자재의 표면을 도포한다
- 포름알데히드를 배출하는 가구나 빌딩재료를 설치 전에 배기장치가 설치된 창고 등에 보관하여 일정기간 오염물질을 배출시킨다.
- 근무시간뿐만 아니라 비 근무시간에도 환기장치를 가동시키고, OA공기 도입량을 증가시킨다.
- 오염물질 이동경로간의 압력관계 조정을 통해 이동을 차단시킨다.
- 발생원을 통제하거나 오염된 지역의 공기를 재순환공기에서 배제시키는 등의 조치를 시행한다.

바) 입자상 물질

입자상 물질은 고체 또는 액체상의 0.005~100 μm 입자크기의 물질이다. 먼지, 흙, 바이러스, 곰팡이, 포자, 세균과 같은 고체상의 물질뿐만 아니라, 미스트 안개 같은 액체상 물질이 포함된다. 실내에서 입자상 물질 발생원은 실내와 실외가 될 수 있으며, 환기장치 자체가 오염원(가습침가제, 녹, 살균 및 살충제, 생물학적 물질, 덕트 및 파이프 보온재 등)으로 작용할 수 있다.

실내공기에 있어 주요관심 대상 입자크기는 0.1~10 μm 이다. 비흡연 환경의 미세먼지 농도는 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이고 흡연실 경우는 30~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이다. 입자상물질 농도가 높아지면 눈이 마르거나, 콘택트 렌즈 착용에 문제가 생기거나, 코, 목, 피부의 자극, 기침, 호흡기계 문제를 야기 시킨다.

■ 점검사항

조사는 최근에 보수된 지역, 불평자가 있는 지역, 기계실을 중점적으로 실시한다. 아래 사항은 입자물질 오염으로 인해 문제가능성 확인을 위한 유용한 점검사항이다.

- 공기유입구로부터 들어오는 입자상물질이 있는가?
- 공기유입구의 스크린의 설치상태는 적절하고 주위에 오염물질이 퇴적되어 있지는 않은가?
- 공조설비의 필터의 입자상물질 제거효율은 적절한가?
- 필터의 유지보수는 적절히 이루어지고 있는가?
- 가습기 주위에 백색가루(chalky mark)가 있거나 시멘트 냄새가 나는가?
 - ※ 가습에 이용되는 물이 경수인 경우 물속에 포함된 마그네슘, 또는 칼슘 성분이 초미세입자가 되어 공기 중에 떠다니다가 사무기기과 가구류 또는 가습기 주변에 하얀색으로 부착되게 되는 되는데 이를 chalky mark 라고 한다.
- 사무실에 개인적인 용도의 초음파 가습기가 설치되어 있는가?
- 공조기(AHU, air handling unit)나 덕트의 보온재가 파손된 흔적이 있는가?
- 디퓨저가 오염되었거나 하얀 먼지가 존재하는가?
- 빌딩 내에 흡연을 하고 있는가?

■ 개선전략

- 오염원을 감싸거나 배기하거나 위치를 변경시키는 방안
- 필터시스템의 성능을 향상시키는 방안
- 실외공기 유입량을 증가시키는 방안
- 오염된 공기를 재순환공기에서 배제시키는 방안

바) 휘발성 유기화합물(VOC, Volatile Organic Compounds)

휘발성유기화합물은 대략 끓는점이 50~250℃사이의 물질로 실내에서 900여종 이상이 발견되며, 이중 250여종이 1 ppb 이상 검출되는 것으로 알려져 있다. 실내에서 흔히 검출되는 VOC 종류 및 발생원은 표 3과 같다.

표 3. 실내에서 일반적으로 발견되어지는 VOC 종류 및 발생원

물 질 명	발 생 원
Acetone	페인트, 코팅제, 마감재, 신나, 페인트제거제
Aliphatic hydrocarbon(Octane, decane,undecane, hexane,isodecane, etc)	페인트, 접착제, 가솔린, 연소가스, 카펫, 코킹제
Aromatic hydrocarbon (toluene, xylene, ethylbenzene, benzene	배기가스, 페인트, 접착제, 가솔린, 벽코팅제
Chlorinated solvents(dichloromethane, MC, trichloroethane)	카펫청소세정제, 페인트, 페인트제거제, 락카, 솔벤트, 드라이된 옷
n-Butyl acetate	코킹제, 리놀리움
Dichlorobenzene	카펫, 방향제
4-phenylcyclohexane	카펫, 페인트
Terpenes(limonene, α -pinene)	냄새제거제, 세정제, 식물, 섬유유연제, 담배

ACGIH에서 권고하고 있는 개별물질에 대한 허용기준은 일반적인 사무환경에 적용할 수 없다. ACGIH의 허용농도 경우 몇 가지의 알려진 화학물질에 고농도로 주 40 작업시간동안 적절한 보호장구 및 설비(국소배기, 보호복, 호흡용 보호구)를 갖추고 작업을 수행하는 산업장 근로자에게 적용되는 노출기준이다. 그리고 산업장의 근로자 경우 일반적으로 젊고 건강하며 성인 남성들이 대부분이다.

반면에 사무실 근로자의 경우 보호장구를 착용할 수 없으며, 낮은 농도의 매우 다양한 오염물질에 동시에 노출되고 근무시간도 주 40시간을 초과하는 경우가 많다. 각 혼합물질들 간의 상승작용 가능성에 대한 것도 알려진 것이 없다. 또한 사무직 근로자의 인적구성도 생산직 근로자보다는 그 스펙트럼이 훨씬 넓다.

따라서 실내에서 검출되는 개별 물질의 허용기준은 ACGIH의 TLV보다는 훨씬 낮아야 할 것이다. ASHRAE의 경우 가이드라인이 설정되어 있지 않은 물

질의 경우 ACGIH TLV의 1/10을 적용토록 권고하고 있다. 미국과 캐나다의 경우 총휘발성 유기화합물(TVOC, Total Volatile Organic Compounds)에 대한 기준이나 가이드라인은 없는 상태이며, 유럽의 경우 개별물질이 TVOC 농도의 10%를 초과하지 않는다는 조건에서 0.3 mg/m³를 권고하고 있다.

북유럽의 연구결과에 의하면 ACGIH TLV 농도보다 훨씬 낮은 농도에서도 불편함을 야기 시킨다고 한다. 낮은 농도의 TVOC 노출에 의한 주요 건강증상은 피로, 두통, 졸음, 어지러움, 불안정감, 저린감, 다행감, 가슴압박, 피부 및 눈 자극증상이다.

과민성이 있는 사람의 경우 극히 낮은 농도의 VOC에 대해서도 심각한 건강 이상 증상을 유발할 수 있다. VOC 노출에 대한 독성학적 정보 및 감각적 영향에 대한 정보가 불충분하기 때문에 VOC 농도를 가능한 낮추도록 조치하도록 해야 한다.

■ 점검사항

조사는 불평지역과 VOC 발생가능지역을 중심으로 수행되어야 한다.

- 준공년도가 1년 미만인가 또는 최근 개·보수 되었거나 지난 몇 달 동안 새로운 가동 등이 들어 왔는지 여부
- 청소용품이 적절한 것을 사용하는가. 사용시기가 사무직 작업자의 노출을 최소화시키는 방향에서 계획되어 있는가?
- VOC 발생이 많은 작업이 있는가. 솔벤트에 오염된 물건들이 적절히 관리되고 제거 되는가
- 고농도의 국부적인 오염원이 있다면 국소배기가 이루어지는가. 재순환공기에 오염된 공기가 섞이지 않은가 등

■ 개선전략

가능한 VOC 방출량이 적은 재료를 사용하고, 신축건물의 경우 최초 3개월 간은 환기량을 증대시키도록 한다. 근로자의 활동 및 시설 유지 관리와 관련하여 발생하는 오염물의 경우 다음 조치사항을 고려해야 한다.

- 발생량이 적다면 실외공기 도입량을 증가시켜 희석환기 시킨다.
- 페인트 저장소, 청소용품 또는 솔벤트 저장장소는 개별 배기방식으로 배기 시킨다

사) 생물학적 오염물질

실내공기에 있어 생물학적 오염물질은 심각한 건강 이상증상을 유발 할 수 있다. 높은 습도, 환기량 감소, HVAC 시스템은 다양한 미생물의 성장을 촉진시키기 위한 수분을 제공하게 되고 또한 오염물질을 이동시키는 역할을 하게 된다.

미생물의 종류는 다양한데, 곰팡이, 세균, 바이러스 등이 실내에서 발견된다. 실내에서 미생물 오염은 다양한 상황에서 발생할 수 있다. 바이러스와 세균은 질병을 유발한다. 그러나 실내에서 바이러스 감염(일반 감기)은 일반적인 사항이 아니다. 바이러스는 숙주를 벗어나서는 오래 생존을 못하기 때문에 감염된 사람과의 직접 접촉에 의해서 옮겨지기 때문이다. 그러나 *Legionella* 세균의 경우 실내환경질에서 중요한 세균이다. *Legionella*에 감염되면 폐렴으로 진행되게 되는데, 쿨링타워, 증발응축기 등에서 증식되어 실내공조시스템을 통하여 실내 근로자에게 분배되기 때문이다.

곰팡이 포자의 경우 매우 고농도로 노출되는 경우 과민성 폐렴을 유발할 수 있으나 실내환경에서 보고 된 경우는 흔치 않다. 대부분의 곰팡이에 만성적인 노출은 알레르기나 천식반응을 유발하며, 일부 종의 경우는 직접 질병을 유발하기도 한다. 몇몇 곰팡이의 경우 포자 안에 mycotoxin이 들어 있기 때문이 이러한 포자를 흡입하게 되면 빌딩증후군의 여러 증상을 유발하게 된다. 곰팡이의 대사산물중의 하나는 VOC 인데 이러한 VOC(곰팡이 냄새)는 곰팡이의 성장 및 증식이 있다는 증거가 될 수 있다.

실내에서 미생물에 대한 오염평가는 많은 병원에서 환자의 이차감염이 주요 관심사였던 1950년대 후반에 시작되었으며, 이때 원인 중의 하나가 실내공조시스템으로 통한 미생물의 전파에 의한 것이었다.

유럽과 북미에서는 실내근무자들의 열, 호흡곤란, 기침, 근육통증상을 유발하

는 냉방병(influenza-like illness)에 관한 보고서가 많이 발표되었다. 이 질병은 오염된 HVAC 시스템 또는 물이 침습한 건축물 등에서 발생한 미생물 항원에 대한 인체의 급성반응의 결과로 나타나게 된다. 감염된 사람의 경우 건물을 떠나 몇 일간 경과하게 되면 증상이 없어진다.

*Cladosporium*과 *Alternaria*는 여름철 대기 중에 흔히 존재하는 곰팡이로 대기 중 포자의 60~70%를 차지하며 나무, 잎 등에서 기생한다. 이러한 곰팡이는 알레르기를 유발할 수 있으나 대부분의 사람에게는 특별히 감염되지 않는 것으로 알려져 있다.

실내경우 물이 응축되거나 수분이 많은 장소의 경우 알레르기를 유발하거나 현대의학으로는 진단되지 않는 여러 건강증상을 유발할 수 있는 곰팡이의 서식장소가 된다.

실내에서 건강이상이나 불쾌감을 줄 정도로 충분한 수의 미생물이 존재 하는 데는 여러 요인이 영향을 미친다. 곰팡이 포자는 흔히 토양이 서식지이기 때문에 어디든지 존재한다. HVAC 시스템은 복잡하고 미생물이 번창할 수 있는 다양한 환경을 제공할 수 있다. 물분사방식의 가습기 경우 정체된 물이 존재할 수 있으며, 필터는 각종유기물로 채워지게 되고 냉각시스템의 응축접시, 실내 내벽 또는 건축자재의 높은 수분 함량은 이러한 미생물이 적당한 환경 하에서 증식되는 주요장소로 역할을 하게 된다. 대형빌딩에서 HVAC시스템은 이러한 미생물의 주요 이동경로로 작용하게 된다.

1989년 이후 ACGIH의 바이오에어로졸 위원회는 실내에서 측정된 미생물관련 측정결과의 해석방법으로 순위평가법(Rank order assessment)을 권고하고 있다. 실외에서 발견되지 않는 종이 실내에서 1종 이상 발견되면 실내에 증식장소가 있다는 의미로 해석하고 있다. 균의 동정은 측정결과 해석에 있어서 중요하다. 그러나 측정방법과 미생물 배양에 있어 현재의 기술력으로는 극복하기 힘든 여러 한계점 때문에 수치적인 가이드라인을 설정하기가 매우 어려운 상태이다. 그러나 아래 사항들은 이러한 한계점에도 불구하고 측정된 결과를 해석하는데 유용한 판단지표가 될 수 있는 사항들이다.

·*Aspergillus fumigatus*, *Histoplasma*, *Cryptococcus* 같은 병원성 곰팡이가 실내에서 유의한 수준으로 검출되어서는 안 된다. 새 배설물이 쌓인 공기

유입구, 덕트 등이 이러한 병원성 곰팡이가 서식할 수 있기 때문에 오염물은 즉시 제거되어야 하며, 이러한 병원성 곰팡이 종류 중 일부는 현재 공기시료채취방법으로는 검출이 안 되는 것이 있다.

·*Stachybotrys atra*, *toxigenic aspergillus*, *penicillium*, 그리고 *Fusarium* 같은 독성 곰팡이가 서식 또는 발견된 경우 추가조사가 필요하며 그 결과에 따라 개선조치가 취해져야 한다.

·어떤 곰팡이가 실외보다 실내에서 농도가 높을 경우 실내에 증식장소가 있다면 의미이며, 찾아서 즉시 제거조치를 해야 한다.

·정상적인 실내 곰팡이 농도는 실외와 같거나 약간 낮은 수준이어야 한다.

·*Cladosporium*, *Alternaria*를 제외한 곰팡이의 농도가 50 CFU/m³ 이상일 경우 존재 이유에 대한 관심을 가져야 하며, 추가 조사가 필요함을 의미한다.

·곰팡이가 여러 종 혼합되어 있으면서 그 농도가 150 CFU/m³ 이하이고 만약 발견되는 종이 실외에서 모두 발견되는 종이라면 그렇게 문제가 되지 않는다. 실내에서 발견된 곰팡이의 농도가 높을수록 필터효율의 문제나 저분함을 의미한다.

·여름철에 주 종이 *Cladosporium*이거나 또는 나무나 잎에 기생하는 곰팡이의 농도가 500 CFU/m³까지는 적합한 수준이라 평가할 수 있다. 값이 높을수록 오염지역이 있거나 필터기능에 문제가 있다는 의미이다.

·가습기, 덕트 천장재료, 기타 다른 건축물 표면에 곰팡이 증식이 육안 관찰되면 추가조사가 필요하고 또한 곰팡이 포자를 생성하느냐의 유무에 상관없이 제거조치가 수행되어야 한다.

·곰팡이 종류에 따라서는 일반적인 측정방법으로는 검출되지 않는 경우가 많다. 만약 설명되지 않는 빌딩증후군이 발견되면 진공청소기 등을 이용한 먼지 벌크시료를 채취하여 곰팡이 종류에 대한 심층적인 동정이 필요로 하게 된다.

■ 점검사항

최초 현장방문 조사시(walkthrough) 가능한 한 미생물 증식지가 있는지 여부를 확인해야 한다.

- 공기 유입구, 필터, 냉·난방 팬과 코일, 습도조절기, 덕트, 보온재, 응축수 팬, 물웅덩이 등이 오염되었거나 더러운지 여부
- 곰팡이 냄새가 나는지, 바닥이나 벽에 물이 침투한 흔적이 있는지 여부
- 창문 틈, 천장 석고보드, 합판 등에 물이 침투한 흔적 있는지 여부

개선조치는 오염지역이 발견되는 즉시 가능한 빨리 수행되는 것이 좋다.

■ 개선전략

미생물 제거에 가장 중요한 지침은 빌딩에 있어서 곰팡이 성장을 최대한 억제하는 것이며 아래 조치사항들이 도움이 될 수 있다.

- 곰팡이 성장을 촉진하는 물을 제거한다. HVAC 시스템내의 정체된 물을 제거하고, 실내의 상대습도를 60%이하로 유지시킨다. 건물에 물이 침투하지 않도록 하고 침투된 흔적이 있으면 즉시 보수한다.
- 곰팡이에 오염된 재료(곰팡이가 서식한 타일, 천장재, 카펫 등)를 제거한다. 표면이 매끄러운 재질에 곰팡이가 석하는 경우 5% 표백제를 사용하여 씻어낸다.
- HVAC 시스템의 경우 물 순환방식으로 가습하는 것 보다는 스팀분사방식이 좋다.
- 사무실내에 개인 가습기를 사용하는 경우 곰팡이가 서식하지 않도록 유지관리를 잘해야 한다.
- 공조시스템의 필터는 곰팡이 포자를 제거하는 효과적이어야 한다. 가능한 입자 제거효율이 85%이상 효율을 갖는 필터를 사용토록 한다.

2. 사무실 공기질 감시를 위한 측정 및 평가 방법

사무실 공기질에 영향을 미치는 요인은 오염원, 사무실 근로자들의 활동, 건축물의 시스템 및 기후에 의해서 영향을 받게 된다. 산업현장의 작업환경과는 달리 실내환경의 경우 오염물질의 농도가 낮고 또한 시간적, 공간적, 그리고 계절적 변이특성이 있기 때문에 보건기준에 관한 규칙에서 관리기준으로 설정되어 있는 대상물질에 대한 평가를 위해서는 잘 설계된 시료채취 전략 및 결

과 해석이 중요하다고 판단된다.

가. 시료채취전략

1) 목적

작업환경측정의 일반적인 목적은 기초 자료를 확보하기 위한 측정, 진단을 위한 측정, 그리고 법적인 노출기준 초과여부 판단을 위한 측정으로 크게 나누어 볼 수 있는데, 기초자료 확보를 위한 측정이나 진단을 위한 측정의 경우 조사목적에 따라 다양한 시료채취 전략을 수립할 수 있기 때문에 전문가의 판단에 따라 수립하면 되지만 법적인 노출기준 초과여부 판단을 위한 측정의 경우 법 제정 목적에 부합된 어느 정도 통일된 시료채취 및 평가전략이 필요하다. 따라서 이장에서 논하고자 하는 것은 현재 사무실오염으로 인한 건강장해예방 보건규칙 편에서 규정하고 있는 관리대상물질 같이 관리기준이 설정되어 있는 물질들의 시료채취전략의 방향성을 살펴보고자 한다.

2) 주요 고려사항(시료채취 지점, 채취시간, 채취시기)

법적인 노출기준 초과여부 판단을 위한 측정의 경우 1일 작업시간동안 몇 시간 정도 측정해야 하는지, 시료채취 지점은 어떻게 선정해야하고, 지역시료로 채취해야 하는지 아니면 개인시료로 측정해야 하는지가 규정되어야 하고, 또한 1년 중 어느 기간에 시료채취를 해야 하는 지도 결정될 필요가 있다고 판단된다.

가) 국내·외 사례

실내환경과 관련되어 법적인 기준과 측정방법을 제시하고 있는 우리나라 환경부 및 일본의 사례를 먼저 검토해 보고자 한다.

우리나라 환경부 경우 다중이용시설 등에 관한 실내공기질 관리법을 제정 공포하였고, 실내공기질 시험방법을 고시(환경부 고시 제 2004-80호, 2004. 6.5)로 제시하고 있으며, 동 고시 내용 중 다중이용시설에 대한 시료채취방법의 주요내용은 다음과 같고, 표로 요약한 것이 표 4, 5 이다.

■ 채취지점 수

·대상 시설이 복수 층으로 구성된 경우 시설의 용도 및 사용목적에 대표할

- 수 있는 기준층을 위주로 측정 지점수 결정
- 동일 층 내에서도 시설의 구조와 용도가 달라서 실내공기질이 명확히 구분되는 경우는 측정지점을 별도로 선정가능
- 대상시설의 측정지점은 2개소 이상이 원칙이며, 불가피한 경우 측정지점을 추가 가능

■ 채취위치선정

- 지역시료 채취방법을 채택하고 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.
- 측정의 장애가 없고 대상시설의 오염도를 대표하는 곳
- 인접지역에 직접적인 발생원이 없고 대상시설의 내벽, 천정, 바닥표면으로부터 1 m 이상 떨어진 곳
- 급·배기구에서 가장 멀리 떨어진 곳에서 채취를 원칙으로 하되, 다수의 급배기구가 존재할 경우 중간지점에서 채취
- 시료채취 위치는 바닥 면으로부터 1.2 ~ 1.5 m 범위 내

■ 시료채취 시간

- 주간시간대(오전 8시 ~ 오후 7시)에 실하는 것이 원칙

■ 측정주기

- 년 1회 이상

표 3. 다중이용시설의 시료채취위치

대상시설	채취지점 수	채 취 위 치	비 고
도서관	2개소 이상	주 열람실 및 개방형 서고 중앙점 바닥으로부터 1.2 ~ 1.5m	
의료기관	2개소 이상	대기실 및 주요병실 중앙점 바닥으로부터 1.2 ~ 1.5 m	
대규모 점포	2개소 이상	층별 대상시설의 주요 활용공간 중앙점 바닥으로부터 1.2 ~ 1.5m	지하층이 있을 경우 지하층 1개 지점 필히 포함
보육시설 및	2개소 이상	주요휴식시설(수면실 및 침실포	

노인복지시설		함)의 중앙점 바닥으로부터 1.2 ~ 1.5m	
--------	--	------------------------------	--

표 5. 다중이용시설의 오염물질별 시료채취방법 및 시간

측정항목	시료채취 방법 및 시간
일산화탄소, 이산화탄소, 오존, 이산화질소	주간시간대에 1시간 측정
미세먼지	주간시간대에 2 ~ 7 L/min으로 8시간 측정
포름알데히드	주간시간대에 0.3 ~ 1 L/min으로 30분간 2회 측정
휘발성 유기화합물	주간시간대에 0.05 ~ 0.2 L/min으로 30분간 2회 측정
라돈	주간시간대에 8시간 연속측정
총부유 세균	주간시간대에 총 포집량 200 ~ 1000L로 1회 측정

일본의 경우 사무용 건축물의 경우 연면적 3000 m²이상, 복합건축물, 학원, 대규모 소매점, 도매센터, 결혼 예식장에서는 연면적 2000 m²이상, 공연장, 실내체육시설에서는 관객 1000명이상을 수용하는 시설에 대해서는 공중위생법령(빌딩관리법)에 의거 실내환경을 측정토록 하고 있는데, 시료채취방법과 관련된 주요내용은 살펴보면 다음과 같다.

측정항목은 부유분진, 일산화탄소, 이산화탄소, 온도, 상대습도, 기류, 조명이며, 측정장소는 최소한 각층마다 1개소 이상(각 층의 바닥면적이 넓은 경우 500 m²마다 1개소를 목표)을 원칙으로 하고, 원칙적으로 실내의 중앙부 바닥면에서 75 ~ 120cm 지점에서 업무시작 1시간 후와 업무 마감 1시간 전, 그리고 중간에 1일 3회 측정토록 하고 있다.

부유분진, 일산화탄소, 이산화탄소에 대해서는 3회 측정치의 평균치로 판정하고, 온도, 습도, 기류에 관해서는 측정할 때마다의 수치에 의해서 판정토록 하고 있다. 측정주기는 년 2회 이상 측정토록 하고 있다.

한편 일본 노동안전위생법 사무실 위생 기준규칙에서는 실내의 통상적인 사용시간 중에 실내중앙부 바닥 75 ~ 120cm 지점에서 2개월에 1회 정기적으로 측정토록 하고는 있으나 시료채취 수, 시간 등에 관한 구체적인 지침은 제시하지 않고 있다.

나) 시료채취 전략 수립방향

■ 시료채취장소 결정

시료채취 장소 결정시 단독 사무실의 경우는 문제가 간단하지만 사무용 빌딩과 같이 복수의 층으로 구성된 사무실의 경우 어느 층의 사무실을 측정대상으로 선정해야 하는지는 여러 요인이 고려되어야 한다. 즉 사무실의 오염물질 농도에 영향을 미치는 요인인 실내공조시스템의 운용방식, 건축물의 구조, 사무실마다의 업무 특성, 단위면적당 근로자 수 등이 종합적으로 고려되어야 한다.

실내 오염물질의 농도에 영향을 미치는 요인이 고려되어 각 사무실별로 오염물질의 농도가 어느 정도 예측된다면, 오염물질의 평균농도를 대표하는 사무실을 선정해야 할지, 아니면 가장 오염이 심할 것으로 예측되는 사무실을 측정대상 사무실로 선정해야 할지를 결정해야 할 것이다. 우리나라 환경부의 경우 대상시설이 복수 층으로 구성된 경우 시설의 용도 및 사용목적에 대표할 수 있는 기준층을 위주로 측정지점을 선정토록 하고 있다.

한편 현재 작업환경측정 및 정도관리 규정(노동부 고시 제 2003-62호)에서 제시한 산업환경의 작업환경측정방법을 보면 단위작업장소(작업장 또는 공정에서 정상적인 작업을 수행하는 동일 노출집단의 근로자가 작업을 행하는 장소)에서 최고 노출근로자를 선정하여 측정토록 하고 있다. 이 의미는 최고 노출 가능성이 있는 근로자의 노출량이 노출기준미만이면 다른 근로자는 당연히 노출기준 미만으로 노출될 것이라는 가정에 근거를 둔 것이다.

사무실과 같은 비산업환경에서도 산업환경에 적용되는 논거를 그대로 적용하는 것도 타당하다고 판단되며, 따라서 측정지점 선정시 오염물질의 대표성 개념에서 접근하는 것이 아니라 최악의 조건 즉 오염물질의 농도가 가장 높을 것으로 예상되는 지역을 선정하는 방식에서 접근해야 한다고 판단된다.

복수의 층으로 구성된 사무실의 경우 단위작업장소 개념을 설정하기 위해서는 각 사무실의 업무 내용, 근로자 수, HVAC 시스템의 준이 어떻게 설정되어 있는지를 종합적으로 고려하여 판단하여야 한다. 그러나 이러한 모든 요소를 종합적으로 고려하여 측정지점을 선정토록 하면 너무 복잡해지고 혼란스러움

을 야기할 수 있으며, 또한 이 측정은 진단목적이 아니라 노출기준 초과여부 판단을 위한 측정이란 사실을 고려해보면 어느 정도 단순한 방법을 사용하여도 무방하지 않나 생각된다.

따라서 단독 사무실 경우 단위작업장소 선정은 당연히 해당 사무실이 되겠지만 복층으로 구성된 다수의 사무실이 존재하는 업무용 빌딩의 경우 사무실 환경에 대한 대표성과 최악조건(worst case)의 두 가지 측면을 동시에 고려한다면 각 층마다 가장 사무실환경이 나쁠 것으로 예상되는 사무실을 최소 1개소 이상 선정토록 하는 것이다.

■ 시료채취 수

일단 시료 채취장소(사무실)가 결정되고 나면 단위장소 내에서 몇 개의 시료를 어느 위치에서 측정하느냐 하는 점이 결정되어야 한다. 아래 그림은 공조기를 미가동 중인 사무실 2곳과 가동 중인 사무실 3곳을 대상으로 각 사무실을 등 간격으로 나눠 4개 지점에 측정한 일산화탄소 농도 및 호흡성 분진의 농도 분포를 막대그래프로 표시한 것이다.

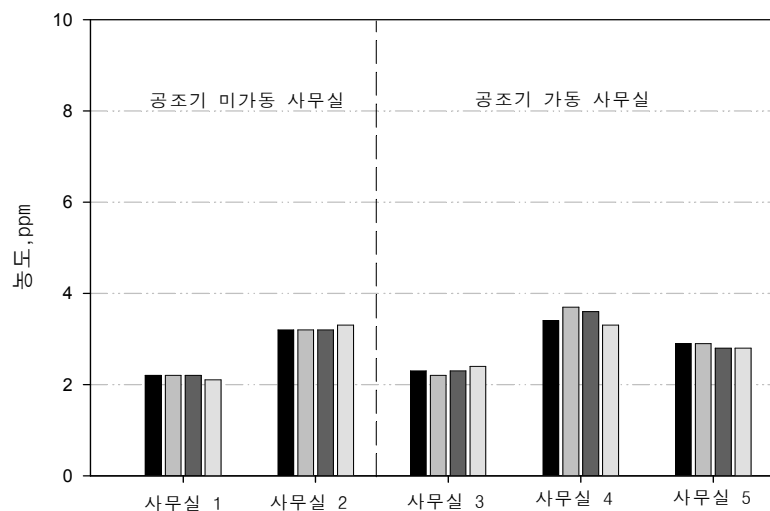


그림 1. 사무실내 측정위치에 따른 일산화탄소농도 분포

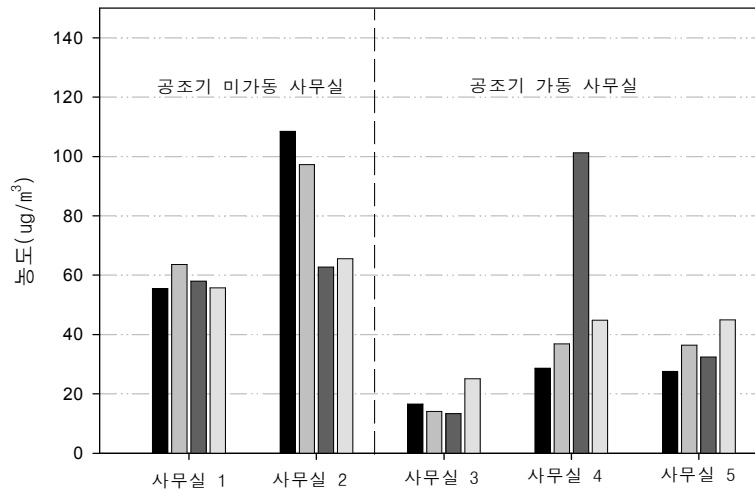


그림 2. 사무실내 측정위치에 따른 호흡성분진 농도분포

위 그림에서 보면 일산화탄소의 경우 동일 사무실내에서 위치에 따른 농도차이는 별로 없었다. 그러나 호흡성 분진의 경우 사무실 1, 3, 5에서도 그 차이가 크지 않으나 사무실 2와 4에서는 공조기를 가동하던 안하던 간에 차이가 크게 남을 알 수 있다.

비록 동일한 사무실내라 할지라도 오염물질 종류에 따라서는 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 보다 정확한 평가를 위해서는 가능한 동일 사무실내에서 시료채취 지점 수를 늘리는 것이 바람직 하지만 그 수를 무작정 늘리는 것도 경제적인 평가가 되지 못한다. 따라서 동일 사무실내의 시료채취 지점 수선정은 두 가지 측면에서 접근하는 방향을 모색해 보고자 한다. 하나는 측정지점 선정의 통일성을 기하는 측면과 다른 하나는 가장 오염도가 높다고 예상되는 즉 worst case 지점을 선정하는 방식을 병해 하고자 한다.

전자에 해당하는 지점은 우리나라 환경부나 일본의 경우와 같이 사무실 중앙 지점을 측정 장소로 선정하는 것이고, 후자에 해당하는 지점은 측정자로 하여금 예비조사 결과를 바탕으로 worst case 지점 1곳을 선정하여 측정토록 하는 것이다. 따라서 이 방식으로 접근하면 동일 사무실 내에서 최소 측정지점 수를

2개가 된다.

※ worst case 지점 선정 요령 : 조사자가 현장 방문을 통하여 현장특성을 반영하여 최종 선정되지만 일반적인 선정 요령은 다음과 같다.

근로자들이 정기적으로 사용하고 있는 공간에서 공기혼합이 가장 잘 안되는, 즉 환기가 가장 안 된다고 판단되는 지점을 선택하도록 한다. 이러한 지역의 예로는 급기구 및 배기구로부터 가장 멀리 떨어진 사무실 코너, 공기흐름을 방해하는 칸막이로 둘러싸인 지점, 공기 유입구로부터 가장 멀리 떨어진 사무실, 단위 면적당 근로자 수가 가장 많은 지점 등이 해당된다.

■ 시료채취 위치

시료채취 지점수가 결정되고 나면 어느 위치에서 개인시료 또는 지역시료로 측정할 것인가가 결정되어야 한다. 개인 노출량을 평가하기 위해서는 개인노출 평가를 하는 것이 원칙이지만 사무실 근로자들 대상으로 개인시료채취기를 착용시키기는 매우 어려운 문제이며, 또한 사무직 근로자들이 하루 대부분의 근무시간이 단위작업장소 내(동일사무실내)에서 이루어지기 때문에 지역시료로 평가하는 것도 문제가 별로 없어 보인다. 그러면 지역시료 채취방법으로 시료를 채취한다고 할 때 어느 높이에서 측정하느냐가 문제이다. 가장 합리적인 방법은 사무직 근로자들의 호흡영역에 해당하는 위치에서 측정하는 것이다. 일본의 경우 바닥 면으로부터 0.75 ~ 1.5 m 사이에서, 환경부의 경우는 1.2 ~ 1.5 m, 그리고 미국 OSHA의 경우는 0.9 ~ 1.5m 사이에 측정토록 하고 있다.

우리나라 기술표준원에서는 국민표준체위 조사를 실시하고 있는데 97년에 실시한 제 4차 국민표준체위결과가 발표되어 있고, 현재 제 5차 국민표준체위조사를 실시하고 있다. 따라서 가장 최근의 조사 결과인 1997년 조사결과를 이용하였다. 사무직 작업자의 호흡영역은 앉아서 일하는 경우와 서서 일하거나 또는 이동하는 도중의 호흡영역의 높이를 범위로 설정하면 될 것이다. 표 6은 제 4차 국민표준체위 조사결과 중 청년층 II(25세 ~ 39세)에 해당하는 국민들의 앉았을 때의 눈높이와 서서 있을 때의 눈높이에 대한 분포를 나타낸 것이다.

표 6. 한국인의 눈높이에 관한 표준체위

항 목	남자(25세 ~ 39세)			여자(25세 ~ 39세)		
	백분위수			백분위수		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%
서서 있을 때 눈높이	151.6	158.9	165.1	142.6	148.2	153.3
의자에 앉았을 때 눈높이	114.7	120.8	127.5	109.0	114.7	120.5

국민 표준체위조사에서는 코 높이까지의 조사결과가 없었기 때문에 눈을 기준으로 의자에 앉았을 때와 서서 있을 때의 눈까지 높이를 정리하였다. 조사결과를 보면 남자의 경우 평균(50% 백분위수)이 서 있을 때와 앉았을 때가 각각 158.9cm, 120.8cm이고 여자의 경우가 각각 148.2 cm, 114.7 cm였다. 여기서 사무직 작업자의 호흡영역 산정시 고려되어야 할 사항이 눈높이가 아니라 코 높이를 기준으로 하는 것이 보다 타당하고, 또한 국민표준체위 조사결과와 경우 정 자세로 앉거나 서서 있을 때의 체위를 측정한다는 점을 고려해 보면 일반적인 사무직 근로자의 호흡영역은 동 조사 결과 보다는 높이가 당연히 줄어들어야 할 것으로 보인다. 따라서 사무실환경 측정시 시료채취 위치는 환경부가 제안하고 있는 1.2~1.5 m 보다는 미국 OSHA에서 제안한 0.9 ~ 1.5m 사이에서 측정토록 하는 것이 보다 합리적인 접근법이 아니가 판단된다.

■ 시료채취 시간

시료채취시간의 결정은 설정되어 있는 관리기준의 설정배경, 그리고 측정에 사용되는 측정기기의 특성 및 사무실에서의 오염물질의 하루 일과 시간중 분포 특성을 종합적으로 고려해야한다.

현재 산업안전보건법에서 규정한 사무실 오염물질의 관리기준은 하루 8시간 작업기준의 8시간 시간 가중평균으로 평가토록 하고 있다. 그러나 물질에 따라서는 하루 8시간 동안 계속 측정하기가 곤란한 경우도 있고, 8시간 시간 가중으로 평가하기 보다는 최고노출치(Ceiling) 개념으로 평가하는 것이 보다 합리적인 오염물질 항목이 있기 때문에 이 사항에 관해서는 다음에 이어지는 개별 물질 측정방법에서 논하고자 한다.

■ 측정주기

사무실 환경을 법으로 강제하여 측정토록 하고 있는 일본의 경우 사무실 위생기준 규칙에 의하면 사무실은 2개월에 1번씩 정기적으로 측정토록 하고 있고, 우리나라 환경부의 다중이용시설에 대한 실내공기질 측정은 유지기준이 설정되어 있는 물질(PM10, CO₂, CO, HCHO, 총부유세균)은 연 1회, 권고기준이 설정되어 있는 물질(NO₂, Rn, VOC, 석면, 오존)에 대해서는 2년에 1회 이상 측정을 실시토록 하고 있으나, 현재 산업안전보건법, '사무실 오염으로 인한 건강장해예방규칙' 편에서 규정하고 있는 관리기준이 설정된 오염물질의 경우 주기적으로 측정해야 하는 강제사항은 아직까지는 없는 상태이다.

그러나 유사한 실내환경을 다루는 환경부의 다중이용시설에 대해서는 법적으로 측정토록 하는 의무조항이 있는 반면 사무실 환경에 대한 법적인 측정의 의무조항이 없는 것은 형평성 차원에서도 문제가 있다고 판단된다.

만약 의무적으로 사무실 환경을 측정한다고 하였을 때 어느 기간에 측정하는 것이 사무실 환경관리 차원에서 적합한지를 살펴보고자 한다.

일반적으로 사무실 환경의 경우 사업주가 자율적인 관리 목적에서 측정을 한다고 하면 계절의 변화에 따른 영향을 반영할 수 있도록 봄·여름·가을·겨울철에 각각 측정을 실시하거나, 실내공조설비를 설치 또는 개·보수 후, 그리고 실내공기질이 나빠졌다고 판단될 때 하는 것이 바람직하다. 그러나 의무적인 측정에 이런 모든 요인이 반영되어 평가주기를 정한다면 측정횟수가 너무 늘어나는 문제점이 있다. 따라서 측정주기에 있어서도 가장 실내공기질 오염부하가 크다고 판단되는 계절에 실시하는 것이 바람직 할 것이다. 우리나라의 경우 여름과 겨울철이 실내공조기를 통한 실내 냉·난방시 실내에 공급되는 실외공기 공급량이 가장 적은 계절이기 때문에 여름철 또는 겨울철에 실시하는 것이 타당하다고 판단된다.

그림 3은 금년 2~4월 까지 서울, 인천, 광주, 부산지역에 소재하고 있는 사무실 근로자 총 363명을 대상으로 사무실 환경측정의 법제화의 필요성과 제도화가 된다면 사무실환경측정 주기에 대한 근로자의 인식정도를 자기기업식 설문조사 방식의 설문조사를 통해 얻은 결과이다. 사무실 환경측정에 대한 법제도의 필요성에 대해서는 조사에 응답한 근로자의 절대 다수인 84.5%가 필요하다고 응답하였으며, 측정주기에 있어서는 연 2회가 44%로 가장 많았다.

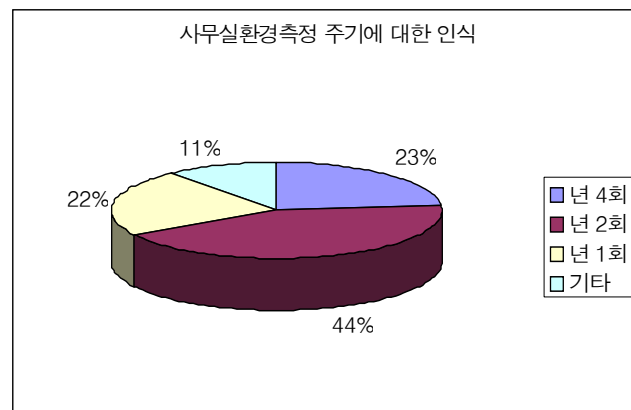
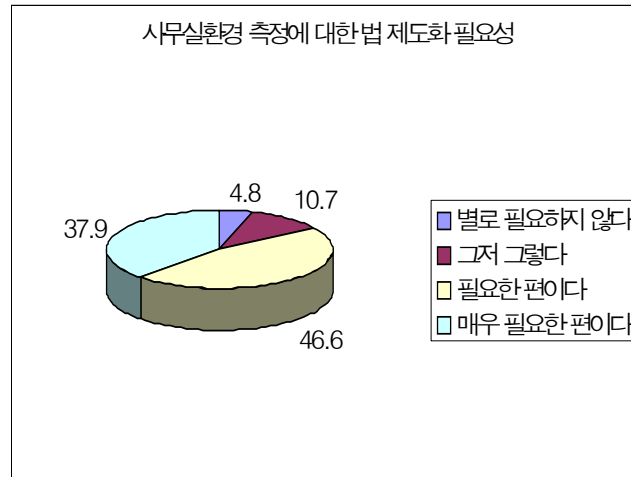


그림 3. 사무실환경측정 법제도화필요성 및 주기에 대한 근로자 인식분포

나. 주요항목별 측정·평가방법

우리나라 산업환경 작업환경측정 경우 1992년부터 작업환경측정정도관리 시행으로 분석능력검증제도가 이미 시행하고 있고, 또한 사용하고 있는 측정·분석방법들이 현재 사용하고 있는 시험방법이 ISO 규격으로 제정되는 등 이미 국제적으로 공인된 시험방법들을 사용해 오고 있으며, 산업안전보건연구원에서는 산업안전보건법 개정(2002. 12)에 따른 작업환경측정대상물질이 116종에서 189종으로 확대시행(2004.1)에 맞춰 측정대상물질을 포함한 총 211종의 유해화학물질에 대한 작업환경측정·분석방법을 제정하여 작업환경측정기관에 유인 제공한바 있다.

그러나 사무실과 같이 비산업환경의 경우 산업환경 작업장에 비해 유해물질의 농도가 매우 낮고, 또한 물질에 따라서는 관리기준 설정근거가 노출농도에 따른 건강영향의 양-반응 관계에 기초하여 설정된 것이 아닌 물질도 있어서 기존 산업환경의 작업환경측정·분석방법을 적용하기에는 곤란한 물질도 있다.

따라서 산업안전보건법 보건기준에 관한 규칙에서 규정하고 있는 관리기준이 설정되어 있는 물질을 중심으로 국내·외적으로 실내환경에 사용되고 있는 측정방법을 살펴보고 가장 타당한 방안을 도출해 보고자 한다.

1) 이산화탄소(CO₂)

실내에서 이산화탄소 농도는 빌딩환기의 효율성을 평가할 수 있는 대표적인 지표물질이다. 이산화탄소 농도증가는 외부 신선공기와의 교환이 잘 이루어지지 않고 있음을 의미한다. 산업안전보건법에서 규정한 이산화탄소의 관리기준이나 ASHRAE에서 권고하고 있는 실내환경의 이산화탄소 농도 관리기준은 1,000 ppm이며, 실내에서의 이산화탄소 농도가 사람을 제외한 특별한 발생원이 존재하지 않음에도 불구하고 농도가 1,000 ppm를 초과하면 사무실내의 희석 환기량이 충분하지 않는 것으로 평가하고 있다.

사무실 공기 중의 이산화탄소에 대한 주 발생원은 사람이기 때문에 환기가 잘 되지 않은 사무실에서의 이산화탄소 농도는 사무실 근로자들의 행동패턴에 따라 변화되며, 그림 4는 5개의 사무실과 옥외에서 근무시간 30분전부터 1시간

간격으로 근무 종료시간 30분 후까지 이산화탄소 농도를 측정한 결과이다.

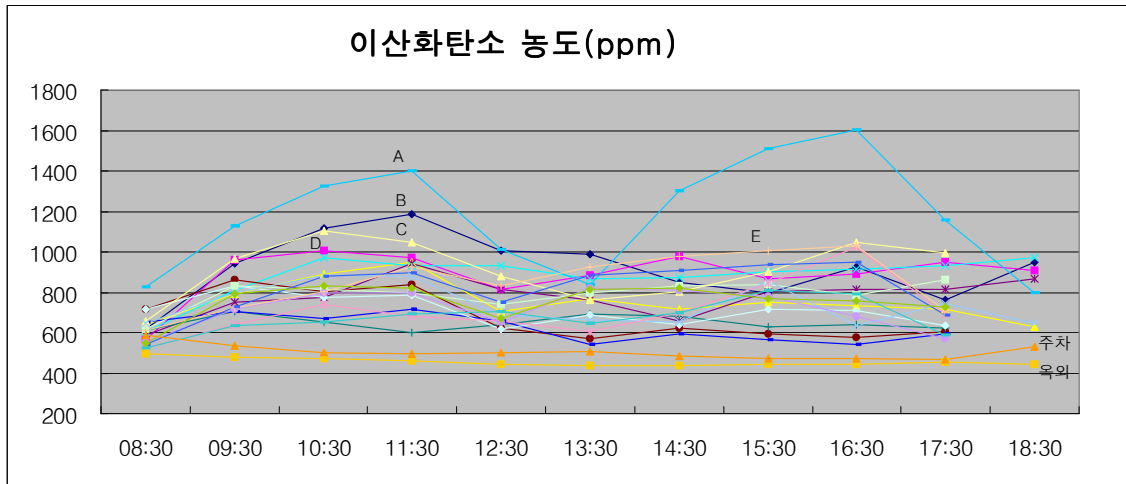


그림 4. 사무실 및 실외에서 이산화탄소 농도변화 추이

A 사무실의 경우 환기가 잘 이루어지 않은 사무실에서의 전형적인 이산화탄소 농도변화패턴을 보여주고 있다. 즉 사람들이 출근하여 일을 하기 시작하면 실내에서의 이산화탄소 농도는 점점 증가하여 오전 11:30분 전후하여 피크치를 이루다가 점점 감소하는 경향을 보이는데, 이는 사람들이 점심 식사를 하기 위해 사무실을 떠나기 때문이다. 점심 식사 후 오후 근무가 시작되면 다시 이산화탄소 농도는 점점 증가하게 되고 오후 4시 30분 전후하여 피크치를 다시 이루다가 사람들이 퇴근시간에 가까워지면 점점 농도는 감소하게 된다.

ASHRAE에서 사무실 환기와 관련하여 권고하고 있는 사항을 살펴보면 사무실 내의 이산화탄소 농도를 항상 1,000 ppm 이하로 유지하기 위해서는 근무자 1인당 최소 0.53m³/분의 신선한 외기 공기를 공급하여 실내공기를 희석환기토록 하고 있다.

현재 국내·외적으로 이산화탄소에 대한 측정방법으로 사용하고 있는 방법들의 특징을 정리한 것이 표 1이다.

표 7. 이산화탄소 측정방법

측정방법	원 리	장·단점	비고
Portable GC-TCD	운 반 기 체 와 의 열전도도 차이	·사업장에서 농도평가 위해 개발 (500-15,000 ppm) ·휴대불편 ·고가	NMAM 6603
GC-TCD	“	·사업장에서 농도평가 위해 개발 (500-15,000 ppm) ·휴대불가 ·고가	OSHA ID172
Nondispersive IR	적외선(4.2 μ m)의 흡수도	·휴대간편 ·0~2000, 0~5000, 0~10,000ppm ·연속측정 및 변화패턴 평가가능 ·주기적 교정 필요	환경부
Photoacoustic IR	적외선 및 공기의 음향적 진동특성	·휴대불가 ·연속측정 및 변화패턴 평가가능 ·고가	-
detective tube	검지제와의 발 색반응	·조작 간단하고 저렴 ·연속측정 불가 ·정확도가 다른 장비에 비해 떨어짐	일본

공기 중의 이산화탄소농도를 측정하는 방법으로는 가스크로마토그래피법, 비분산전외선법(Nondispersive infrared), 광음향적외선법(Photoacoustic infrared), 검지관법(detective tube)법이 있다. NIOSH와 OSHA의 가스크로마토그래피법은 제조업 작업장과 같이 산업환경에서의 이산화탄소 농도를 측정하기 위해 개발된 방법으로 실내환경에 이용하기 위해서는 가격, 측정의 편리성 등 여러 면에서 부적합한 방법이다. 실내환경의 이산화탄소 농도를 측정하는 데는 비분산 적외선법과 검지관법을 가장 널리 사용하고 있으나 각 측정방법의 장·단점이 존재한다.

비분산 적외선법의 경우 초~수분 단위로 순간측정 뿐만 아니라 연속 측정이 가능하고, 휴대가 간편하다는 장점은 있지만 주기적인 교정(calibration)이 필요하고, 또한 검지관 방법 보다는 가격이 비싸다는 단점이 있다.

검지관법의 경우 가격은 저렴하고, 조작이 간편한 장점이 있지만, 검지관 튜브가 1회용 소모품이기 때문에 측정시 마다 새로운 검지관 튜브를 갈아 끼워야하고 정확도가 떨어지며, 또한 연속적인 측정을 통한 모니터링이 어려운 단점이 있다.

따라서 각 측정방법의 장·단점을 고려해 볼 때 비분산 적외선법이 실내환경에서 이산화탄소 농도측정에 가장 적합한 방법이라 판단되며, 이 방법은 NIOSH 연구자나 OSHA 감독관들이 실내환경 조사시 흔히 사용되는 방법들이고, 환경부에서도 다중이용시설의 실내공기질 공중시험법에서 채택하고 있는 방법이기도 하다.

이산화탄소의 관리기준인 1,000ppm 초과여부를 판단하기 위한 측정의 경우 하루 8시간 작업동안 계속 모니터링하여 측정된 결과를 바탕으로 평가를 시도하는 것이 가장 정확한 방법이겠지만 이 방법은 현실성이 별로 없다. 왜냐하면 동 방식을 적용할 경우 여러 사무실로 구성된 복합빌딩의 경우 여러 대의 측정기가 필요로 하게 되고 이는 너무 많은 비용을 유발하기 때문이다. 따라서 한대의 측정기로도 여러 사무실을 측정할 수 있되 그 측정결과가 사무실에서의 하루 일과 중 최고 이산화탄소 농도를 반영할 수 있는 수치여야 한다.

환경부 실내공기질 공중시험에서 규정하고 있는 이산화탄소 농도 측정방법은 비분산적외선법을 이용하여 주간시간대(오전 8시 ~ 오후 7시)에 1시간 측정결과치의 평균치로서 평가토록하고 있다. 그러나 이 방법을 사용하여 사무실환경의 이산화탄소 농도를 측정하는 경우 그림4의 결과에서 보는 것처럼 어느 시간대에 측정하느냐에 따라 차이가 많이 나게 되고, 또한 사무실내에서의 이산화탄소 농도를 측정하는 것은 이산화탄소 농도가 실내에서 평형을 이루었을 때 최고 수준을 1,000ppm 이하로 관리하자는 의미이기 때문에 평형에 접근하는 시간대를 구체적으로 제시하지 않고 주간시간대에 측정토록 하는 것은 합리적이지 않다고 판단된다.

따라서 사무실에서의 이산화탄소 농도측정은 비분산 적외선 방식으로 측정하되 실내의 이산화탄소 농도가 평형에 접근하는 시간대인 업무시작 2시간 후와 점심시간 사이(오전)와, 업무 마감시간 2시간 전부터 1시간 전까지(오후)로 오전과 오후로 각각 나누어서 측정한 값의 평균값을 사용하는 것을 제안하고자 한다. 그러나 이러한 접근 방법은 조사자의 판단에 따라 변경될 수

있는데, 즉 조사 대상 사무실에 업무특성상 가장 많은 사람이 근무하는 시간대가 일반적인 사무실과 다를 경우 변경 될 수 있도록 하여야 할 것이다.

일단 오전과 오후의 측정시간대가 결정되고 나면 과연 그 측정시간대 동안 얼마동안 측정을 실시해야 하는지를 결정하는 문제가 남는다. 결론적으로 이야기 하면 이 부분에 대한 어떤 타당한 자료를 아직 발견하지는 못했다. 사무실환경의 경우 오염물질의 순간적인 변이가 산업환경의 작업장 같이 크지는 않지만 그래도 얼마 시간동안 측정해야 신뢰할 만 수준의 측정결과인지는 여전히 의문 사항이다. 일본의 경우 검지관 방식으로 측정하는 결과를 인정하고 있는 데, 이 경우 업무시작 1시간 후와 업무마감 1시간 전, 그리고 중간 업무시간에 3회 측정하여 평균치로 판정토록 하고 있다. 이산화탄소 검지관 경우 1분 동안 공기를 흡입하여 측정하게 되는데 이는 측정시간이 1분이라는 의미와 동일하지만 측정시간 1분에 대한 타당한 근거는 없는 것 같다.

따라서 이 부분에 대해서는 우리가 작업장에서의 단시간노출기준이나 최고 노출기준을 평가시 사용하는 시간대인 10분 또는 15분 동안 측정하여 평균치를 사용하는 것이 어떨까 한다.

■ 사무실 환경의 이산화탄소농도 측정방법 제안

복층으로 구성된 다수의 사무실이 존재하는 업무용 빌딩의 경우 각 층마다 가장 사무실환경이 나쁠 것으로 예상되는 사무실을 최소 1개소 이상 선정하고, 각 사무실의 중앙지점과 예비조사 결과를 바탕으로 worst case 지점 1 곳을 선정하여 비분산 적외선 방식의 측정법으로 업무시작 2시간 후와 점심 시간 사이(오전)와, 업무 마감시간 2시간 전부터 1시간 전까지(오후) 각각 10분 또는 15분간 측정한 평균치로 판정한다.

2) 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 탄소화합물의 불완전 연소에 의해 발생하는 물질로, 이러한 일산화탄소 농도 측정방법으로 알려진 것을 정리한 것이 표 8이다.

표 8. 일산화탄소 측정방법

측정방법	원 리	장·단점	비 고
Electrochemical sensor	전기 화학 반응에 의한 전류 크기	·측정범위: 0 ~ 50ppm이상 ·휴대 간편함 ·연속측정 및 변화패턴 평가가능 ·주기적 교정필요	NMAM 6604 ISO/CD8519 OSHA ID-209
GC-DID	운 반 기 체 인 헬륨의 글로우 방전에 의해 생성된 광자로 일산화탄소를 이온화시켜 검출	·1 ppm 이하도 측정가능 ·휴대불가 ·고가	OSHA ID210 ISO 8186
Nondispersive IR	적외선(4.2 μ m)의 흡수도	·휴대 간편함 ·0 ~ 50ppm이상 ·연속측정 및 변화패턴 평가가능 ·주기적 교정필요	ISO4224 환경부
Photoacoustic IR	적외선 및 공기의 음향적 진동특성	·휴대불가 ·연속측정 및 변화패턴 평가가능 ·고가	-
detective tube	검 지 제 와 의 발색반응	·조작 간단하고 저렴함 ·연속측정 불가 ·정확도가 다른 장비에 비해 떨어짐 ·저 농도 측정곤란	ISO 8760 일본

표 8에서 제시된 여러 방법 중 실내환경 측정용으로 가장 널리 사용되는 방법이 비분산적외선 방법과 전기화학방식, 그리고 검지관 방식이다.

비분산 적외선 방식이나 전기화학 방식을 채택하고 있는 측정기의 경우 휴대가 간편하고, 연속측정이 가능하며, 또한 실내에서의 일산화탄소 농도 변화패턴도 평가가 가능하다는 장점은 있지만, 시간경과에 따른 센서의 drift가 발생하기 때문에 주기적으로 제로가스와 스펠가스를 이용하여 교정을 해주어야 된다는 점이 단점이다. 검지관 튜브의 경우 조작이 간단하고 저렴한 장점은 있지만

만 정확도가 떨어지고, 특히 저 농도에서 농도 표시 간격이 너무 좁아 발색범위를 읽는데 있어 많은 오차를 유발하는 것 같다.

보건규칙에서 규정한 일산화탄소에 대한 관기기준은 8시간 시간가중평균으로서의 10 ppm이다. 그러나 이 부분 역시 이산화탄소와 마찬가지로 각 사무실에서 일산화탄소를 8시간 연속 측정하여 시간 가중치를 계산하는 것은 현실성이 없어 보이며, 현실성 있는 접근방법은 사무실에서의 일산화탄소 농도변화 특성을 고려하여 최대 농도치 개념에서 측정시간을 설정하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

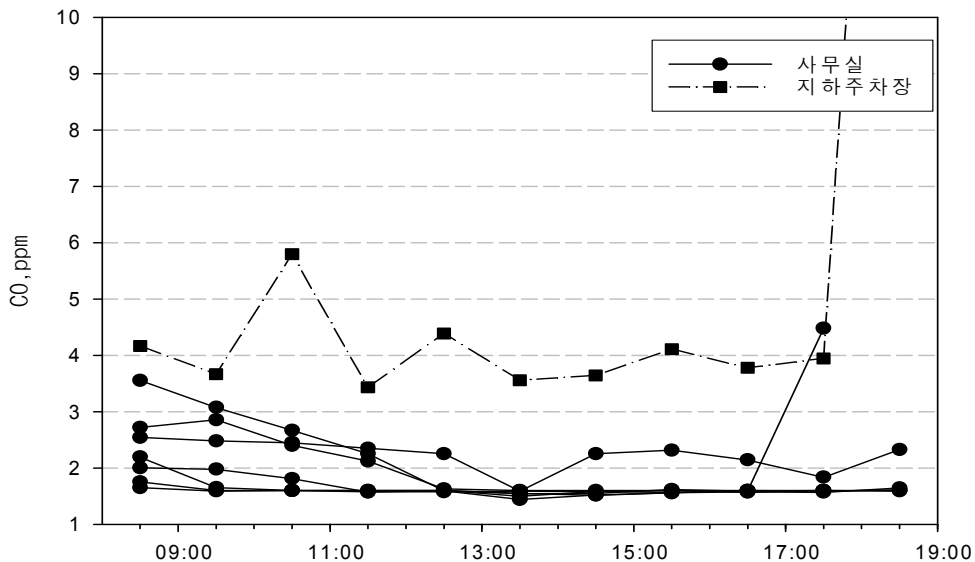


그림 5. 1일 근무시간 중 사무실 및 지하주차장에서의 CO 농도 변화,

그림 5는 사무실내와 지하주차장에서 시간경과에 따라 일산화탄소 농도 변화 패턴을 보여주고 있다. 사무실내에서의 일산화탄소 농도가 높아지는 대표적인 경우는 대기 중 자동차 배기가스가 들어오거나, 사무실내에 불안전배기가스를 배출하는 연소기구가 존재할 경우, 그리고 실내공조기의 냉·난방에 필요한 연료원의 연소가스가 배기되지 않아 실내로 공급되는 공조공기에 포함된 경우인 것 같다. 따라서 이와 같은 특별한 오염원이 없다면 실내에서의 일산화탄소 농

도는 대부분 5 ppm 이하이고, 또한 시간경과에 따른 농도변이도 그리 크지 않은 것 같다.

이와 같은 요인을 종합적으로 고려해 볼 때 사무실에서의 일산화탄소 농도 측정시간대로 가장 적합한 시간대는 자동차배기가스의 영향을 가장 많이 받는 시간대인 근무시작 1시간 이내(오전)와 근무종료 1시간 이전(오후)을 포함하여 사무실내의 오염원이나 공조설비의 냉·난방에 필요한 연료원의 연소가스가 실내로 유입되고 있는지 여부를 파악할 수 있는 시간대인 오전과 오후사이 시간대에 1번 하여 총 3회 측정하여 평균값으로 평가토록하고, 측정시간은 이산화탄소와 동일하게 10분 또는 15분 동안 측정토록 하자는 것이다.

■ 사무실 환경의 이산화탄소농도 측정방법 제안

복층으로 구성된 다수의 사무실이 존재하는 업무용 빌딩의 경우 각 층마다 가장 사무실환경이 나쁠 것으로 예상되는 사무실을 최소 1개소 이상 선정하고, 각 사무실의 중앙지점과 예비조사 결과를 바탕으로 worst case 지점 1 곳을 선정하여 비분산 적외선 방식 또는 전기화학방식의 측정법으로 업무시작 1시간 전(오전)과, 업무 마감시간 1시간 전(오후), 그리고 오전과 오후 사이 시간대에 각각 10분 또는 15분간 측정한 평균치로 판정한다.

3) 호흡성 분진

호흡성 분진에 대한 측정방법으로는 여과포집에 의한 중량분석법과 광산란 방식, 정전식 또는 피에조발란스식으로 먼지입자의 수를 카운트하여 무게농도로 환산하는 방식인 실시간 측정방식 있는데, 실시간 측정방식 중에는 현재 광산란방식이 가장 보편적으로 사용되고 있다.

호흡성분진에 대한 보건규칙의 관리기준은 8시간 시간가중평균으로서 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 이를 평가하는데 현재 작업환경 측정시 사용하고 있는 호흡성분진 시료채취기(10mm nylon cyclone, HD, Al cyclone+PVC 필터(공극 $5\mu\text{m}$))를 사용하여 측정하면 측정방법에 있어서는 문제가 없을 것으로 보이며, 작업환경측정 시간 역시 현 작업환경측정규정과 같이 하루 일과 시간 중 6시간이상 측정하면 될 것으로 보인다.

표 9. 호흡성분진 측정방법

측정방법	원 리	장·단점	비 고
중량법	10mm nylon cyclone, HD, Al cyclone+ PVC 필터(공극 5 μ m)	·8시간 시간가중평균농도 산출 ·기존 작업환경측정방법 ·1 μ g이상의 해독도를 가진 전자저울 필요	NMAM 0600 KOSHA 109
광산란식 정전식 피에조벨 란스식	입자에 의한 광산란정 도, 대전입자의 이동 도, 또는 압전소자에 정전포집하여 소자의 질량변화유도	·순간적인 농도변화 측정가능 ·휴대 가능 ·시간 가중평균 산출 불편 ·주기적인 교정 필요 ·고가	일본

■ 사무실 환경의 호흡성분진 측정방안

복층으로 구성된 다수의 사무실이 존재하는 업무용 빌딩의 경우 각 층마다 가장 사무실환경이 나쁠 것으로 예상되는 사무실을 최소 1개소 이상 선정하고, 각 사무실의 중앙지점과 예비조사 결과를 바탕으로 worst case 지점 1 곳을 선정하여 근무시간 중 6시간 이상 측정하여 8시간 시간가중 평균치로 평가한다.

3) 포름알데히드

포름알데히드의 측정방법은 표 10과 같이 다양한 방법이 있으나 2,4-DNPH(2,4-dinitrophenylhydrazine)와 포름알데히드와의 유도체반응을 유도시켜 유도체(hydrazone)를 분석하는 방법이 요즘 가장 널리 사용되고 있는 방법이다(그림 6).

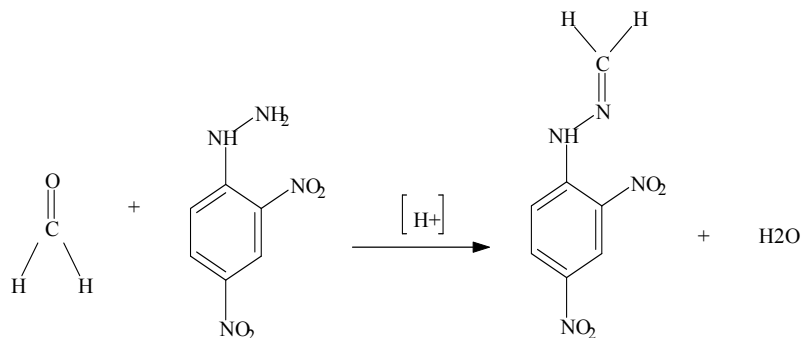


그림 6. 포름알데히드와 2,4-DNPH와의 유도체화 반응

표 10. 포름알데히드 측정방법

시료채취방법		분석기기	장·단점	비고
임편저법	sodium bisulfate soln.	UV-VIS	·시료채취 및 전처리과정 번거러움 ·시료채취과정 중에 시료손실 우려 ·검출한계: 0.5 μ g/시료	NIOSH 3500
	2N HCl/0.05% 2,4 DNPH	HPLC	·시료채취 및 전처리 과정 번거러움 ·시료채취과정 중에 시료손실 우려	EPA TO5 APHA115,116,117
고체흡착법	2-HMP	GC-FID	·시료채취 용이 ·검출한계: 1 μ g/시료	NIOSH 2541, 2539
	2-HMP	GC-NPD	·시료채취 용이 ·검출한계: 0.39 μ g/injection	OSHA 52
	2,4-DNPH	HPLC	·시료채취 용이 ·검출한계: 0.09 μ g/시료	NIOSH2016, ISO16000-3, EPA TO-11, KOSHA 67 환경부
	2,4-DNPH	GC-NPD	·시료채취 용이 ·검출한계: 0.12 μ g/시료	KOSHA 68
검서관법 전기화학적 검출법 화학발광법			·농도변화 패턴 평가가능 ·정확도가 떨어짐 ·예비조사시 이용하면 편리	-

실리카겔에 2,4-DNPH가 코팅된 흡착관을 사용하여 시료를 포집하기 때문에 시료채취가 손쉽고, 또한 포름알데히드와 반응한 유도체의 경우 HPLC로 분석하게 되면 검출한계가 낮기 때문에 아주 낮은 농도의 포름알데히드까지 측정이 가능하다는 장점이 있다. 동 유도체를 HPLC 대신에 GC-NPD를 이용하여 분석하는 방법인 KOSHA 68번도 HPLC로 분석방법과 검출한계가 별로 차이가 없으며, 현재 산업안전보건연구원의 경우 동 측정방법을 사용하여 실내 공기중의 포름알데히드를 측정하고 있다.

그림 7은 서울, 광주, 부산 소재 3개 업무용빌딩 사무실에서 측정한 52개의 포름알데히드 측정치와 사무실 측정시 동시에 외기(실외)에서 측정한 12개의 포름알데히드 측정치를 그림으로 나타낸 것이다.

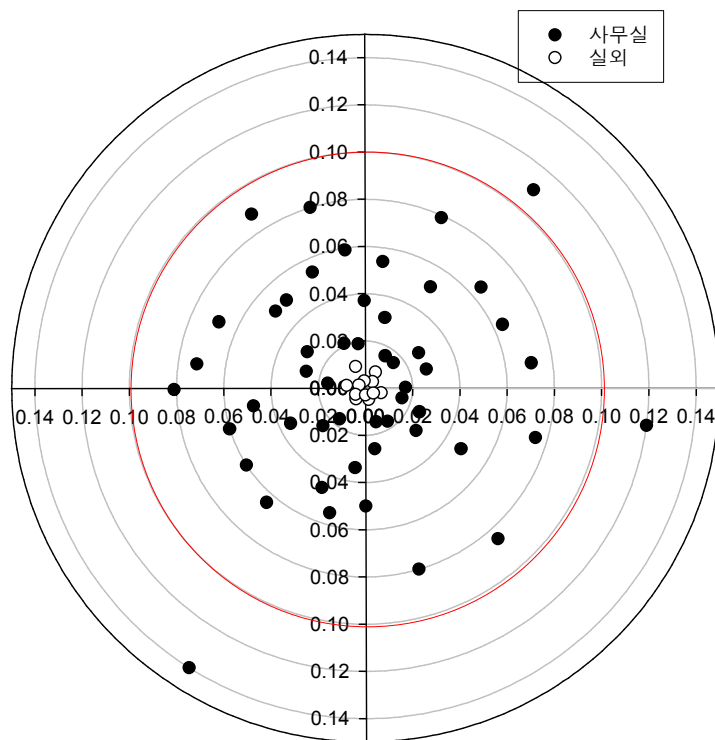


그림 7. 사무실내 및 실외에서 측정한 포름알데히드농도 분포도

■ 사무실 환경의 포름알데히드 측정방법 제안

복층으로 구성된 다수의 사무실이 존재하는 업무용 빌딩의 경우 각 층마다

가장 사무실환경이 나쁠 것으로 예상되는 사무실을 최소 1개소 이상 선정하고, 각 사무실의 중앙지점과 예비조사 결과를 바탕으로 worst case 지점 1곳을 선정하여 2,4-DNPH 코팅된 실리카겔 흡착관을 사용하여 근무시간 중 6시간 이상 시료를 채취 한 후 HPLC-UVD 또는 GC-NPD를 이용하여 분석한 후 8시간 시간가중평균으로 평가한다.

3) 온·습도

온도와 습도는 실내환경에 있어서 편안함을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 지금까지 논의 되어 왔던 모든 오염물질이 관리기준 이하로 유지된다 하더라도 온도와 습도가 적정 범위 내에 들지 않으면 사람에게 불편함을 유발하게 된다.

연구원에서 실시한 전국소재 5개 업무용 빌딩에 대한 사무실 환경실태 조사 결과 가장 문제가 되는 부분 습도였으며, 자각증상에 대한 설문조사결과 눈·코, 목의 건조 등 습도와 관련된 불편함을 호소하는 사람이 높게 나타났다.

조사대상 업무용빌딩에서의 실내공조는 주로 온도만을 조절하고 있었으며, 습도를 조절하는 곳은 한 군데도 없는 것으로 나타나(공조기에 습도조절장치가 설치되어 있는 곳도 습도 조절장치를 미 활용하고 있었음), 실내의 습도는 전적으로 외기습도에 의존하고 있었다. 우리나라 기후 특성상 겨울철 및 이른 봄철의 경우 외기습도가 매우 낮고, 그나마 실내 난방을 하게 되는 경우 외기 도입량이 더욱 줄어들게 되고, 또한 실내의 온도가 외기보다 높기 때문에 이러한 기간에는 실내의 상대습도는 더욱 낮아지게 된다. 이런 경우 실내에 매우 건조하여 불편함을 호소하는 사람들은 늘어나게 된다. 그림 8, 9는 금년 2월에 한 업무용 빌딩의 여러 사무실을 대상으로 측정한 온·습도 결과를 나타낸 것이다.¹

총 19개의 사무실 중 3개 사무실을 제외한 나머지 사무실의 경우 근무시간 중 ASHRAE가 권고하고 있는 겨울철 최저 상대습도 20%에 못 미치는 것으로 나타났으며, 온도의 경우 권고기준보다(21~23℃)는 약간 높게 유지되고 있는 사무실이 대부분이었다.

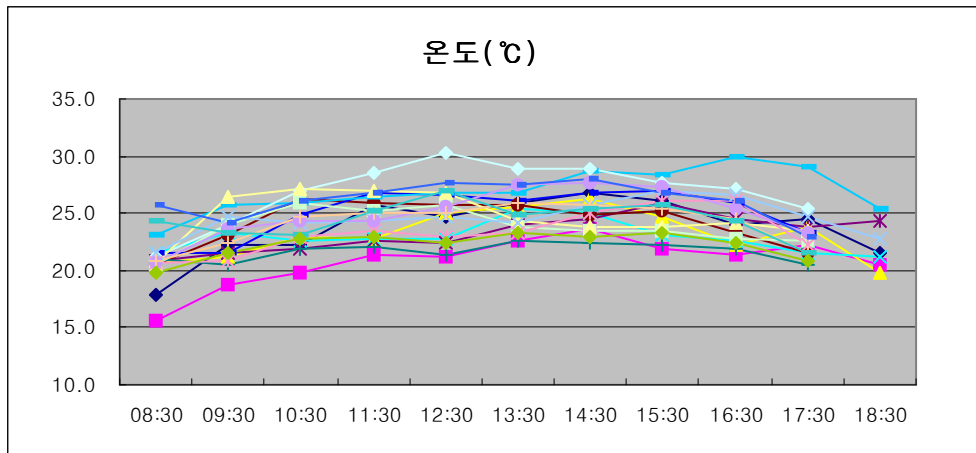


그림 8. 측정대상 사무실들의 시간 경과에 따른 온도변화

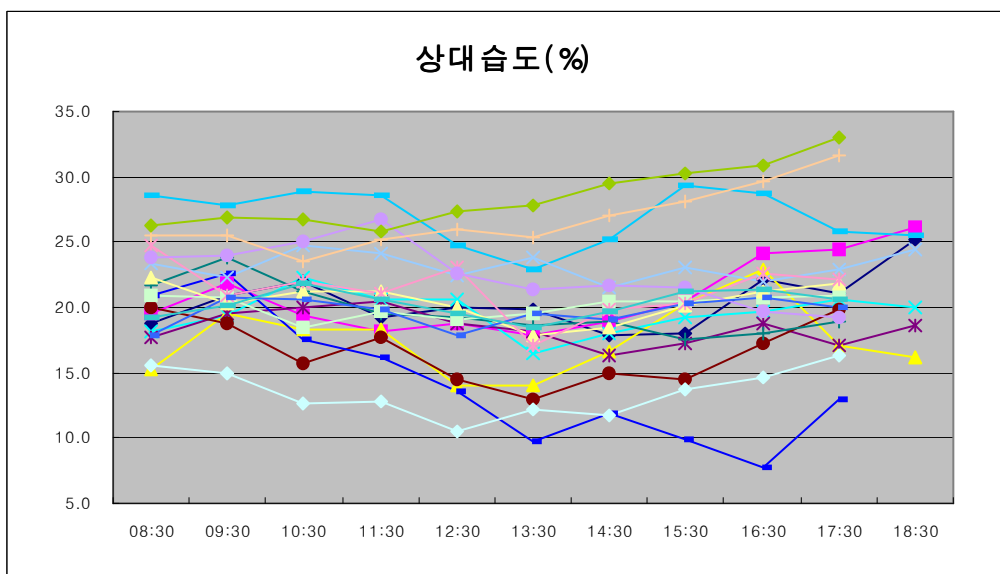


그림 9. 측정대상 사무실들의 시간경과에 따른 상대습도 변화

일본의 경우 빌딩관리법이나 사무실 위생기준 규칙에서는 온도의 경우 17~28℃, 그리고 상대습도의 경우 40~70%를 유지토록하고 있다. 그러나 일본에서도 겨울철에 상대적으로 우리나라 보다는 습도가 높음에도 불구하고 겨울철

의 상대습도를 40%로 유지하는 것이 쉽지는 않은 일인 것 같다. NIOSH의 경우 상대습도가 최소한 30%이상으로 유지 할 것으로 권고하고 있고, ASHRAE의 경우 최저한계가 20%이다. 그만큼 외기가 건조해지는 겨울철에 실내습도를 유지하는 일이 쉬운 일은 아니다. 그러나 온도와 습도는 사무실환경의 편안함을 결정하는 중요한 요소이기 때문에 사업주에게 일정한 가이드라인은 제공해야 되지 않나 판단된다. 따라서 온도와 상대습도의 경우 반드시 지켜야 하는 관리기준으로 설정하기 보다는 권고기준으로 설정하여 사업주가 관심을 가지고 관리 할 수 있도록 유도 하는 것이 바람직 할 것으로 본다.

온·습도의 경우 근무시간 중 일정한 범위 내에 계속 유지되는지가 관건이기 때문에 측정의 경우 일정한 시간 간격(1시간 또는 2시간)으로 측정하여 평가토록 하는 것이 합리적인 방안이라 여겨진다.

4) 기타(총 휘발성 유기화합물, 부유세균)

실내에서 발견된 휘발성 유기화합물의 종류만도 900여종 이상이고, 이중 250여종은 1 ppb 이상 검출되는 것으로 알려져 있다. 따라서 개별 물질별로 측정하여 평가한다는 것은 사실상 불가능하기 때문에 발견되어지는 모든 휘발성유기화합물중 정성 및 정량이 가능한 물질은 개별 물질별로 정량하고 나머지 물질은 톨루엔 같은 기준물질의 농도로 환산한 후 이들 값을 합산하여 평가하자는 개념이 총 휘발성 유기화합물(TVOC, Total Volatile Organic Compound) 평가방법이다. 환경부의 경우 신축공동주택의 경우는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 1,4-디클로로벤젠, 스티렌등 6종에 대해서만 휘발성 유기화합물로 규정하여 측정하여 공고토록 의무화하고 있으며, 오염물질 방출 건축자재의 경우 시험편에서 방출되어 방출시험 챔버의 출구공기에서 검출된 휘발성유기화합물로 질량분석검출계가 부착된 가스크로마토그래프에 의한 크로마토그램상의 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 휘발성유기화합물(VOC)을 대상으로 하며, 이때 정량은 톨루엔으로 환산하여 계산토록하고 있다(단 천연자재에서 방출된 것으로 확인되고 국제적으로 인체에 무해한 것으로 입증된 것은 정량에서 제외). 다중이용시설의 실내공기질 측정에 있어서도 건축자재평가방법과 같이 동일한 대상물질을 대상으로 측정하여 톨루엔의 농도로 환산토록 하고 있으며, 분석방법으로서는 고체흡착열탈착법을 이용한 GC/MS 분석방법, 캐니스터를 이용한

GC/MS 분석방법, 그리고 고체흡착용매추출법을 이용한 GC/MS 분석방법을 제시하고 있다.

그러나 다중이용시설의 실내공기질 경우 오염물질 건축자재보다 휘발성 유기화합물의 농도가 매우 낮아 측정·분석이 쉽지 않다는 점과, n-헥산에서 n-헥사데칸 사이에서의 검출되는 물질도 전적으로 분석자가 판단해야 하기 때문에 동일한 실내환경에 있어서도 측정자간 차이가 많이 발생할 수 여지가 있다고 판단된다. 그리고 TVOC를 채취하여 분석하는 방법들이 제시되고 있기는 하지만 아직까지는 측정결과에 대한 판단기준이 되는 정립된 것이 노출기준이 없는 실정이다. 따라서 사무실 환경에서의 TVOC 측정과 측정에 따른 판단의 근거가 되는 관리기준의 설정은 추후 많은 연구와 검토가 필요할 것으로 판단된다.

사무실환경 관리기준에 미생물에 대한 관리기준도 아직까지는 마련되어 있지 않고 있는 실정이다. 실내오염에 있어서 미생물에 의한 오염은 매우 주요한 오염원으로 자리매김하고 있다. 환경부의 경우 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서도 지하역사, 도서관등 일반 다중이용시설이 아닌 의료기관, 보육시설, 노인의료시설 및 산후조리원에 대해서만 총 부유세균에 대한 유지기준(800 CFU m^3)을 제시하고 있다.

실내환경에 있어서 세균뿐만 아니라 곰팡이도 빌딩증후군을 야기할 수 있는 매우 중요한 인자이며, 꽃가루 등 다양한 바이오에어로졸에 대한 관리가 되어야 하지만 아직까지는 아래와 같은 다양한 이유로 인해서 노출기준이 마련되고 있지는 않은 상태이다.

- 배양 가능한 유기체나 계수 가능한 포자가 하나의 단량체로 볼 수 없다. 즉 바이오에어로졸은 다양한 입자로 구성된 복합체이다.
- 바이오에어로졸은 중병을 유발하는 것에서부터 독성이 없는 것까지 다양하며 이들은 체내의 특별한 물질이나 개인의 감수성에 따라 매우 다른 반응을 나타낸다.
- 바이오 에어로졸의 측정값은 측정 및 분석방법에 따라 다르고 하나의 시료 채취 방법으로서 이러한 에어로졸의 특성을 모두 파악하기에는 아직까지는 불가능하다.

바이오에어로졸에 대한 양-반응 관계가 실험적 연구와 역학조사 자료로부터 관찰된 보고들이 있기는 하지만 아직까지는 노출과 반응 관계를 설명하기에는 불충한 상태이다. 따라서 현재 단계에서는 측정결과로부터 어떤 영향이 나타날 것인지에 대한 결론을 도출하는 것은 불가능하기 때문에 임상적 결과에 함께 판단하거나 오염되지 않은 곳의 측정결과와 상호비교 평가를 통해서 해석하는 수밖에 없으며, 전문가의 판단이 매우 중요하다.

따라서 현 단계에서 생물학적 요인(특히 곰팡이 부분)에 대한 관리기준이나 권고기준을 설정하여 관리하기에는 무리가 있다고 판단되며 향후 추가적인 검토와 함께, 이부분에 대한 지속적인 연구와 경험축적이 필요하다고 판단된다.

인용문헌

산업안전보건연구원. 유해물질 작업환경측정·분석방법, 2004.

한국산업안전공단. 일본 산업안전보건관련규칙(보건분야), 2003.

환경부. 실내공기질공정시험방법, 2004.

ACGIH. Bioaerosols: Assessment and Control, 1999.

ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices, 2004.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers(ASHRAE). ASHRAE 62-2001, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, 2001.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers(ASHRAE). ASHRAE 55-1992, Thermal Environmental Conditions

for Human Occupancy, Atlanta, 1992.

Bardana, E.J., and Jr. A. Montanaro. Indoor Air Pollution and Health, New York, 1997

Health Canada. Indoor Air Quality in Office Building, 1995.

NIOSH. Building air quality, Washington, D.C., 1991.

OSHA. OSHA Technical Manual, 1996.

Spengler, J.D., J.M. Samet, and J.F.McCarthy. Indoor Air Quality Hand Book, New York, 2000.