

SCHOOL



학교 환경위생관리

05 교사(校舍)안에서의 공기질 개념 및 관리방안 2



1. 학교 교사내 실내공기 오염원 및 오염물질의 이해

1) 실내공기 오염원 및 오염물질의 특성

실내공기의 오염원에는 건물 주변의 대기오염에 의한 영향과 실내에서 발생하는 오염물질로 구분할 수 있다. 실내에서 발생하는 오염물질로는 크게 입자상 물질, 가스상 물질, 병원성세균으로 분류할 수 있다. 건물 실내오염원은 재실자로부터 방출되는 이산화탄소, 수증기, 체취 등이 있으며, 담배연기에 의한 오염, 연소기구나 조리기구, 난방장치 등에서 발생하는 연소가스나 수증기 등이 있다. 사람의 활동 자체가 먼지를 비롯한 각종 오염물질을 만들어 내고 카펫이나 커튼에서는 곰팡이, 세균, 진드기 등도 실내오염물질의 발생원이다. 최근에는 건축자재나 가구에서 발생하는 총휘발성유기화합물과 폼알데하이드 등에 많은 관심이 모아지고 있다(김태우 등 2006). 이러한 오염물질은 호흡기와 순환기에 영향을 미치며 특히 휘발성유기화합물의 일부물질은 발암성을 지고 있다.

① 폼알데하이드

폼알데하이드는 자극취가 있는 무색의 기체로 물에 잘 녹고 40% 수용액은 포르말린이라고 명명한다. 폼알데하이드는 일반주택 및 공공건물에서 많이 사용되는 단열재인 건축자재 이외에 실내용가구, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연, 의약품 등에서 발생된다. 학교의 신축, 개축, 보수 등의 공사나 가구, 컴퓨터 등에서 방출되며 자극성 냄새에 인하여 불쾌감, 두통 등을 유발하며 새학교증후군의 원인물질로 알려져 있다. 실외에서는 자동차 배출가스 또는 스모그에 포함된 폼알데하이드를 흡입할 수 있다. 발전소, 제조시설, 소각로 등이 폼알데하이드의 주 발생원이다.

□ 폼알데하이드와 건강

폼알데하이드는 독성정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고 이 중 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 폼알데하이드는 1ppm 이하에서는 눈, 코, 목의 자극증상을 보이고, 동물실험에서는 발암성이 있는 것으로 또한 유전적 변이원성을 나타내고 호흡기성 질환, 알레르기성 질환, 중추신경성 질환, 폐수종 및 폐간질염, 여성의 월경불순을 일으키는 것으로 조사되었다.

② 총휘발성유기화합물

휘발성유기화합물은 물질의 존재 상(Phase)에 따라 휘발성(Volatile), 반휘발성(Semi-Volatile), 비휘발성(Non-Volatile)으로 구분한다. 우리나라 실내공기질 공정시험기준에서는 VOCs를 실내 공기 중에서 끓는점이 (50~100°C)에서 (240~260°C)사이인 유기화합물로, 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds : TVOCs)은 실내 공기 중에서 기체크로마토그래프에 의하여 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 휘발성유기화합물을 대상으로 한다고 정의하고 있다. VOCs는 주로 용제를 사용하는 도장시설, 정유사, 주유소, 세탁소 및 인쇄소 등에서 배출되며, 또한 생활용품(향수, 각종 스프레이제품, 세척제, 공기청정제), 건축자재(페인트, 벽지, 접착제 등), 흡연, 가구, 의류 및 자동차 배출가스 등에서도 배출된다.

□ 휘발성유기화합물과 건강

휘발성유기화합물 중 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)와 같은 방향족 탄화수소와 TCE(트리클로로에틸렌), PCE(테트라클로로에틸렌)를 포함한 할로겐족 탄화수소는 강한 독성을 가지고 있으므로 발암성과 같은 인체영향을 미칠 수 있다.

대부분의 휘발성유기화합물은 마취작용을 갖고 있으며, 이는 신경계의 지방조직에 대한 친화성 때문이다. 한 번에 다량을 흡입하면 마취작용이 나타나지만 마취되지 않을 정도로 장



기간 반속 흡입되면 만성중독을 일으킨다. 벤젠에 장기간 노출되면 만성중독을 일으키며 조혈장기 침범하여 빈혈을 유발하고, 백혈구를 파괴하여 감염에 대한 저항력을 떨어뜨리며 발암작용을 한다.

벤젠(Benzene)은 발암성 물질로 호흡을 통하여 50% 정도가 인체에 흡수되며 적은 양이지만 피부를 통해 침투되기도 한다. 체내로 흡수된 벤젠은 주로 지방조직에 저장된다. 벤젠에 급성중독의 경우 마취증상이 나타나며 호흡곤란, 맥박의 불규칙, 졸음 등을 초래하고 혼수상태에 빠지게 된다. 만성중독의 경우 혈액장애, 간장장애, 빈혈, 백혈병 등을 나타낸다. 백혈구 감소증에 의한 뼈 및 골수조직 위축으로 인해 적혈구, 백혈구, 혈소판의 감소 및 재생불량성 빈혈을 유발할 수 있다.

톨루엔(Toluene)은 주로 흡입에 의하여 체내로 흡수된다. 피부를 자극하며 흡입 후 체내에 남아있는 양은 40~60% 수준으로 지방세포, 부신, 신장, 간, 뇌에 분포한다. 중추신경계의 자극으로 구토 및 신경계통의 이상을 유발할 수 있다.

에틸벤젠(Ethylbenzene)은 호흡을 통하여 인체에 노출되며 담배연기가 주된 오염원으로 알려져 있다. 고농도 흡입 시 폐와 중추신경계에 영향을 미치며, 저농도 장기노출 시 내장기관에 영향을 미칠 수 있다.

자일렌(Xylene)은 고농도로 흡입할 경우 현기증, 졸림, 감각상실, 비틀거림 등이 나타나고 식욕감퇴, 멀미, 구토, 복부통증 및 폐부종 등의 증상을 유발한다.

스타일렌(Styrene)은 단기간 노출된 경우 눈, 코, 피부, 호흡기에 자극을 주며 고농도에서 졸리거나 혼수상태를 유발한다. 장기간 노출될 경우 신경, 신장, 폐, 간에 영향을 준다고 알려져 있다.

③ 라돈

라돈은 무색, 무미, 무취의 기체로 지구상에서 발견되는 자연방사능 물질이다. 즉 우라늄(^{238}U)이 몇 단계의 방사능 붕괴를 거듭하여 생성되는 가스상 물질이며 반감기는 3.8일정도이다. 화학적으로 불활성이며 이동성이 크고 공기보다 9배 무거워서 지표 가까이 존재하고 호흡을 통하여 인간에게 쉽게 흡입될 가능성이 있다. 라돈은 흙, 모래, 진흙, 벽돌, 대리석, 콘크리트, 시멘트 등의 건축자재와 지하수, 동굴, 천연가스 등에 존재하며 공기 중으로 방출된다.

□ 라돈과 건강

라돈은 붕괴로 나핵종을 생성하는데 이는 기체가 아닌 미세한 입자로 흡입 시 폐포나 기관지에 부착된다. 미국 환경청의 발표에 의하면 라돈은 흡연 다음으로 중요한 폐암의 원인물질이다. 라돈의 붕괴생성물인 폴로늄(^{218}Po , ^{214}Po) 등이 먼지에 흡착되어 폐에 흡입된 후 붕괴되면서 알파방사선을 방출하여 폐조직을 손상시킨다. 라돈 및 라돈 부산물은 호흡기계 질환을 발생시키며, 흡입 후 일부 라돈 종족은 침착되어 기관지와 세기관지의 상피세포에 부착된다. 부착되지 않은 것은 대부분 코와 후두 부위에서 여과된다. 특히, 라돈은 호흡기질환 중 폐암을 유발시키는 것으로 나타나 중요성이 새롭게 인식되고 있다(김신도, 2007).

④ 오존

오존은 무색, 무미의 기체로서 냄새를 유발하며 3개의 산소원자로 구성되어 있다. 원래 오존은 자연적으로 생성되며, 그 농도는 대략 10~20ppb 정도인 것으로 알려져 있다. 오존은 반응성이 높고 불안정하여 생성된 지 오래되지 않아 즉시 분해되며, 오존의 강한 산화력은 살균과 악취제거 등에 사용되고 있다. 실내의 오존은 사무실 등에서 사용하는 복사기, 레이



저프린터, FAX 등 높은 전압의 전기를 사용하는 사무용 기구에서 많이 발생하며, 환기의 부족 시 재실자는 고농도의 오존에 폭로되게 된다.

□ 오존과 건강

일반 대기 중 오존의 농도가 0.01~0.02ppm정도 존재하나 그 이상 증가할 경우 눈과 호흡기를 자극하여 눈이 따끔거리고 기침이 날 수 있으며 권태감을 느끼게 한다. 더 높은 농도에서는 폐기능이 저하되어 폐충열이나 폐기종을 유발할 수 있다.

실내의 오존의 농도가 높아지면 눈과 목 등에 따가움을 느끼고 두통, 기침 등의 증세가 나타날 수 있다. 오존에 반복 노출 시에는 폐에 피해를 입을 수 있으며, 가슴의 통증, 기침, 메스꺼움을 느끼고 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고 폐활량을 감소시킬 수 있다.

⑤ 석면

석면은 규산화합물로 사문석과 각섬석으로 분류되는 규산염광물이며 자연적으로 발생하고 화학적으로도 다양하게 사용된다. 석면은 섬유다발이 구불구불한 형태를 띠 사문석 계열의 백석면, 바늘과 같이 날카로운 형태를 지닌 각섬석 계열이 청석면, 갈석면, 직섬석석면, 투각섬석석면, 녹섬석석면 등 6종으로 구분된다. 석면의 성질에는 불연성, 방부성, 단열성, 전기절연성, 방적성, 내마모성, 고인장성, 유연성 등이 있다. 석면의 용도는 매우 다양한데 방화, 보온, 단열, 절연 성능이 뛰어나서 건축자재, 자동차제품, 섬유제품 등에 다량 사용되었다. 주로 건축자재로 이용되는데 조립식 주택자재, 석면 시멘트제, 비닐타일, 아스팔트타일, 석면 플라스틱, 냉난방용 단열재, 내외용 도포재 등이 있다. 석면의 독성은 청석면이 가장 강하고 황석면, 백석면의 순으로 낮은 독성을 보인다. 실내에서는 다양한 형태의 섬유(보온재, 방화용 물질 등)들이 발생한다. 주로 석면 시멘트판, 석면 슬레이트, 바닥용 타일 등의 보강재, 단열재, 흡음재, 건물에 사용되는 방화용 물질, 방화용 피복재, 전기제품의 전열재, 파이프, 덕트의 이음부의 완충재, 기밀재 등으로 사용된다.

□ 석면과 건강

석면은 호흡 및 섭취에 의해 노출되며 직경 $3\mu\text{m}$ 이하의 섬유는 기도를 거쳐 폐에 침착된다. 폐섬유증, 악성중피종의 원인이 되며 세계보건기구에 의하면 폐암을 일으킬 가능성이 있는 유해성이 큰 물질로 알려지고 있다. 석면과 관련된 질병은 석면폐, 폐암, 악성중피종으로 잠복기가 10~40년으로 길기 때문에 위험성을 간과할 우려가 있다. 석면 분진에 노출된 경우 피부질환, 호흡기질환, 석면폐증, 폐암 등을 유발한다. 석면의 크기가 $2\sim5\mu\text{m}$ 일 때 가장 유해하며 기관지에 부착하여 그 부위가 섬유증식화된다. 석면폐는 규폐증과 증상이 유사하며 초기에 체중이 감소한다. 최근에 신축된 학교에서 시설의 개보수시 석면이 사용되지 않도록 하였다. 석면 오염에 대한 대책으로 적절한 환기와 기계환기 장치를 사용하도록 하였으며, 석면이 함유된 것으로 추정되는 건축물 및 시설물을 철거할 때에는 건축법 시행규칙에 의거하여 신고할 의무가 있다.

⑥ 낙하세균

낙하세균은 미생물이 바람이나 학생들의 활동과 관련하여 공기 중에 부유한다. 실내 환경이 고온다습하고 환기가 불충분한 지역에서는 세균이 잘 증식이 된다. 발생원은 주로 사람의 활동 중에 생기며 가정에서 사용되는 냉장고, 공기정화기, 애완동물로부터 발생한다. 또한 건물의 덕트 내에 쌓인 먼지에는 미생물이 다양하게 존재하고 있다. 환기가 불충분하거나 질이 좋지 않은 공기가 재순환하는 경우 미생물 농도가 증가하며 고온다습한 환경에서는



곰팡이와 사상균, 포자 등이 증식한다.

□ 낙하세균과 건강

지구상에는 수없이 많은 미생물이 존재한다. 대부분의 미생물은 병을 일으키지 않는 비병원성으로 자연계의 항상성을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 그러나 일부의 미생물은 인체 내에 침입하여 질병을 일으킨다. 이러한 병원성 미생물에는 세균, 바이러스, 진균, 리케치아, 원생동물 등으로 분류할 수 있다. 이들 미생물은 습기가 많은 실내에서 쉽게 증식하여 실내공기를 오염시키고 호흡을 통해 인체로 침투하여 건강에 영향을 미친다.

⑦ 진드기(알레르겐)

집먼지진드기는 거미과에 속하며 아토피, 기관지 천식, 알레르기성 비염을 일으킨다. 주로 침대 매트리스, 소파, 카펫, 의류, 천으로 된 가구 등에서 살며 크기는 0.1~0.3mm 정도로 사람의 눈으로는 구별하기 어렵다. 성인 한사람이 하루에 1~1.5g 정도의 피부각질이나 비듬을 떨어뜨리는데 이는 집먼지진드기 100만 마리의 1일 식량분이다. 온도 25~28°C, 습도 55~80%에서 가장 왕성하게 번식을 한다. 습도가 높고 기온이 올라가는 여름철에 와성하게 번식하며 온도가 떨어지는 봄철에 번식력이 둔화된다.

□ 진드기와 건강

진드기는 사람을 찌르거나 진드기 유래 단백질이 알레르겐이 되어 천식이나 알레르기성 비염을 일으킴으로써 학생들에게 건강상 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 진드기는 전 세계적으로 아토피성 천식과 비염 등 호흡기 알레르기 증세를 유발하는 가장 주요한 원인으로 알려져 있다. 호흡하는 과정에서 이것들을 마시게 되면 호흡기질환의 원인이 되며 각종 피부염, 천식, 기관지염, 만성 비염, 결막염 등의 질환을 유발한다. 특히 알레르기성 호흡기질환은 일반 감기가 코 막힘, 콧물, 재채기 등의 전형적인 증상을 보이다가 약을 먹고 충분한 휴식을 취하면 증상이 호전되는 것과 달리, 코나 눈의 가려움증까지 동반되면서 약을 먹어도 나아지지 않고 반복되는 증상을 보인다. 진드기는 어린이 천식 환자의 90%이상, 성인 천식 환자의 70~80%, 알레르기성 비염 환자의 50% 가량을 차지하는 알레르기 질환과 아토피성 피부염의 원인이 된다.

2. 학교 교사내 실내공기 오염물질에 대한 유지·관리 기준과 측정방법

1) 실내공기 오염물질에 대한 유지·관리 기준

교육부에서는 학교 실내공기질 관리에 대해 2006년 1월부터 기존 2가지(미세먼지, 이산화탄소)이었던 관리항목을 12가지로 일산화탄소, 이산화질소, 오존, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물, 석면, 라돈, 총부유세균, 낙화세균, 진드기로 늘리고 정기적인 오염도 측정을 의무화 하였다. 제도적으로 법 규정이 혼란 없이 운영될 수 있는 전문 인력이 양성되지 않아 업무의 분담이 원활히 되지 않고 시행과 정착에 대한 개선이 요구되고 있다.



표 1 교사 안에서의 공기의 질에 대한 유지·관리 기준

항목	유지·관리 기준	적용시설
폼알데하이드	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	모든 교실
총휘발성유기화합물	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	신축·증축·개축·개수 학교
라돈	148Bq/ m^3	1층 이하 교실
오존	0.06ppm	행정실, 교무실, 컴퓨터실 등 1개소
석면	0.01개/cc 이하	석면 사용 교실
낙하세균	10CFU/실	보건실, 식당 등
진드기	100마리/ m^3	보건실
진드기 알레르겐	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

2) 실내공기 오염물질에 대한 측정방법

교사 안에서의 공기질 측정 교실 수는 대상 시설의 구조와 용도, 예상되는 오염물질 등의 발생원 분포 및 발생강도, 특성 등을 사전에 충분히 고려하여 다음과 같이 결정한다.

- ☐ 측정항목의 적용시설이 모든 교실인 경우 측정 교실 수는 시설을 대표할 수 있는 일반교실 2개소 이상, 특별교실 1개소 이상으로 하는 것을 원칙으로 하되, 건물의 규모와 용도에 따라 실내 공기질이 명확히 다를 것으로 예상되는 경우에는 측정지점을 별도로 선정하여 추가하여야 하며, 오염물질의 발생 원인에 따라 적용시설을 따로 정한 경우 또는 소규모(대상 시설이 총 10실 이하인 경우 등) 학교의 경우에는 측정 교실 수를 1개소 이상으로 한다.(측정지점은 가급적 매년 다른 지점을 선정하여 중복되지 않도록 고려)
- ☐ 공기질 측정 장소는 원칙적으로 측정자가 해당 시설 방문 후 직접 선정(학교 관계자는 측정의 편의성을 위한 장소 등 안내 협조)
- ☐ 공기질 점검 대상 교실 등이 '부적합' 판정으로 원인 파악 등을 위한 재측정이 필요한 경우 해당 교실뿐만 아니라 전체 교사를 대상으로 무작위 표본 선정 후 재측정 실시-1차 측정 교실 포함)
- ☐ 한 장소에서 시료를 채취하거나 측정을 할 때에는 측정시간이 1시간 미만인 경우에는 2회 이상 실시하여야 한다.

① 폼알데하이드

현장 직독식 측정(단, 필요시 주시험방법인 2,4-DNPH 유도체화 HPLC 분석법으로 측정)한다. 2,4-DNPH 유도체화 HPLC 분석법은 폼알데하이드를 2,4-DNPH로 코팅된 카트리지를 이용하여 공기로부터 채취하고 자외선 흡수법에 의한 고성능 액체 크로마토그래프에 의해 분석하여 실내 공기 및 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드의 농도를 측정하는 방법이다.

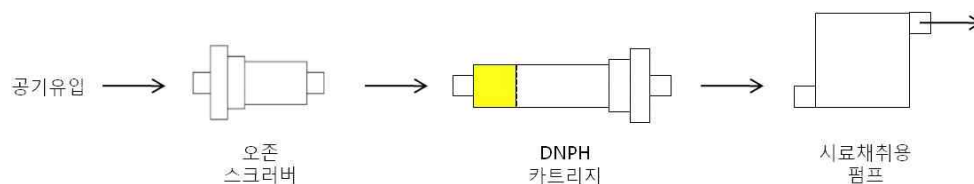


그림 2 DNPH 카트리지와 오존 스크러버를 이용한 시료채취장치

② 총휘발성유기화합물

실내 공기 중의 휘발성유기화합물 농도는 고체흡착관과 GC-MS/FID법으로 측정한다. 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs)을 고체 흡착관을 이용하여 시료를 채취하고 열탈착 전처리한 후 기체크로마토그래프-MS/FID로 분석하여 휘발성유기화합물(VOCs) 농도를 측정하는 방법이다.

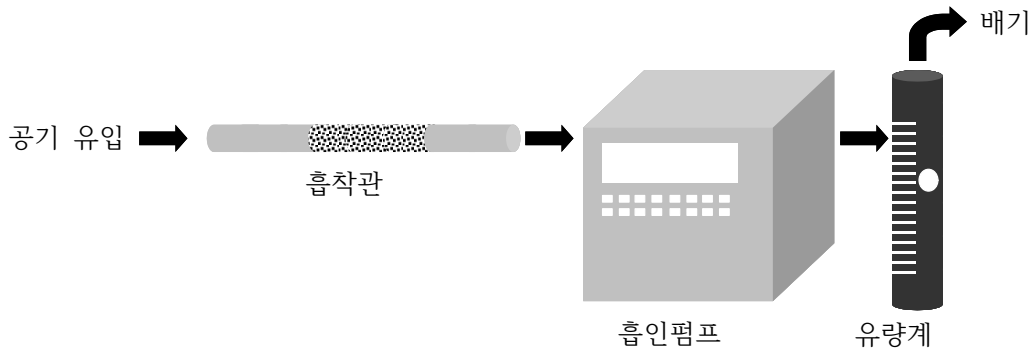


그림 3 고체흡착관을 이용한 시료 채취 장치

③ 라돈

1차는 장기측정방법인 수동모니터링법으로 측정하며, 시설 개선 등의 목적으로 추가 측정이 필요한 경우 연속측정방법으로 추가 실시한다. 수동모니터링법은 실내 공기 중 라돈 및 라돈붕괴생성물이 방출하는 알파입자가 고체형태의 검출소자(필름)에 입사될 때 생성된 손상을 충분한 기간 동안 축적한 후 화학적 처리를 통하여 손상의 흔적을 계수하여 공기 중 라돈의 평균방사능농도(이하 평균농도)를 측정하는 방법이다.



그림 4 라돈 측정방법

④ 오존

현장측정이 가능한 측정기기로 측정하며, 기준치를 초과하거나 정확한 측정값이 필요한 경우 주시험방법인 자외선광도법(자동연속)으로 재측정한다. 자외선 광도법은 특정 파장의 자외선을 흡수하는 오존의 특성을 이용하여 실내 공기 중 오존 농도를 연속 자동 측정하는 방법이다.



<오존 현장 측정법>

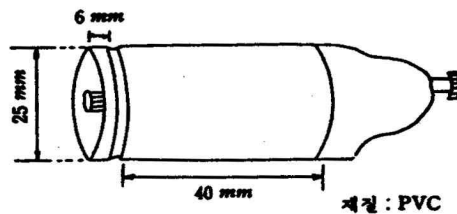


<자외선 광도법(주시험법)>

그림 5 오존 측정방법

⑤ 석면

「석면안전관리법」제22조에 따른 석면건축물에 대하여 교사 내 부유하는 미세먼지 중의 석면섬유를 멤브레인필터로 포집하여 위상차현미경으로 측정하고 기준치 초과 시 전자현미경으로 재측정 한다. 위상차현미경법은 실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지를 여과지에 채취하여 투명하게 전처리한 후 위상차현미경으로 계수하여 공기 중 석면 및 섬유상 먼지의 수 농도를 측정한다. 투과전자현미경법은 먼 및 섬유상 먼지를 채취한 여과지를 투명화 과정을 거쳐 탄소코팅 및 회화 전처리 후, 투과전자현미경으로 석면 및 섬유상 먼지를 관찰하고 에너지 분산 엑스선 분석기(EDXA, energy-dispersive X-ray analysis) 및 전자회절(ED, electron diffraction)패턴을 이용하여 비석면 섬유와 석면섬유를 구분하여 공기 중 석면 섬유 농도를 측정한다.



open face 형 필터홀더(직경 25mm 멤브레인 필터의 경우)

그림 6 멤브레인 필터

⑥ 낙하세균

보건실과 식당 각 3곳 이상에 대하여 표준한천배지를 이용해 5분간 노출한 후 35°C±1°C에서 48시간 배양하여 콜로니수를 측정한다.



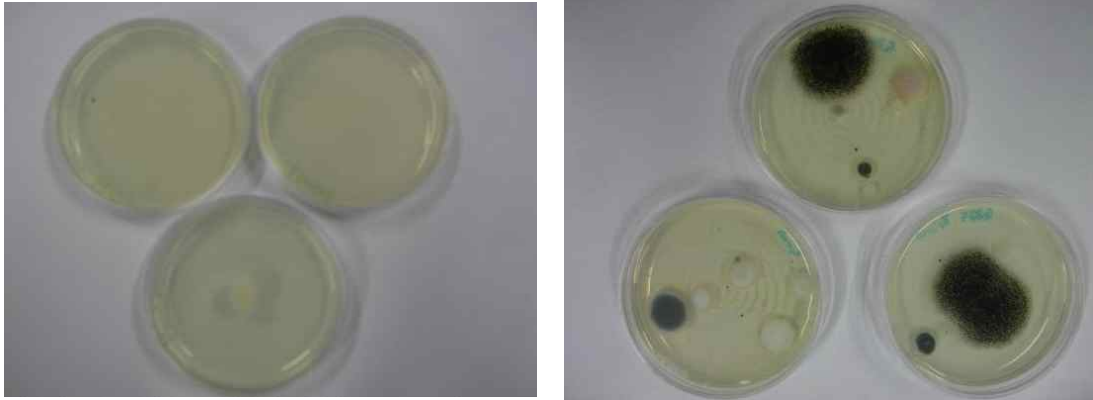


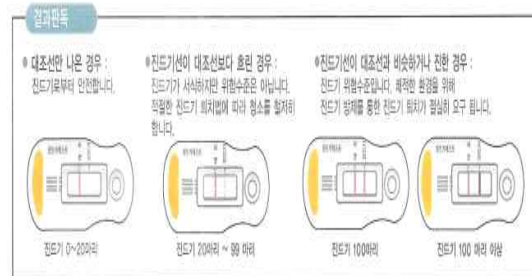
그림 7 낙하세균 측정(한천배지)

⑦ 진드기

현미경계수법, 효소면역측정법(ELISA법), 간이측정법(진드기검사용 키트) 등의 검사방법으로 측정한다. 채집 장소는 보건실에서 학생들이 주로 사용하는 침구류를 측정한다.



<간이측정법-검사용 키트>



<진드기 키트 결과 판독>

그림 8 진드기 측정법

3) 실내공기 오염물질에 대한 측정절차

① 폼알데하이드

- ☐ 측정지점은 주변시설 등에 의한 영향과 부착물 등으로 인한 측정 장애가 없고, 교실 내에서 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 교실을 선정한다.
- ☐ 선정된 교실내의 창과 문을 열어서 교실의 농도를 외기농도와 동일한 정도로 하기 위해서 30분간이상 환기를 한 후에 개방한 곳을 모두 닫아 밀폐하고 5시간 이상(실내온도 20℃이상)을 유지한 후에 학생이 없는 상태에서 측정한다.
- ☐ 시료채취 위치에는 직접적인 발생원이 없고 대상시설의 내벽 및 천장으로부터 1m 이상 떨어진 곳을 선정한다.
- ☐ 실내에 자연환기구나 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기시설로부터 최소 1m 이상 떨어져서 측정하도록 한다.
- ☐ 학생들은 주로 앉아서 학습하므로 호흡하는 높이인 바닥면으로부터 1.2~1.5m 범위내에서 수행한다.
- ☐ 현장직독식으로 측정할 때 기기의 작동은 사용하는 기기의 사용설명서에 따르며, 일정주기별 측정치를 평균값을 산출한다.



☐ 현장직독식측정기로 값을 확인하며 기준을 초과하거나 정확한 측정값이 필요한 경우에는 주시험방법인 2,4-DNPH 유도체화 HPLC 분석법으로 측정한다.

② 휘발성유기화합물

☐ 측정지점은 주변시설 등에 의한 영향과 부착물 등으로 인한 측정 장애가 없고, 교사 내에서 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 교실을 선정한다.

☐ 측정

☐ 실내의 창과 문을 열어서 교실의 농도를 외기농도와 동일한 정도로 하기 위해서 30분 이상 환기를 유지한 후에 개방한 곳을 모두 닫아 밀폐하고, 5시간 이상(실내 온도 20℃이상)을 유지한 후에 학생이 없는 상태에서 측정한다.

☐ 시료채취 위치에는 직접적인 발생원이 없고 대상 시설의 내벽 및 천장으로부터 1m 이상 떨어진 곳을 선정한다.

☐ 실내에 자연환기구나 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기 시설로부터 최소 1m 이상 떨어져서 측정하도록 한다.

☐ 학생들은 주로 앉아서 학습을 하므로 호흡하는 높이인 바닥 면으로부터 1.2~1.5m 범위내에서 수행한다.

☐ 측정은 주시험방법인 고체흡착관과 GC-MS/FID 분석방법으로 측정한다.

※ 고체흡착관과 GC-MS/FID 측정원리 : 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs)을 고체흡착관을 이용하여 시료를 채취하고 열탈착 전처리한 후 GC-MS/FID로 분석하여 휘발성유기화합물(VOCs) 농도를 측정하는 방법

③ 라돈

☐ 대상교실 설정

☐ 학교 교실 중 지하교실을 원칙으로 측정 하나, 지하교실이 없는 경우 1층 교실을 측정한다.

☐ 측정

☐ 1차 장기측정방법인 수동모니터링법은 선정된 교실 중 라돈의 농도를 대표하는 지점에 시료채취기(알파비적검출법 등)를 설치하여 연 1회 90일 이상 측정한다.(4월~6월, 9월~11월 중 선정)측정한다.

☐ 2차 측정은 1차 측정결과가 600Bq/m³ 이상인 경우 등 적극적인 사후조치 필요성을 검토하기 위한 목적으로 시간대별 측정이 가능한 연속측정방법(3일~5일)으로 측정하여야 하며, 이 경우 유효선량을 추가로 평가한다.

※ 1차 측정결과가 148~600Bq/m³인 경우에도 시간대별 발생농도 파악을 위하여 연속측정방법으로 2차 측정(2일)할 수 있음.

☐ 2차 측정결과 연간유효선량이 6mSv/y 이상이면 건물구조 및 유입원 특성에 따른 시설개선 등 적극적인 저감조치를 실시한다.

☐ 1차 측정을 시간대별 측정이 가능한 연속측정방법(3일~5일)으로 측정한 경우 2차 측정은 실시하지 않을 수 있다.

④ 오존

☐ 실내에서 발생하는 것은 컴퓨터실, 실습실 또는 교무실, 행정실 등의 사무기기 즉 복사기, 레이저프린터 등에서 발생하므로 오존발생원이 있는 곳에서 오존의 농도를 측정하여야 한다.

※ 교사내의 오존은 외기에서 발생하여 실내로 유입 될 수 있기 때문에 외기 오존 현황(경보 발령



현황 등) 등 고려

- ☐ 실내에 자연환기구나 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기시설로부터 최소 1m 이상 떨어진 곳에서 측정하도록 한다.
- ☐ 현장직독식 측정기로 값을 확인하여 기준치를 초과하거나 정확한 측정값이 필요한 경우에는 주 시험방법인 자외선광도법으로 재측정한다.

⑤ 석면

석면의 측정은 고도의 전문성이 요구되므로 석면측정 전문기관에서 실시함을 원칙으로 한다. 다만, 환경위생관리자도 시료채취가 가능함을 감안하여 시료를 채취한 후 석면의 분석을 전문기관에 의뢰 할 수 있다.

- ☐ 석면건축물 위해성평가 등급(또는 점수)이 높은 교실 등을 선정한다.
- ☐ 측정지점은 지상 1.5m 정도의 위치로 하고 멤브레인필터를 장착한 후 사용 기기의 사용설명서에 의하여 작동을 시작한다.
- ☐ 10L/min 정도의 흡인유량으로 2시간 채취한다.
- ☐ 시료채취가 끝나면 여과지를 분리하여 별도의 밀폐용기에 넣어 전문기관에 분석을 의뢰한다.

⑥ 낙하세균

- ☐ 보건실 및 식당은 다른 시설에 비하여 더욱 위생적으로 관리 되어야 하므로 여건이 되는 경우 보다 자주 검사를 실시한다.

※ 총 부유세균을 측정하는 것이 원칙이나, 부득이한 경우 낙하세균을 측정할 수 있다.

- ☐ 세균이 발생·번식할 우려가 높은 보건실과 식당의 적정 장소를 선정한다.
- ☐ 측정장소 실내 3곳 이상에 표준한천배지를 5분간 노출시킨 후 35°C±1°C에서 48시간 배양하여 콜로니수를 측정한다.
- ☐ 평균집락수를 구하여 측정대상 실내공간의 낙하세균수로 한다.
- ☐ 배양기가 없는 경우 관할 보건소와 협의하여 배양 등의 검사를 의뢰할 수 있다.

⑦ 진드기

- ☐ 보건실의 침구, 실내에 쌓인 먼지 등 진드기의 발생이 용이한 장소를 선정한다.
- ☐ 진공청소기로 1×1m² 크기에서 1분 동안 먼지를 채집한다.
- ☐ 채집된 먼지에서 포집된 진드기를 포화식염수나 용제를 이용해 진드기를 분리하여 현미경으로 계수하거나 알레르겐을 추출해 효소 면역 측정법으로 알레르겐양을 측정한다.
- ☐ 간이측정법은 크로마토 전개를 응용한 방법으로 진드기 알레르겐량을 평가하는 방법이다. 1m²내의 진드기 마리수가 100마리 이하가 되면 천식 발작이 약해진다는 보고를 근거로 하여 그에 해당하는 알레르겐량을 측정한다.

※ 간이 측정법에서 집먼지 진드기 유래 단백질인 Der2(Dermatophagoides farinae와 Dermatophagoides pteronyssinus)량 10μg이 진드기 100마리에 상당하는 것을 기초로 하고 있으므로 진드기 알레르겐량(Der2량)10μg이 넘으면 진드기 100마리/m²을 상회하는 것으로 보아 기준치를 초과한 것으로 판정한다.



3. 쾌적한 실내환경을 유지하기 위한 관리방안

쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해서는 실내의 복잡하고 다양한 환경들을 제어해야만 건강하고 쾌적한 실내공기질을 유지할 수 있습니다. 가장 이상적인 교사내 실내환경은 실내에 생활하는 학생들이 최대한 쾌적한 기분을 느낄 수 있는 상태입니다. 오염된 실내공기를 쾌적한 실내공기로 만들기 위해서는 오염물질이 발생하는 오염원을 제거하거나, 오염물질의 방출이 높은 제품을 낮은 물질로 대체, 또는 환기를 통하여 외부 공기 양을 증가시켜 오염물질의 농도를 낮추는 등의 방법들이 있습니다. 그러나 오염원에 따른 실내공기오염 제어방법은 모두 다르기 때문에 각 환경에 맞는 오염물질 저감 방법을 사용해야 할 것입니다(환경부, 2012). 쾌적한 교실환경 관리방안은 철저한 환기, 정기적인 청소 및 소독, 친환경 제품 사용하기, 곰팡이 및 결로방지 관리, 식물을 이용한 자연정화, 실내공기정화기기의 관리 등이 있다.

- ☐ 실내공기 오염원을 저감하기 위하여 사후관리보다는 사전예방적 관리가 필요하다.
- ☐ 건강영향과 관련 불확실성이 있더라도 무해성이 입증될 때까지는 모니터링과 위해성 평가 등을 통하여 예방정책을 수립해야 한다.
- ☐ 건축물 설계·시공부터 청정기술을 적용, 오염물질을 적게 방출하는 건축자재 및 교구·용품의 사용 등을 통해 오염원을 저감시켜 사후비용을 절약한다.

① 폼알데하이드 : 실내 폼알데하이드 관리를 위해서는 건물에 적당한 환기시설을 설치하고 오염물질 발생원을 찾아내어 제거하거나 대체하여야 한다.

- ☐ 폼알데하이드의 발생량 자체를 줄이기 위하여 오염물질의 발생을 경감시키는 방법(Source control)과 환기에 의한 희석제어의 방법, 폼알데하이드를 필터나 기계식 환기장치 등으로 정화하여 제거(Removal control)하는 방법, 베이킹아웃(Bake-out)을 사용한다.
- ☐ 실내에서 발생하는 폼알데하이드 저감대책으로는 환기를 자주 시켜야하고 농도가 높을 경우 기계식 환기장치를 설치한다. 신축건물일 경우에는 사용 전 또는 학생이 없는 시간 중에 베이킹아웃(Bake-out) 등의 방법을 이용하여 감소시킬 수 있다.
- ☐ 폼알데하이드는 휘발성유기화합물과는 달리 실내환경에서의 반감기가 2.5~3년 정도 걸린다. 즉 폼알데하이드가 건축자재, 접착제, 벽지 접착제 등에서 지속적으로 방출되므로 신축 1년이 초과되더라도 지속적으로 폼알데하이드에 대한 관리를 하여야 한다.
- ☐ 오염물질이 많이 방출되는 건축자재 및 가구 등은 사용을 금지하고 가급적 친환경 소재 제품으로 사용한다.

※ “책상·의자·상판 등 학교의 비품은 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준에 적합하다는 인증을 받은 제품을 사용

※ 베이킹아웃(Bake-out) 방법은 건축물의 신축이나 개·보수작업이 끝난 건물에 대해 실내공기의 온도를 높여건축자재나 마감재료에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs)와 폼알데하이드(HCHO)를 비롯한 유해오염물질의 방출량을 일시적으로 증가시켜 환기를 함으로서 이를 제거하는 방법이다. 통상 난방 온도를 30~40℃에서 6시간이상 유지한 후 환기를 시켜 오염물질을 제거하는 방법으로 실시한다.

② 휘발성유기화합물

- ☐ 휘발성유기화합물의 오염방지 대책으로는 가장 일반적이면서 실용적인 것은 환기와 베이킹 아웃(Bake-out)이다. 환기설비가 없는 경우에는 창문을 자주 개폐하여 실내

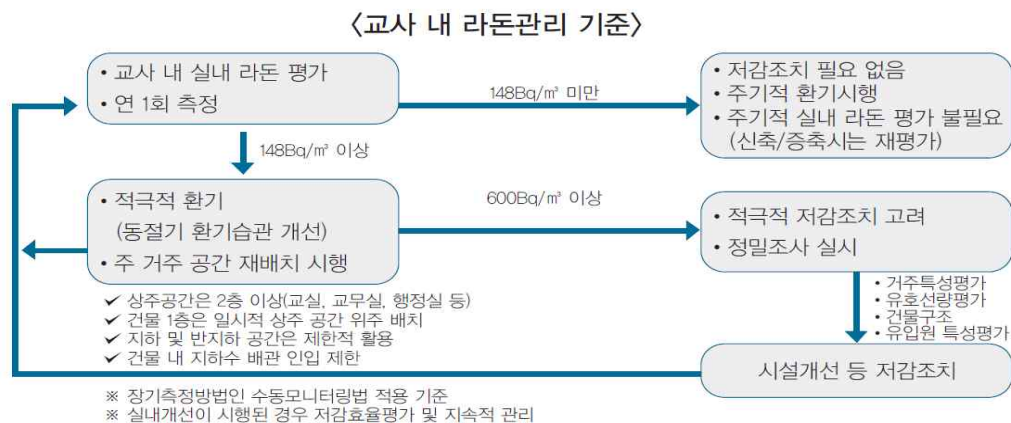


공기를 외부공기와 교체한다.

- 오염물질의 발생원을 무해화 시키는 방법으로 건축자재 등에 포함된 휘발성유기화합물 등의 화학물질은 실내의 온도가 높을수록 발생이 많아지는 성질을 이용하여 신축시 베이카아웃(Bake-out)등을 실시한다.
- 건축가구나 사무용품은 가급적 환기가 잘되는 여름에 주로 교체 한다.
- 오염물질이 많이 방출되는 건축자재 및 가구 등은 사용을 금지하고 친환경 소재 제품으로 사용한다.
- 총휘발성유기화합물의 측정은 건축한 때로부터 3년이 경과되지 아니한 학교에 한하여 적용하되, 측정결과 등을 고려하여 3년이 경과되더라도 추가 측정 여부를 검토한다.

③ 라돈

- 건축자재 중 비교적 동이나 흙을 원료로 한 석면, 콘크리트, 토벽, 석재 등과 같은 건축자재의 사용을 피한다.
 - 환기설비의 정상가동과 유지관리를 통해서 기류를 증가시켜 라돈을 감소 시킨다.
 - 하루 일과 전 창문 환기를 통하여 밤사이 축적된 라돈농도를 감소시킨다.
- ※ 학교는 일반 가옥과는 달리 생활하는 시간대의 특성을 고려하여 관리할 필요가 있음(교사내 라돈의 경우 하교 또는 퇴근시간 이후 야간대의 농도가 상대적으로 높음)



④ 오존

- 학교 교사내의 오존이 외기에서 발생하여 실내로 유입되는 경우에는 창문을 닫는 등의 조치를 취한다.
- 실내에서 발생하는 것은 교무실 또는 행정실의 사무기기, 복사기, 레이저프린터 등에서 발생하므로 오존의 발생원이 있는 곳을 파악하여 환기 등을 실시한다.

⑤ 석면

- 「석면안전관리법」등 관련법령에 의한 적절한 석면관리대책 수립한다.
- 석면 비산우려에 따른 개·보수 등 안전 대비책을 강구한다.
- 교직원, 학생, 학부모 등에게 교내 석면에 대한 정확한 정보제공 및 적절한 석면피해 예방 교육을 실시한다.
- 석면 건축자재가 파손된 것을 발견한 경우, 학생 등이 접근하지 않도록 해당 구역을 격리하는 것이 중요하며, 즉시 관련 법령에 따라 처리한다.



⑥ 낙하세균

- ☐ 낙하세균수가 10콜로니를 초과한 경우는 그 원인을 규명해 적절한 조치를 강구한다.
- ☐ 보건실, 식당 내 온·습도를 기준에 적합하도록 유지하고, 세균이 번식되지 않도록 쾌적한 실내 환경이 되도록 유지·관리한다.
- ☐ 학교 식당 및 보건실 등은 세균이 쉽게 번식할 수 있는 곳이므로 식당의 바닥 등의 청결을 유지하여야 하며, 해충구제에 필요한 조치를 강구하고, 보건실의 침구류는 수시로 세탁 및 소독을 실시한다.

⑦ 진드기

- ☐ 청소 등의 방법을 개선한다.(진공청소기 사용 등)
- ☐ 보건실의 각종 침구류(이불커버나 시트) 등은 주 1회 정도 세탁 및 소독을 한다.



●참고 문헌

- 양원호(2014), 학생들의 시간활동 양상 및 학교 실내공기질, 한국교육시설학회, 21(6), pp. 17-22
- 정지원, 이희관(2016), 초등학교 교실에서 적용한 환경주의력 평가기법 개발에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 32(6), pp. 624-632
- 장한성, 이태호, 정순형, 김지훈(2013), 학교 교실의 실내공기질에 대한 환경성 평가 및 관리방안, 한국생활환경학회지, 20(4), pp. 527-532
- 임완철(2015), 교실내 공기 중 이산화탄소 농도가 학습에 미치는 효과에 대한 문헌 연구, 환경교육, 28(2), pp. 134-145
- 최윤정, 나선희, 조수연(2009), 겨울철 학교교실의 실내열·공기환경 실태와 학생들의 주관적 반응, 한국생활환경학회지, 18(2), pp. 509-522
- 여특현(2015), 전남지역 일부 고등학교 실내공기질이 학생 집중도에 미치는 영향, 국립목포대학교
- 정윤희(2010), 학교 실내공기질의 실태 및 관리 방안, 한양대학교
- 환경부(2012), 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼
- 환경부(2011), 도서관 등 실내공기질 진단·개선 서비스
- 한국환경보건학회(2016), 환경보건학, 에피스테메
- 강공언, 김신도, 이정신, 최경순(2012), 실내공기질 관리학, 문운당

