

실내환경 중 포름알데히드 및 VOCs의 분석

1. 서론

생활주거 공간과 관련된 빌딩증후군(sick building syndrome, SBS)이나, 최근 복합화학민감증 등이 환경, 경제적 측면에서 사회문제로 대두되어, 1980년 후반부터 국제적인 관심이 고조되고 있다. 실내공간은 일반 가정이나 사무실뿐만 아니라 실내작업장, 공공건물, 병원, 지하시설물, 상가, 자동차등을 통칭한다. 일반적으로 실내거주자들은 실내공기 오염을 감지하는 것보다는 쾌적성 감지가 더 쉽다. 하지만, 실내공기오염의 중요성은 인간이 실내에서 생활하는 시간이 하루 중 80% 이상을 차지하고 있으며, 실내공기질은 실외와는 달리 실내의 오염원과 실외오염물질의 유입에 의해 오염될 경우 쉽게 정화되지 않아 쾌적한 실내환경의 저해요인이 될 뿐만 아니라 건강까지도 위협하게 되기 때문이다.

빌딩증후군(sick building syndrome, SBS) 문제는 건물 내 거주자들의 일시적 또는 만성적인 건강 위해증상을 호소하면서 비롯되었다. 이러한 빌딩증후군의 증상은 눈 및 인후자극, 피로, 두통, 피부발진, 현기증, 무기력, 불쾌감 등 매우 다양하게 나타난다. 대표적인 실내공기 오염원인물질로는 사람들의 여러 가지 실내활동, 실내건축에 사용되는 마감재료, 생활용품 등에서 방출되는 것으로 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 아황산가스(SO₂), 오존(O₃), 미세먼지(PM10), 중금속, 석면, 휘발성유기물질(VOCs), 포름알데히드(HCHO), 미생물성 물질, 라돈(Rn) 등이 있으며 이상의 물질들이 복합적으로 작용하여 주로 호흡기 질환 및 폐질환, 알레르기성 질환, 구토, 초조감, 현기증을 유발하고 장기간 고농도의 오염물질에 노출되면 폐암을 유발하기도 한다. 또, 작업능률을 저하시키고 기억력을 감퇴시키는 등 정신적 피로를 야기한다. 이 같은 증상은 실내의 온도, 습도, 환기, 조명, 소음 등의 물리적 요인과 환경 중 담배연기, 건축자재나 사무실 용품들로부터 방출되는 포름알데히드, 휘발성오염물질, 곰팡이 등이 요인으로 작용하며 작업만족도, 작업장의 분위기와 개

인적인 요소도 관련되어 있다. 따라서 직장의 근무환경을 인공적인 조절환경을 최대한도로 자연환경에 가깝게 조절하는데 힘써야 하며 특히 환기가 잘되게 하여 맑고 신선한 공기와 적당한 실내온도가 유지되도록 하여야 한다. 실내공기의 질의 중요성은 빌딩증후군같은 비교적 증상이 가벼운 질환에 국한되지 않는다. 빌딩증후군 외에 심한 외부적 증상을 특징으로 하는 빌딩관련 질병에는 과민성 반응, 폐렴, 천식 등이 있다. 이런 질병들은 주로 습도 및 온도조절과 관련되어 나타난다. 이러한 질환은 예방이 가능한 질환으로 조금만 관심을 가지고 노력하는 생활의 지혜만 있다면 곧 실천이 가능하다. 따라서 쾌적한 실내환경은 건축물의 구조, 건물 내의 생활환경, 환기시설 등에 의하여 좌우되는데 환기시설의 설치는 실내공기 중의 오염물질의 축적을 방지하고 쾌적성을 유지할 수 있는 가장 효율적인 방법이다.

2. 실내오염물질 발생원 및 인체의 영향

현대인이 하루의 대부분을 외부와 차단된 실내공간 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 실내오염물질에 의한 피해정도는 실외에 비해 10배 이상이라고 볼 수 있다. 실내오염의 발생원으로는 연소과정, 실내에서의 흡연, 오염된 외부공기의 실내 유입 등이 있으며, 최근에는 신축아파트의 경우 건축물의 밀폐화와 단열화를 위해 사용되는 내장재와 바닥의 소음 저감을 위해 사용하는 카펫 등의 건축자재로부터 수많은 유해화학물질이 발생되고 있다. 또한 건축물의 유지와 관리 등 일련의 과정에서 사용되는 방향제, 목재 보존제, 왁스 등도 실내오염의 중요한 발생원이다. 이러한 실내오염물질은 사람들의 호흡기와 순환기에 영향을 미치며, 특히 휘발성유기화합물 중의 벤젠, 1,3-부타디엔 등의 일부 물질은 발암성을 내포하고 있다. 고농도의 휘발성유기화합물(VOCs)에 의한 영향으로 중추신경을 억제하여 마취작용을 일으키는 급성장해, 말초신경계 및 만성적인 신경행동학적 질병을 일으키는 만성장해로 구분할 수 있다. 급성장해의 증상으로는 지각력 상실, 도취감, 현기증 및 혼돈 등이 발생하며, 노출농도가 심해지면 의식의 상실과 마비, 경련 그리고 사망에 이르게 된다. 그밖에 눈, 피부, 호흡기 점막의 자극 증상을 나타내기도 한다. 만성장해 증상으로는 감각이상, 시각 및 청각장해, 기억력 감퇴, 작업능률 저하, 수면 장애 등의 정서장애

및 운동장애가 발생한다. 표 1은 실내에서 발생하는 주요 오염물질의 발생원 및 인체의 영향을 정리하였다.

1997년 WHO와 EU가 Expert Task Force회의에서 작성한 Guideline for Air Quality에 주요 오염물질과 발생원을 정하였으며, 발생원은 실외, 실내·실외, 실내 3분류로 구분하였다. 표 2는 WHO와 EU가 정한 주요 오염물질과 발생원을 나타내었다.

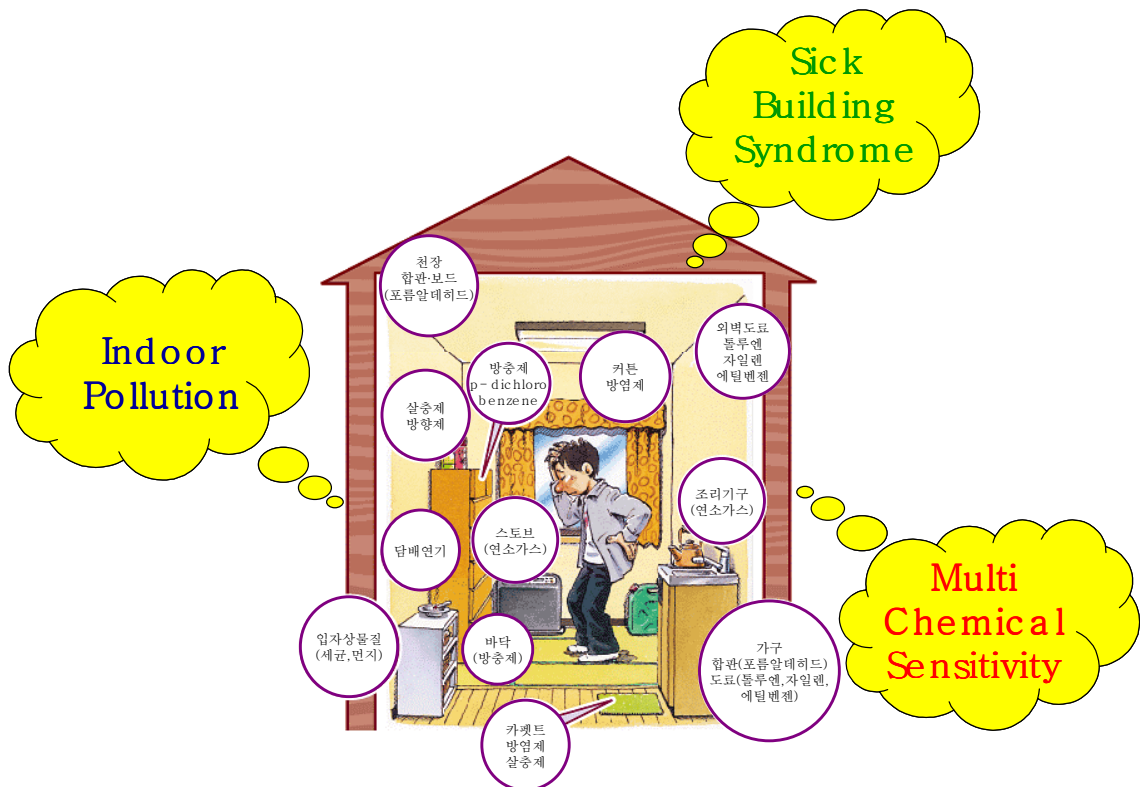


표 1. 실내오염물질의 발생원 및 인체영향

오염물질	주요 발생원	인체영향
먼지, 중금속	실내바닥의 먼지, 생활활동 등	규폐증, 진폐증, 탄폐증, 석면폐증 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 석면브레이크, 방열재 등	피부 및 호흡기질환, 폐암 등
HC, PAHs 등	담배 등	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 폐암 등
연소가스 CO, NO ₂ , SO ₂	각종 난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성 폐질환, 중추신경 영향 등
라돈	흙, 바위, 지하수, 화강암, 콘크리트 등	폐암 등
포름알데히드	합판보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 옷감 등	눈, 코, 목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 기억력 저하 등
휘발성유기화합물	페인트, 접착제, 스프레이, 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등	피로감, 정신착란, 두통, 구토, 현기증, 중추신경 억제 등
오존	복사기기, 생활용품 등	기침, 두통, 천식, 알레르기성 질환
악취	외부 악취물질 실내유입, 음식물 부패 등	식욕감퇴, 구토, 불면, 정신신경증 등

표 2. 주요 오염물질과 발생원(WHO, EU)

구분	주요 오염물질	발생원
실외	SO ₂ , SPM/RSP	연료의 연소, 용광로
	O ₃	광화학 반응
	Pb, Mn	자동차
	Pb, Cd	공업배출
	화분(꽃가루)	나무, 풀, 잡초, 식물
	VOCs, PAH	석유화학제품, 불완전연소의 연료에서의 증발작용
실내·실외	NO _x , CO	연료의 연소
	CO ₂	연료의 연소, 대사작용
	SPM & RSP	담배연기
	수증기	생물적 활동, 연소, 증발
	포자	균류
	VOCs	휘발작용, 연료연소, 도료, 대사작용, 살충제, 방향제
실내	라돈	나무, 건축재료, 물
	포름알데히드	절연재료, 가구, 담배연기
	석면	난연성 물질, 절연재료
	먼지	방향제, 도료, 수은 함유제품
	NH ₃	대사작용
	알레르기	애완용 동물의 털, 진드기
	미생물	전염병
	PAH, As	담배연기

1) 포름알데히드(HCHO)

포름알데히드(HCHO)는 자극성 냄새(냄새역치 : 0.8 ppm)를 갖는 가연성 무색 기체로 인화점이 낮아 폭발의 위험성이 있으며, 살균 방부제로 이용된다. 또한, 화학적으로는 반응성이 매우 센 환원제이며, 많은 물질들과 쉽게 결합하여 쉽게 중합체를 형성하고 피혁제조나 폭약, 요소계, 멜라민계 합성수지를 만드는 공정 등에 사용된다. 포름알데히드는 자연적으로도 발생되는데 대기 중의 탄화수소가 산화되어 생성되는 것으로 죽은 수목이 분해되거나 관엽식물에서 방출되는 화학물질의 변환으로 생성된다.

실내에서 포름알데히드 농도는 온도와 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우된다. 특히, 지하생활환경에서 발생하는 실내공기중의 포름알데히드는 건축자재, 상가, 포목점 등에서 많이 방출되어 효과적인 환기시설의 운영이 요구된다. 또한, 포름알데히드는 실내공기오염의 주요 원인물질로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 우레아수지폼과 실내용구의 칠, 가스난로 등의 연소과정, 접착제, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등에 의해 발생된다.

포름알데히드의 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고, 이중에서 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 포름알데히드는 그 농도가 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이며, 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다.

2) 휘발성유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물(VOCs)은 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되고, 물질에 따라 인체에 발암성을 보이고 있으며, 대기 중에서는 광화학 반응을 일으켜 오존 및 PAN 등 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학 스모그를 유발하는 물질로 많이 알려져 있다. 휘발성유기화합물(VOCs)의 발생은 주유소, 저유시설, 산업체, 매립지, 하수정화시설 등에서의 인위적인 배출과 자연적으로 습지 등 혐기성 조건하에서 박테리아의 분해를 통해서 메탄이 생성되어 배출된

다. 실내에서의 VOCs 발생원으로는 건축자재와 마감재료, 건물의 유지관리용품, 소모성 재료, 연소과정의 물질, 외부공기 등으로 구분할 수 있다.

실내에서 VOCs의 농도가 증가하는 주요 원인을 건축자재와 시공의 측면에서 보았을 때 복합 화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급과 시공과정에서 사용되는 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간의 경과에 따라 방출량이 점차로 감소 연소과정에서의 방출은 실내에서 연소기구를 사용하는 경우나 담배의 흡연도 실내공기오염의 주된 요인이 된다.

VOCs의 인체영향으로 벤젠은 호흡을 통해 약 50%가 인체의 흡수되며, 아주 작은 양이지만 피부를 통해 침투되기도 한다. 체내에 흡수된 벤젠은 주로 지방조직에 분포하게 되며, 급성중독일 경우 마취증상이 강하게 나타나며 호흡곤란, 불규칙한 맥박, 졸립 등을 초래하여 혼수상태에 빠진다. 만성중독일 경우 혈액장애, 간장장애, 재생불량성 빈혈, 백혈병을 일으키기도 한다. 톨루엔 또한 호흡에 의해 주로 흡입되고 피부, 눈, 목안 등을 자극하며 피부와 접촉하면 탈지작용을 일으키기도 한다. 또한 두통, 현기증, 피로 등을 일으키며 고농도에 노출될 경우 마비상태에 빠지고 의식을 상실하며 때로는 사망에 이르기도 한다. 자일렌에 의해서는 성장장애, 태아독성영향, 임신독성 등의 영향을 받는다.

3. 포름알데히드 측정방법

1) 포름알데히드(HCHO)의 측정개요

포름알데히드(HCHO)의 측정은 지하공기질공정시험방법에 명시되어 있는 방법인 2,4-DNPH 유도체화 분석법으로 포름알데히드를 측정한다. 2,4-DNPH 유도체화 분석법은 포름알데히드를 포함하고 있는 시료가스의 일정량을 채취하여 2,4-DNPH 시약으로 유도체화 시킨 후 고성능액체크로마토그래피(HPLC)에 도입하여 자외선 흡광검출기의 흡수파장 360nm에서 검출되는 크로마토그램의 높이나 면적 등으로 포름알데히드 농도를 구하는 방법이다. 이 방법은 대기 중에 존재하는 카르보닐화합물과 2,4-DNPH와의 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 방법으로 시료의 포집 시 알데히드뿐만 아니라 케

톤과도 반응하여 안정한 유도체를 형성하는 특징이 있다. 2,4-DNPH 유도체화 분석법은 EPA TO-11에 잘 명시되어 있다. 포름알데히드 채취 시 오존은 DNPH 유도체가 감소시키거나, DNPH가 오존과 반응하여 인위적인 불순물을 형성하는 등 방해물질로 존재한다. 오존의 방해를 최소화하기 위해서 KI가 채워진 오존스크루버를 DNPH 카트리지의 전단부에 설치한다. 또한, 포름알데히드의 측정에 영향을 주는 것으로는 태양광선과 수분 등이 있다. 태양광선의 방해를 막기 위해서는 DNPH 겔 표면을 알루미늄 호일을 이용하여 감싸 보호한다. 채취가 끝난 시료에 대해서는 추출과 분석 전까지 내부가 은박호일로 코팅되어 있는 시료 보관용기에 개별 포장하여 4℃의 냉장고에 보관한다.

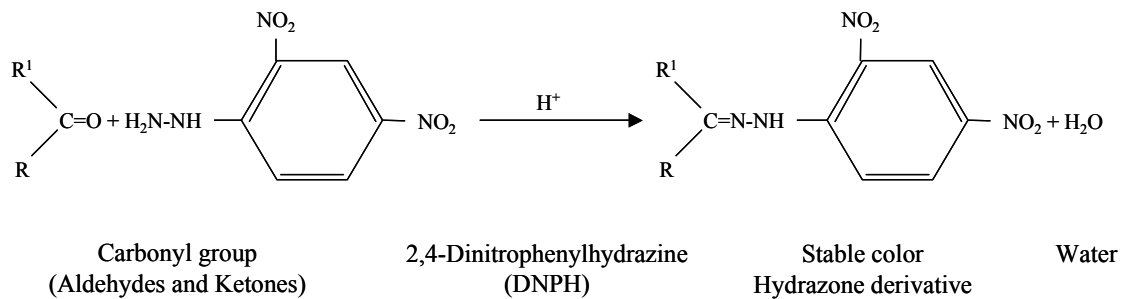


그림 1. Carbonyl 화합물의 DNPH 유도체화 반응.

2) 시료채취

Carbonyl 화합물을 채취에서, DNPH 카트리지를 이용한 방법은 0.1~2.0L/min의 유량에서 최적의 채취효율을 나타내며, 채취시간은 카트리지 등의 효율을 감안하여 목적에 맞게 설정되어야 할 것이다. 또한, 채취 시에 대기 중에 존재하는 오존은 DNPH와 반응하여 Aldehyde 분석 시에 방해물질로 작용하게 되므로, 이를 제거하기 위해서 KI가 충전되어 있는 Ozone scrubber를 같이 장착하여 채취하여야 한다. 채취 장치의 모식도를 그림 2에 나타내었다.

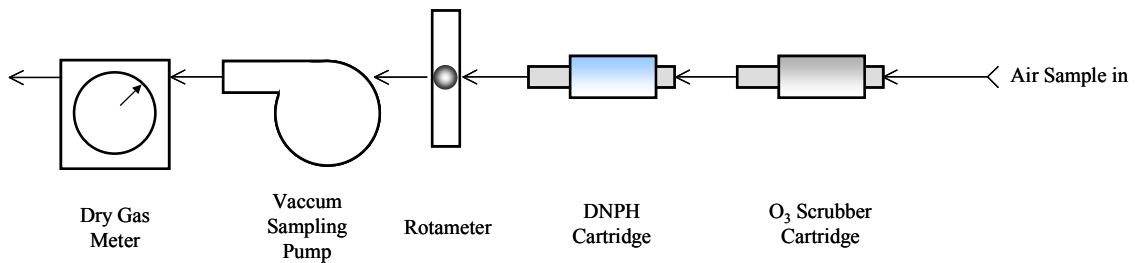


그림 2. Carbonyl 화합물 채취 장치의 모식도

(1) 기 구

① DNPH 카트리지

; 현재 상용화되어 판매하고 있는 카트리지의 바탕값 및 특징을 표 3에 나타내었다.

② Ozone Scrubber

; KI로 충전되어 있으며, 대기 중 상대습도 15% 이상에서 최적 조건을 지닌다.

③ Vaccum Pump.

④ Rotameter.

⑤ Dry gas meter.

⑥ 온도계, 기압계.

표 3. DNPH 카트리지의 특징

구 분	내 용
Adsorbent	2,4-dinitrophenylhydrazine
Particle size	150~250 μm (60/100 mesh)
DNPH loading	0.29%(1 mg/cartridge)
Capacity	약 75 μg formaldehyde
Background	- Formaldehyde : <0.10 $\mu\text{g}/\text{cartridge}$ - Acetaldehyde : <0.10 $\mu\text{g}/\text{cartridge}$ - Acetone : <0.50 $\mu\text{g}/\text{cartridge}$ - Other : <0.10 $\mu\text{g}/\text{cartridge}$
Sampling temperature	10~100 $^{\circ}\text{C}$
Collection efficiency	유속 2.0L/min 이하에서 채취 시 formaldehyde 95% 이상

(2) 채취과정

- ① 앞서 그림 2에 나타낸 바와 같이 각 부분을 연결하여 장치를 준비한다.
- ② 채취유량을 설정한다(환경 시료의 채취의 경우 1.0~2.0L/min이 일반적임).
- ③ 채취 시작과 종료 시의 실내의 온도와 기압을 측정하여, 그 평균값으로 총 채취유량을 보정한다.
- ④ 채취가 종료되면, 카트리지는 밀봉한 후, 빛을 차단하기 위해 호일로 감싸서 분석 전까지 4 $^{\circ}\text{C}$ 로 냉장 보관한다.
- ⑤ 바탕시험용 시료의 채취는 고순도 질소를 이용하여 ①~④의 과정을 동일하게 수행하여 매 분석마다의 바탕 값으로 한다.

※ 채취 시 유의할 점

- ▷ 채취 장소 주변 입자 농도가 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상일 경우, 재현성에 문제를 가

저울 수 있다.

- ▷ 채취된 Carbonyl화합물의 농도가 DNPH카트리지의 용량을 넘지 않게 주의해야 한다.
- ▷ 냉장보관 후 시료추출까지의 기간이 2주를 넘지 않도록 한다.
- ▷ 바탕시험 및 시료의 추출을 위한 장소는 최대한 Carbonyl Free한 공간에서 실시한다.

(3) 시료의 추출

- ① 5mL mass flask를 준비한다.
- ② HPLC grade의 Acetonitrile 5mL를 주사기를 이용하여 카트리지를 통과시켜 Carbonyl 화합물을 추출하며, 이를 HPLC로 분석한다.

3) HPLC 분석

(1) 장치 및 시약

- ① HPLC 시스템 (Model : Shimadzu LC 10A_{VP}) - Gradient 지원.
- ② 증류수 (HPLC grade)
- ③ Tetrahydrofuran (HPLC grade)
- ④ Acetonitrile (HPLC grade)
- ⑤ DNPH로 유도체화된 Carbonyl 화합물 혼합 표준시약(4℃ 냉장보관).
; 희석하여 준비된 혼합표준시약을 HPLC로 분석하여 이를 검량선으로 사용.

(2) HPLC 분석 및 분석예

표 4. HPLC 분석조건

Column	Shim-pack VP-ODS(150 × 4.6mmID)
Mobile phase	A : water / tetrahydrofuran(8/2, v/v) B : acetonitrile
Gradient program	0-→25min B 20-→60% 25-→40min B 20% hold
Flow rate	1.5mL/min
Oven Temp.	40℃
Detection	UV-365nm

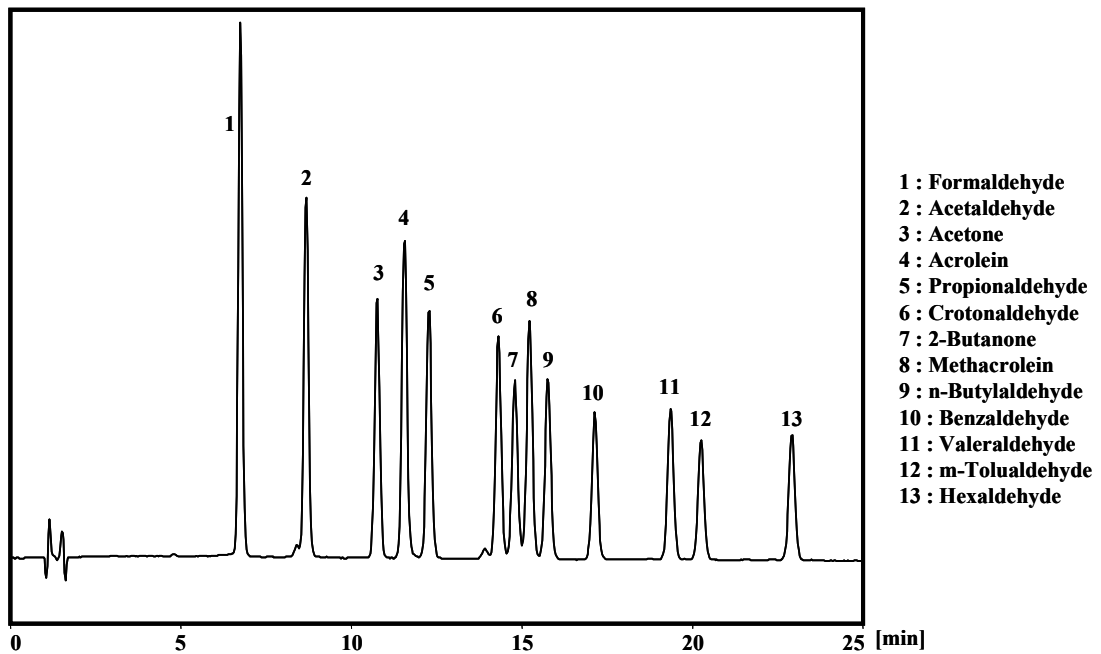


그림 3. DNPH 유도체화된 Aldehyde 표준용액 크로마토그램.

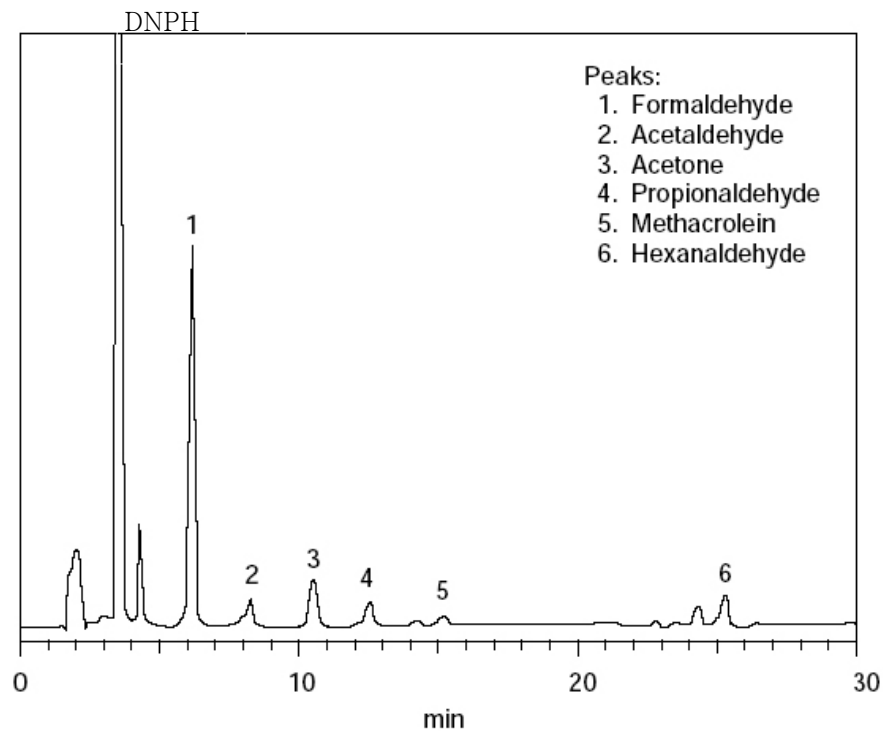


그림 4. 실내 환경에서 채취한 실제 시료의 크로마토그램.

4. US EPA 관련 자료

1. Method for the Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by HPLC, US EPA Method TO-11, 1987.
2. Determination of Formaldehyde and Other Aldehydes in Indoor Air Using a Solid Adsorbent Cartridge, US EPA Method IP-6A, 1989.
3. Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Ozone Precursors, EPA/600-8-91/215, Section 5 "Methodology for Determining Carbonyl Compounds in Ambient Air".
4. Standard Test Method for Determination of Formaldehyde and Other Carbonyl Compounds in Air(Active Sampler Methodology), ASTM D 5197-92.

4. 휘발성유기화합물의 측정방법

1) 휘발성유기화합물(VOCs)의 측정개요

휘발성유기화합물의 측정방법에는 시료의 포집과 동시에 분석을 할 수 있는 On-line방법과 EPA의 TO-14에서 일반 환경 대기 중 휘발성 유기화합물의 측정 및 분석방법으로 사용되고 있는 Canister나 일정한 용기를 이용하는 용기포집법, EPA TO-17에 명시되어 있는 방법으로 흡착튜브를 이용하여 VOCs를 측정하는 고체흡착법과 용매추출법 등으로 구분할 수 있다. 이러한 측정방법들은 각각 몇가지 장·단점이 있으며, 측정하고자 하는 대상물질과 분석대상물질의 성상 등에 따라 측정방법이 결정되기도 한다. 용기포집법에는 주로 Canister가 사용되고 Canister의 내부표면에는 포집 하고자하는 대상물질이 흡착되는 것을 방지하기 위하여 매끄러운 니켈과 크롬 산화물과 같은 불활성물질이 코팅되어 있거나 실리카로 코팅되어있는 스테인레스 스틸 용기를 사용하며, 주로 비극성 물질을 대상으로 측정한다. 이러한 용기포집법은 시료의 파과(Breakthrough)가 야기되지 않고 포집된 시료에 대해서 열탈착 과정이 필요 없지만 시료의 포집 장치에서 시료의 오염문제 발생, 분석범위의 제한 등 단점이 있다. 고체흡착법은 흡착제를 충전한 흡착튜브를 이용하여 흡착제의 표면에 포집하고자하는 물질을 흡착시키고 열탈착시켜 분석하는 방법이다. 대상물질은 VVOCs~SVOCs까지이며, 흡착튜브는 주로 외경이 1/4inch (6mm)인 스텐레스나 유리재질에 고체흡착제가 200mg이상 충전 되어있다. VOCs 측정에 사용되는 흡착제의 세기는 흡착제의 단위표면적(Specific surface area)에 따라 약한 흡착제(<50 m²/g), 중간 흡착제(100~500m²/g), 강한 흡착제(1000m²/g)로 구분한다. 흡착튜브를 이용하여 VOCs 물질을 측정하고자 하는 경우에는 무엇보다도 측정대상물질에 대한 적절한 흡착제의 선택이중요하다. 고체흡착법은 Canister에 비해 대상물질의 범위가 비교적 광범위하고 경제적이며 비극성물질과 극성물질 모두 사용이 가능하다. 그러나 파과(Breakthrough)문제 발생, Artifact형성의 문제, C2이하의 저분자 VOCs의 포집에는 부적합하며, 분석기회의 제한 등 단점을 가지고 있다.

2) 시료채취

흡착제를 충전한 채취관에 대기시료를 흡인하여 채취한다. 흡착제는 측정대상항목의 흡착력과 함께 가열탈착 효율을 고려하여 흡착제를 선정하며 다성분을 동시 채취하는 경우에도 파과용량과 회수율을 고려하여 사용한다.

(1) 기구

① 채취관(Sorbent Tube)

시료채취 시 사용되는 채취관은 내경 3~5mm 정도, 길이 100mm 정도의 유리관이나 스텐레스관으로 양단에 밀폐가 가능한 구조로서 측정대상항목에 맞는 충전제를 채운 것을 사용한다. 최초 사용 또는 사용 후에는 고온에서 제로에어 또는 고순도헬륨 가스로 퍼지하여 세정하여 사용하여야 한다.

② 시료채취장치

채취관을 연결하여 대기를 10~200mL/min의 유량으로 조절하여 흡인할 수 있는 펌프여야 하며, 채취시간의 측정과 온도 및 압력에 대한 채취량 보정 기능이 없으면 별도로 측정한다.

(2) 시료채취 및 보관

① 시료채취관을 채취유로에 맞게 시료채취장치와 연결하여 100mL/min의 유량으로 30분간 흡인하여 채취한다.

② 채취한 채취관은 앞뒤를 밀봉하고 분석 전까지 5℃ 이하로 냉장보관한다.

표 5 흡착제의 종류와 특성

흡착제	채취범위	최대온도(℃)	표면적(m ² /g)	분석물
Carbotrap TM C Carbopack TM C	n-C ₈ ~ n-C ₂₀	> 400	12	-휘발성 범위 n-C ₈ ~ n-C ₁₈ 의 Alkylbenzenes과 Aliphatics 검출
Tenax TM TA	B.P.100 ~ 400℃ n-C ₆ ~ n-C ₂₆	350	35	-방향족 화합물, 무극성물질 (B.P.>100) -휘발성이 약한 극성 성분 물질 (B.P.>150)
Tenax GR	B.P.100 ~ 450℃ n-C ₇ ~ n-C ₂₀	350	35	-알킬벤젠(Alkylbenzenes) -기체상 PAHs & PCBs
Carbotrap Carbopack B Carbograph TD-1	(n-C ₄)n-C ₇ ~ n-C ₁₄	>400	100	-광범위한 VOCs 검출(B.P>75℃ 이상) 의 케톤, 알콜, 알데히드 포함) -명시된 휘발성 범위안의 모든 무극성 화합물 -탄화수소플루오르치환화합물 -추적가스(trace gases)
Chromosorb TM 102	B.P.50 ~ 200℃	250	350	-광범위한 범위의 VOCs(메틸염화보다 휘발성이 덜한 haloforms 및 산화화합물 포함)
Chromosorb 106	B.P.50 ~ 200℃	250	750	-광범위한 범위의 유기화합물 -휘발성산화화합물
Porapak TM Q	B.P.50 ~ 200℃ n-C ₆ ~ n-C ₁₂	180	300	-산화화합물을 포함한 광범위한 범위의 유기화합물
Porapak N	B.P.50 ~ 150℃ n-C ₆ ~ n-C ₈	180	300	-휘발성 니트릴류 검출 (acrylonitrile, acetonitrile, propionitrile) -피리딘 및 EtOH, MEK 등으로부터의 휘발성 알콜류
Spherocarb TM a	-30 ~ 150℃ C ₂ ~ n-C ₈	>400	1200	-VCM, 산화에틸렌, CS ₂ , CH ₂ Cl ₂ 와 같은 휘발성화합물 -MeOH, EtOH, 아세톤과 같은 휘발성극성물질
Carbosieve TM S-III _a				-C ₃ , C ₄ 탄화수소와 같은 극휘발성 화합물
Carboxen TM 1000 _a	-60 ~ 80℃	400	800	-휘발성 haloform류, freon류
Molecular sieve _b	-60 ~ 80℃	350		-1,3-부타디엔과 아산화질소

^a 이러한 종류의 흡착제들은 수분체류현상(water retention)을 보여준다. 만약 시료가 상대 습도 90%보다 높으면, 안전채취량은 팩터 10에 의해 감소되어야 한다.

^b 흡수성이 매우 높다. 특별한 사전주의 없이는 습도가 높은 공간에서는 사용하지 말 것.

3) 시료분석 및 분석예

채취한 시료채취관을 300~350℃로 가열하여 열탈착된 목적성분들을 재농축한 뒤 가스크로마토그래프로 도입하여 분리컬럼에서 혼합성분들을 분리한다. 컬럼에서 분리된 물질들은 질량분석기에 의해 검출되어진다. 검출된 물질의 크로마토그램과 스펙트럼의 정보로 정성과 정량분석이 가능하며, 미지시료의 확인 및 대기 중 휘발성화합물의 농도 측정에 적합하다.

표 6 GC/MS 분석조건

Thermal Desorption	
Desorption temperature	325℃ (relative with sorbent)
Desorption flow	30 mL/min, 15min
Focusing trap	Liq.N ₂ or sorbent
Desorption of focusing trap	40℃/min up to 300℃
Gas Chromatograph	
Injector temperature	300℃
Carrier gas	He, 1.8 mL/min
Column	OV-1 capillary column(0.32mm i.d.×30m l.)
Temperature program	50℃(5 min) - 8℃/min - 200℃ (until all target compounds elute)
Mass Spectrometer	
Interface temperature	250℃
Ion source temperature	200℃
Ionization	Electron Ionization(70 eV)
Mass range	Scan, m/z 35 to m/z 300

※ Reference : EPA compendium method TO-15a, 17

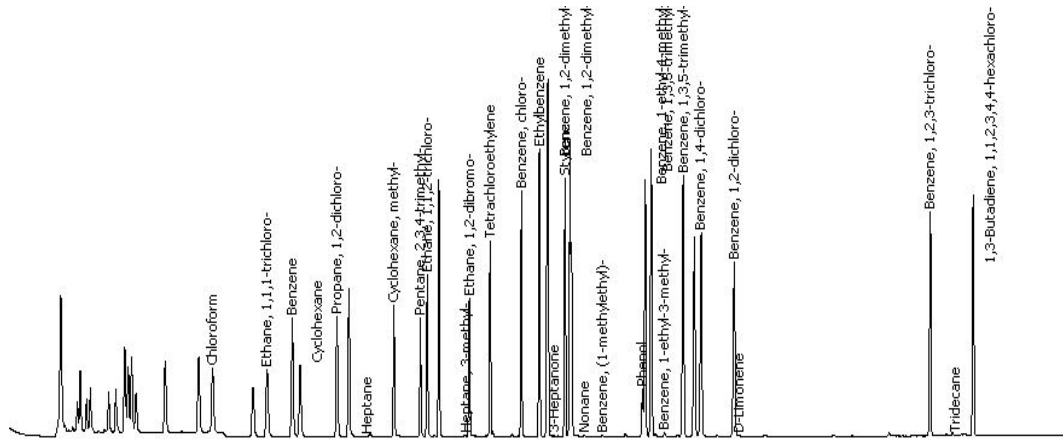


그림 5. TO-14 표준가스의 크로마토그램.

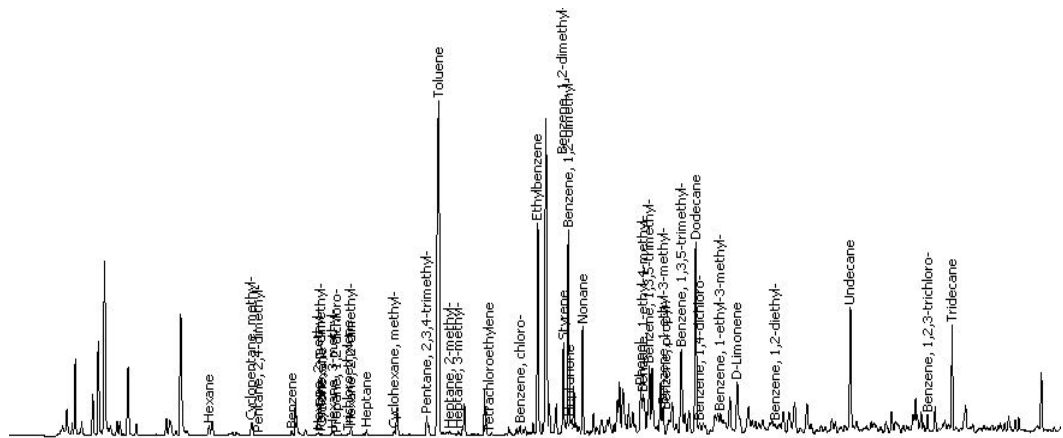


그림 6. 실내 환경에서 채취한 실제 시료의 크로마토그램.

4) Method for VOCs analysis by using thermal desorption

1. Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes, US EPA Method TO-17, 1999.
2. MDHS(Methods for the Determination of Hazardous Substances) 4 Generation of Test Atmospheres of Organic Vapors by the Permeation Tube Method, Health and Safety Laboratory, UK
3. MDHS(Methods for the Determination of Hazardous Substances) 72 Volatile Organic Compounds in Air, Health and Safety Executive, Sheffield, UK
4. TAD(Technical Assistance Document) on the Use of Solid Sorbent-based for Ambient Air Monitoring, USA