

실내 및 건축자재에서 방출되는
휘발성유기화합물 측정방법 - 고체흡착관과

2017

기체크로마토그래프-MS/FID법
(determination of volatile organic compounds in indoor and
emitted from building materials by sorbent tube and gas
chromatograph using MS/FID)

1.0 개요

1.1 목적

1.1.1 이 시험기준은 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 농도 측정 방법을 규정한다.

1.1.2 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs)을 고체 흡착관을 이용하여 시료를 채취하고 열탈착 전처리한 후 기체크로마토그래프-MS/FID로 분석하여 휘발성유기화합물(VOCs) 농도를 측정하는 방법이다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험기준은 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 농도 측정을 위한 주시험방법으로 사용된다.

1.2.2 실내 및 건축자재 중 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 mg/m^3 의 농도 범위에 있는 비극성 및 약간 극성을 띠는 휘발성유기화합물(VOCs)측정에 적합하다.

2.0 용어정의

2.1 휘발성유기화합물(volatile organic compounds)

실내 공기 중에서 끓는점이 (50 ~ 100 °C) 에서 (240 ~ 260 °C) 사이에 있는 유기화합물

2.2 총휘발성유기화합물(total volatile organic compounds, TVOCs)

실내 공기 중에서 기체크로마토그래프에 의하여 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위에
서 검출되는 휘발성유기화합물을 대상으로 하며, 톨루엔으로 환산하여 정량

2.3 반복성(repeatability)

같은 조건(같은 조작자, 같은 장치, 같은 실험실과 짧은 시간 간격 내외)하의 동일한
시험 재료로 같은 방법을 사용하여 얻어진 2 회 이상의 시험 결과

2.4 재현성(reproducibility)

다른 조건(다른 조작자, 다른 장치, 다른 실험실 및 또는 다른 시간)하에서 같은 시험
방법을 적용하여 얻은 같은 시험 재료의 2 회 이상 시험 결과

2.5 분석기기 회수율(recovery)

휘발성유기화합물 채취용 흡착관 전처리 장치인 자동열탈착장치(thermal desorption)
의 효율을 평가

3.0 분석기기 및 기구

3.1 기체 크로마토그래프(GC, gas chromatograph)

이동상으로 기체를 사용하는 크로마토그래프

3.2 질량 분석기(MS, mass spectrometer)

주로 모세관 또는 분리기로 기체(혹은 액체) 크로마토그래프와 결합시켜 사용하며 크로마토그래피로부터 유입된 시료의 분자를 전자 흐름으로 충격하여 이온화하고 각 이온의 세기를 질량/전하수의 순서로 나열한 질량 스펙트럼을 측정하는 장치

3.3 불꽃이온화 검출기(FID, flame ionization detector)

수소 불꽃에 의해 화합물의 골격 탄소를 이온화해서 성분을 검출하는 크로마토그래프용 검출기

3.4 열탈착 장치(TD, thermal Desorbtor)

흡수관의 2단계 열 탈착 및 탈착된 증기를 비활성 가스 흐름을 통해 기체크로마토그래프로 전달하기 위한 열 탈착 장치로 일반적인 장치는 관들이 가열되고 동시에 비활성 가스로 퍼지 되는 동안 탈착될 관을 지지 하기 위해 메커니즘을 포함한다. 탈착 온도와 시간은 조정할 수 있고 운반 가스 유속도 마찬가지로이다. 또한 장치는 자동 시료관 주입, 누출 검사 및 냉각 흡착관 또는 탈착 시료의 농축을 위한 기타 적당한 장치와 같은 추가적인 장치도 포함할 수 있다. 퍼지 가스에 함유된 탈착 시료는 가열된 수송관을 통해 기체크로마토그래프와 컬럼으로 들어간다.

3.5 흡착관

시료를 채취하는 흡착관은 Tenax TA를 사용하여 주로 입자 크기가 0.18 ~ 0.25 mm (60 ~ 80 mesh)를 유리관 또는 스테인리스강 관에 약 200 mg 충전하여 사용한다. 이때 사용되는 Tenax TA는 2,6 - diphenylene oxide의 다공성 중합체로 생산된 직후 다양한 불순물이 함유되어 있으므로 휘발성유기화합물을 시료 채취하기 전 열탈착을 이용하여 이를 제거해야 한다.

3.6 흡착관 세척 장치

비활성 가스를 사용하여 흡착관을 세척할 경우 사용하며 반드시 대기 중의 공기가 흡

입되는 것을 방지해야 하며 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 내외로 온도를 정밀하게 유지되어야 한다. Tenax TA의 경우 $320 \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 범위에서 탈착하며 비활성 가스를 약 3시간 동안 $50 \sim 100\text{ mL/min}$ 로 공급한다.

3.7 표준 용액 주입 장치(선택사항)

일반적인 기체크로마토그래프의 주입 장치는 교정 표준 용액 제조에 이용될 수 있다. 이는 본래 위치에서 이용되거나 분리해서 설치 될 수 있다. 주입 장치로 향하는 운반 가스관은 지탱되어야 한다. 주입 장치의 후면은 필요하다면 시료관을 연결하기에 적합해야 한다. 이는 오(O)링 마개와 압축링을 이용해 간편하게 실시할 수 있다.

3.8 컬럼

시료 중의 분석 물질을 위해 적당한 기체크로마토그래프의 컬럼을 선택한다. 길이 $30 \sim 60\text{ m}$, 안지름 $0.25 \sim 0.32\text{ mm}$ 및 상 두께 $0.25 \sim 0.33\text{ }\mu\text{m}$ 의 결합형(bonded) 100% dimethylpolysiloxane 컬럼은 실내공기 중의 휘발성유기화합물 분석에 적합하다고 입증된 컬럼의 한 예이다.

4.0 시약 및 표준 흡착관

4.1 표준용액 및 가스

4.1.1 휘발성유기화합물

헥산, 헥사데칸, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌은 교정용으로 크로마토그래피 등급으로 되어야 한다.

4.1.2 희석 용액

희석 용액은 크로마토그래피 등급이어야 한다. 이 용액은 4.1.1의 화합물과 함께 용리되는 화합물을 포함하지 않아야 한다. 대부분의 경우 분석하는 휘발성유기화합물 보다 휘발성이 매우 큰 희석 용액을 사용하는 것이 좋다.

4.1.3 운반 가스(He, Ar, N₂)

비활성이며, 99.999 % 혹은 그 이상의 고순도 가스를 운반 가스로 사용한다. 산소와 유기화합물제거를 위한 여과지가 분석 장치 전단에 설치되어야 하며 이런 여과지들은 제조회사의 지침에 따라서 주기적으로 교환하도록 한다.

4.2 표준 흡착관

4.2.1 액체 표준 용액을 이용한 표준 흡착관 제조

4.2.1.1 기체크로마토그래프를 이용한 표준 흡착관

휘발성유기화합물의 정량을 위해서 시료 채취에 사용하는 흡착관에 정량적으로 각 화합물을 흡착시켜 사용하여야 한다. 가장 간단한 방법은 기체크로마토그래프 주입구에 흡착관을 연결한 후, 액체표준용액(휘발성유기화합물을 메탄올이나 에틸아세테이트와 같은 용매에 녹인)을 기체크로마토그래프 주입구에 주입하여 시료채취시의 채취된 질량의 범위와 동일하게 흡착관에 흡착하여 교정용 흡착관을 만들어 사용한다. 이때 운반기체의 유속은 50 ~ 100 mL/min 정도, 주입기 온도는 약 200°C 이상으로 유지한다.

4.2.1.2 액체 소량 첨가(spiking)에 의해 주입되는 표준 흡착관

표준흡착관은 다음과 같이 표준 용액의 일부를 깨끗한 흡착관상에 주입함으로써 제작한다. 비활성 퍼지 가스가 유속 100 mL/min로 흐르고 적절한 표준용액 1 ~ 5 µL를 셉텀을 통해 주입하는 스테인리스강 관에 흡착관을 설치하여 5분 후에 관을 분리하고 막는다. 이 때 관 내부의 온도는 약 200 °C 이상이 유지되어 액체가 기화될 수 있어야 한다.

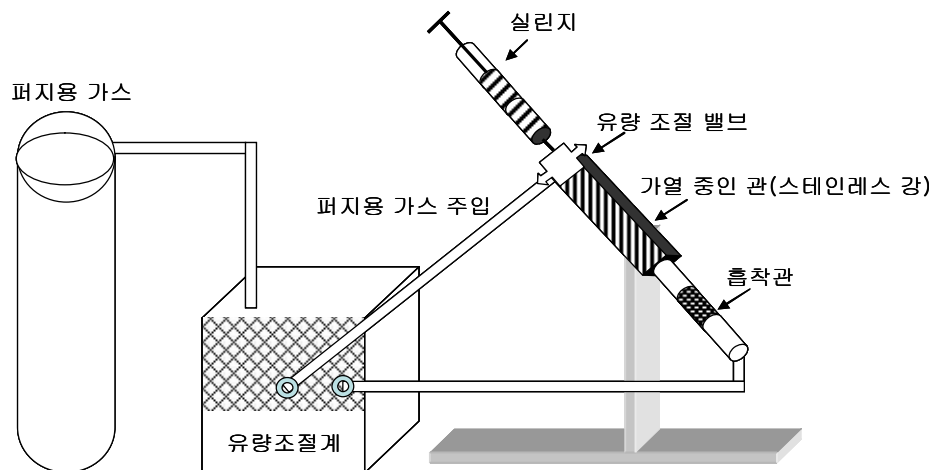


그림 1. 함침 장치의 예

4.2.2 표준 가스를 이용한 표준 흡착관 제조

4.2.2.1 교정용 흡착관

정확한 정량을 위해서는 실제 시료와 비슷한 농도 수준인 저농도의 휘발성유기화합물 표준기체를 흡착관에 각 성분의 흡착효율과 파과부피를 확인 한 후, 교정용 흡착관을 만들어 사용한다. 가스를 이용하여 흡착관을 제조할 경우에도 액체를 소량 첨가하여 제조되는 흡착관과 동일하게 비활성 퍼지 가스를 100 mL/min로 흘려주고 적절한 표준 가스를 주입한다.

4.2.2.2 흡착제가 주입된 시판용 표준관

흡착제가 주입된 시판용 표준관은 검증된 제품을 이용한다. 이 표준관은 분석의 품질 관리 및 정기적인 교정을 위해 사용될 수 있다.

4.2.2.3 검정곡선(calibration curve) 작성

화합물의 특정 감응 인자와 관심 화합물에 대한 FID 및 MS의 선형성은 표준 용액 으로 분석 시스템을 교정하여 얻는다. 적어도 5개의 농도가 다른 표준 용액(7개의 농도가 다른 표준 용액을 사용하면 더 좋음)을 이용하여 검정곡선을 작성한다. 교정용 표준 용액의 최저 농도는 시료의 최저 농도와 같거나 더 낮아야 하며 각 화합물에 대해 주입된 분석 물질 질량과 상응하는 피크 면적 간의 관계식을 결정한다. 직선 범위에

결친 곡선의 기울기가 분석한 휘발성유기화합물의 감응계수이다.

$$A_{st} = b_{st} \times m_{st} + c_{st} \quad (\text{식 1})$$

여기서, A_{st} : 표준용액 크로마토그램에서 분석 물질 피크 면적(면적단위)

b_{st} : 검정곡선의 기울기

m_{st} : 표준 용액 중의 분석 물질 질량 (ng)

c_{st} : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $c_{st} = 0$

5.0 시료 채취 및 관리

5.1 고체흡착관을 이용한 시료 채취

시료 채취는 그림과 같이 흡착관, 시료채취용 흡인펌프 및 유량계로 구성된다.

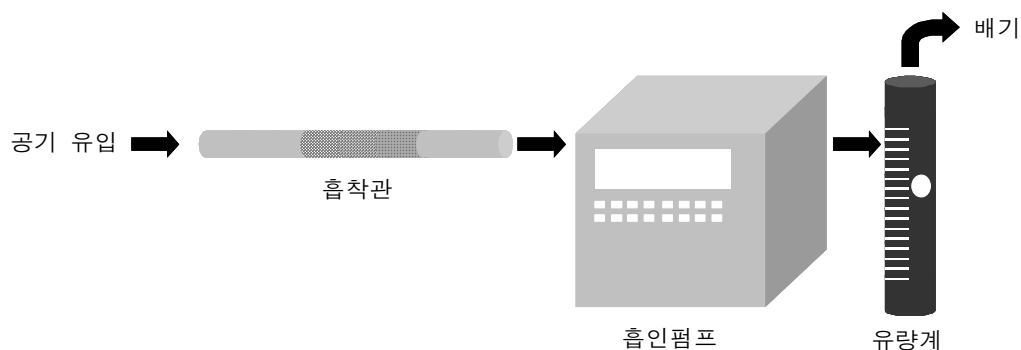


그림 2. 고체 흡착관을 이용한 시료 채취 장치

시료채취를 하기 전 시료채취용 펌프를 가동시키고 시료 채취 유속 또는 기록계 수치를 측정해 기록한 후 시작 시간, 온도 및 필요하다면 기압계 압력도 측정한다. 실내공기 중 휘발성유기화합물 측정 시 적절한 시료 채취 유속은 50 ~ 200 mL/min 범위이며 시료 채취 부피는 1 ~ 5 L범위로 연속 2회 측정한다. 농도를 알지 못하는 시료를 채취하는 경우에는 시료 채취 부피에 다르게 하여 세 개 이상의 비교 시료를 취하는 것이 바람직하다. 또한 건축자재로에서 방출되는 휘발성유기화합물 측정은 공급공기유량의 80 %이하로 하여 최소 2회 이상 측정한다. 시료 채취를 마칠 때에는 유속 또는 기록계 수치를 측정해 기록하고 펌프를 끈 다음 펌프가 꺼진 시간을 측정해 기록한다. 시료가 채취된 흡착관은 시료 채취선에서 분리하고 PTFE 패럴이 장착된 스크루 마개

부품으로 양끝을 막은 후 단단히 밀봉하고 직사광선을 피해서 서늘한 곳에 보관하여 이동한다. 이동 후에는 4 °C 냉장보관 하며 변화 가능성을 피하기 위해 시료는 되도록 빨리 분석해야 하고 가급적이면 포집 후 4주 이내에 분석한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 분석기기의 설치 조건

설치장소는 진동이 없고 분석에 사용되는 유해물질을 안전하게 처리할 수 있으며 부식 기체나 먼지가 적고, 실온 5 ~ 35 °C, 상대습도 85 % 이하로서 직사광선이 쏘이지 않는 곳으로 한다. 분석기기에 공급되는 전원은 지정된 전력부피 및 주파수이어야 하고, 전원변동은 지정전압의 10 % 이내로서 주파수의 변동이 없는 것이어야 한다. 또한 대형변압기, 고주파가열로와 같은 것으로부터 전자기의 유도를 받지 않는 것이어야 하며 접지저항 10 Ω 이하의 접지점이 있는 것이어야 한다.

6.2 분석 전 준비

6.2.1 가스류의 배관

분석기기가 설치 된 후 운반가스의 배관을 한 다음, 기체의 누출이 없는가를 확인한다. 이때 가스통은 화기가 없는 실외의 그늘진 곳에 넘어지지 않도록 고정하여 설치한다.

컬럼의 경우 각 분석방법에 규정된 방법에 따라 분석기기에 부착한 후, 운반기체의 압력을 사용압력 이상으로 올리고, 컬럼 등의 접속부에 비눗물 등을 칠하여 누출시험을 하며 누출이 없음을 확인한다.

6.2.2 열 탈착 장치 누출확인

각 흡착관은 분석하기 전에 누출시험을 실시한다. 흡착관이 부착된 열탈착 장치와 연결된 가스크로마토그래프의 주입구를 막고, 운반기체를 모든 유로에 일정 압력으로 흘렸을 때, 일정시간 압력이 유지되는지를 확인한다. 만약, 누출이 확인되면 장치를 정지한다.

6.3 분석 시 고려 사항

6.3.1 시료 펌프의 관리

펌프 유속이 시료 채취 기간 동안 일정한 펌프 속도가 유지되었는지를 확인하기 위해 각 시료 채취가 끝날 때마다 재측정 되어야 한다. 시료 채취가 끝날 때 측정되어진 유속은 시료 채취가 시작될 때 측정된 유속과 10 % 이내로 일치하여야 하고, 두 값의 평균값이 사용되어야 한다.

6.3.2 시료 채취용 펌프의 유량보정

시료채취용 펌프의 유량은 1차 유량계로 보정되어야 한다. 펌프의 유량보정은 시료 채취 전 시료채취용 흡착관의 종류와 동일한 흡착관을 펌프에 장착하고 적절한 유량이 나오도록 1차 유량계를 이용하여 보정한다. 펌프의 유량보정은 시료를 채취하기 전에 바로 측정 장소에서 하는 것이 가장 바람직하고 그렇지 않을 경우, 측정지점으로 이동하기 전 오염물질이 없는 곳에서 보정되어야 한다.

6.3.2.1 비누막 유량계 설치

300 ~ 1000 cm³의 용량을 가진 정확한 뷰렛(또는 그와 비슷한 것)을 선택한다. 튜브를 뷰렛의 바닥에 부착한 다음 뒤집어서 수직 위치로 스탠드에 단단히 고정시킨다. 혹은 상용화된 장치를 사용할 수 있다. 그림 3와 같이 연결 튜브가 장착된 시료채취펌프와 현장에서 사용되는 고체흡착관을 설치한다. 비커 혹은 페트리 접시에 물과 거품 형성에 필요한 세제의 최소량을 함께 채운다.

비누막 유량계를 연결한 다음 시스템에 누수가 있는지 확인한다. 축적된 세제를 제거하고 뷰렛 내부를 젖은 상태로 유지하기 위하여 시험 직전에 물로 뷰렛을 철저히 행구는 것이 좋다.

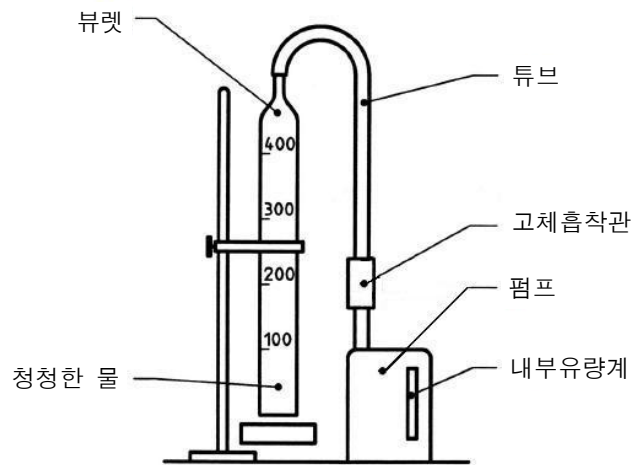


그림 3. 유량보정장치의 구성

6.3.2.2 펌프의 유량 보정 절차

- (1) 펌프의 스위치를 켜고 내부 유량계에 따라서 유량을 조절한다.
- (2) 물과 세제가 담긴 비커 혹은 페트리디쉬를 비누막 유량계의 바닥에 놓아 뷰렛의 전체 길이를 통과할 거품을 생성한다.
- (3) 스톱워치로 거품이 튜브의 맨 끝 눈금 사이의 튜브를 가로지르는데 걸리는 시간을 정확하게 측정한다.
- (4) 시간의 재현성이 좋게 될 때까지 마지막 2단계를 최소 3번 반복한다.
- (5) 실제 부피 유량 $q_e(\text{cm}^3/\text{min})$ 을 계산한다.

$$q_e = \frac{V}{t} \quad (\text{식 2})$$

여기서, V : 뷰렛의 부피(cm^3)

t : 거품이 튜브를 가로지르는데 걸리는 평균 시간(min)

- (6) 원하는 유량이 5 % 이내에 도달할 때까지 계산을 반복한다.

6.3.3 분석기기의 안정화

열 탈착 바탕시료(blank)가 충분히 작다는 것을 입증하기 위해 일상적인 분석 파라미터를 이용하여 바탕시료를 분석한다. 인공 피크가 관심 분석물질의 전형적 면적의 10 %를 넘지 않으면 흡착관 바탕 수준은 허용된다. 만일 바탕시료가 허용 초과된다면 안정화 절차를 반복해 흡착관을 다시 안정화 시킨다. 안정화 절차를 반복한 후에도 바탕시료가 허용 초과된다면 흡착관을 교체하여야 한다.

6.3.4 시료 채취 흡착관 관리

시료 채취 흡착관이 안정적인 부피(보유부피)로 유지되기 위해서 매년 혹은 20회를 사용한 후에는 재점검되어야 한다. 만약 성능이 50 ~ 60 % 이하로 나타나면 반드시 새로운 흡착제로 재충진하고 재안정화시켜 사용하도록 한다.

또한 흡착관이 사용된 경우와 흡착관의 시료 채취 부피가 재측정 될 때마다 기록하며 흡착관의 사용경로를 명확히 기록하고 재충진 될 경우 이 기록은 수정되어야 한다. 이외에도 시료 흡착관은 고유의 이름이 지워지지 않도록 명기되어야 하며 각 흡착관에 포함된 흡착제의 층 길이 및 양, 허용 가능한 최대 온도, 각 흡착관이 충전 된 날짜 등의 세부사항들을 기록하여야 한다.

6.3.5 파과용량 평가

흡착관의 파과용량은 Tenax-TA가 충전된 고체 흡착관 2 개를 직렬로 연결하여 50 mL/min ~ 100 mL/min 유량으로 약 30 분간 채취하여 앞쪽과 뒤쪽의 흡착관을 분석하여 파과용량을 평가한다. 뒤쪽의 흡착관에 채취된 휘발성유기화합물의 양이 전체 채취된 양의 5 %를 넘으면 파과가 일어난 것으로 본다.

6.3.6 현장 바탕시료(field blank)

현장 바탕시료는 휘발성유기화합물 시료 채취에 사용된 것과 동일한 Tenax TA 시료 채취관 이어야 한다. 이들 관은 실제 시료 채취 기간을 제외하고는 현장에서 시료관과 동일한 취급 절차에 따른다. 현장바탕 시료는 실제 시료에 연이어 표기하고, 보관하여 분석한다. 현장바탕 시료의 개수는 각 시료군마다 적어도 한 개의 현장바탕시료를 분

석하여야 한다. 하루에 20개 이하의 시료를 채취할 경우에는 1개를, 그 이상의 시료를 채취할 경우에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취한다.

6.3.7 현장 이중시료(field duplicate)

시험과정의 정밀도는 현장 이중시료를 이용하여 평가한다. 현장 이중시료는 동일 위치에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 독립적으로 분석하여 비교한다. 현장 이중시료는 필요시 하루에 20개 이하의 시료를 채취할 경우에는 1개, 그 이상의 시료를 채취할 때에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취하며, 동일한 조건에서 측정된 두 시료의 측정값 차를 두 시료 측정값의 평균값으로 나누어 두 측정값의 상대적인 차이(RPD, relative percentage difference)를 구한다. 두 측정값의 차이는 20%가 넘지 않아야 한다.

$$\text{두 측정값의 상대적인 차이(\%)} = \frac{C_2 - C_1}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (\text{식 3})$$

6.3.8 분석기기 성능 확인

MS를 이용하여 정량 분석을 할 경우, 교정의 업데이트를 위해 최소한 3개(5개 또는 7개면 더 좋음)의 농도가 다른 교정용 혼합물을 각 시료의 세트와 함께 분석해야 한다. 동위체로 치환된 화합물과 같은 내부 표준 용액은 시료 채취 및 분석 실리를 조절하는 데 사용될 수 있다.

FID를 이용하여 정량 분석을 할 경우, 시스템 성능 확인을 위해 농도가 다른 교정용 표준 혼합물 또는 적어도 단일수준(single level)의 교정용액(calibrant)을 각 시료 세트와 함께 분석해야 한다.

6.3.9 분석기기 정도 관리

분석기기는 분석 시작하기 전에 유량과 컬럼 온도, 시료주입구 온도 및 MS 이송관(transfer-line) 온도를 점검하며 MS의 경우에는 튜닝(Tuning)을 통해 감도와 MS 내의 진공 상태, 튜닝을 위한 표준물질(PFTBA : 69 m/z, 219 m/z, 502 m/z)에 대해 분석기기 제조사에서 권장하는 범위 내에서 분포 하는지 등을 확인 하고 이러한 사항을 기록하여 분석기기의 상태를 점검한다. 만약 감도와 69 m/z, 219 m/z, 502 m/z가 범위에서 벗어났을 경우에는 이온 박스를 세척하거나 검출기 부분을 점검 한다.

6.3.10 분석 기기의 회수율 평가

전처리 장치인 열탈착장치를 이용하여 시료가 주입되는 경우에는 반드시 분석기기 간에 회수율이 평가 되어야 하며, 표준물질을 흡착관에 주입한 농도와 가스크로마토그래프에 직접적으로 주입한 농도 값을 비교한다. 대상 물질은 주로 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌이 포함되어 있어야 하며 기타 혼합 표준물질(TVOC : C₆ ~ C₁₆) 이 포함 되어 있어야한다. 회수율 평가는 최소 연간 2회 이상 하도록 하며 대상 물질마다 80 ~ 120 % 범위가 되어야 한다. 범위에서 벗어날 때에는 열탈착 장치에서 가스크로마토그래프로 유입되는 가스 배관의 누출을 점검하고 흡착관의 상태를 점검 한다.

6.3.11 정밀도 평가 및 관리

정밀도는 표준물질을 반복 분석하여 머무름 시간(RT), 피크 면적(area) 또는 감응 계수(RF)의 상대표준편차(RSD %)를 이용하여 평가한다. 정밀도는 최소 연 1회 평가하며, 머무름 시간과 피크면적 혹은 감응계수의 상대표준편차가 각각 1 %, 5 % 미만으로 유지하여야 한다. 만약 범위에서 벗어날 경우 컬럼 유량과 컬럼 상태를 점검한다.

6.3.12 정확도 평가 및 관리

표준물질을 측정값과 일치하는 정도를 계산하는 것으로 정확한 농도를 알고 있는 기준값과 농도를 실제 분석한 측정값을 비교 하며 기준값은 분석자가 시료 농도의 범위 내에서 선택한다. 이때 정확도는 정밀도 평가와 동시에 평가하며 최소 연 1회 측정 하며 분석의 정확도는 20 % 범위 내에 있어야 한다.

6.3.13 방법검출한계의 적절성 관리

방법검출한계를 결정하기 위해서는 방법검출한계에 이를 것으로 생각되는 대상물질의 농도를 7회 반복 측정한 후, 이 농도 값을 바탕으로 하여 얻은 표준편차에 3.14(7회 반복분석에 대한 99 % 신뢰구간에서의 자유도 값)를 곱한다. 방법검출한계는 최소 년 1 회 측정하며 분석자는 분석기기의 방법검출한계를 숙지하고 있어야 한다.

7.0 분석절차

7.1 열탈착을 이용한 전처리

7.1.1 고체 흡착관 전처리

시료를 채취하기 전 관에 포집되어 있을 수 있는 미량의 유기 휘발성분을 제거하기 위해 비활성 가스를 50 ~ 100 mL/min로 흘려주면서 300 °C의 온도에서 10분간 미리 세척된 고체 흡착관을 안정화시킨다.

안정화 시킨 고체 흡착관은 PTFE 패럴이 장착된 금속 스크루 마개 부품으로 밀봉하고 실온에서 밀폐 용기에 보관한다. 안정화 시킨 시료 채취관은 4주 이내에 이용해야 한다. 4주 이상 보관된 관은 시료 채취 전에 다시 안정화시켜야 한다.

7.1.2 시료의 탈착

시료를 채취한 흡착관은 오염되지 않은 장갑을 사용하여 마개를 제거한 후, 열탈착 장치에 장착한다. 이때, 흡착관내의 수분을 제거하기 위해서 흡착관을 시료채취 반대방향으로 연결하여 탈착시킨다. 그런 다음 흡착관을 흡착제의 종류에 따른 운반기체 유량과 가열온도를 설정하여 시료가 완전히 이송될 수 있도록 탈착하고, 탈착된 시료는 -30 °C이하의 저온 농축관으로 이송된다. 저온 농축관으로 이송된 시료를 다시 가열탈착한 후 시료를 적당히 분할하여 컬럼의 유량을 조정하고 기체크로마토그래프로 이송한다. 저온농축 및 열탈착 시 온도설정 조건은 사용하는 흡착제나 분석대상물질에 따라서 설정할 수 있다.

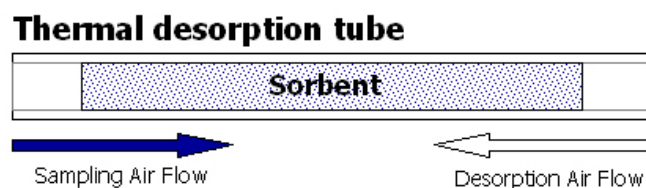


그림 4. 고체흡착관의 시료채취방향과 열탈착방향의 예

7.2 분석법

7.2.1 시료 분석

휘발성유기화합물 시료는 되도록 시료 채취 시점으로부터 4주 이내에 분석한다. 현장 바탕 시료 및 적합한 표준 용액을 시료에 연이어 분석한다. 휘발성유기화합물을 MS로 식별하며 FID 또는 MS 크로마토그래프로 정량한다. 휘발성유기화합물의 식별은 순수 화합물의 질량 스펙트럼 또는 시판용 질량 스펙트럼 편람(라이브러리)과 단일 컬럼에서의 교정용 화합물의 머무름 시간과 일치 하여야 한다.

표 1. 열탈착장치 및 기체크로마토그래프/질량분석기 분석조건의 예

열탈착장치	
탈착 온도	280 ~ 320 °C(흡착제에 따라)
탈착 유량	30 mL/min, 15 min
저온농축 트랩	흡착제(Tenax TA)
저온농축 흡착 온도	-10 ~ -20 °C
저온농축 탈착 온도	280 °C ~ 300 °C
탈착 시간	15 ~ 20분
기체크로마토그래프	
주입기 온도	300 °C
운반기체 및 유량	순도 99.999 %의 비활성 기체, 1.0 ~ 1.5 mL/min
컬럼	길이 30~60 m, 안지름 0.25 ~ 0.32 mm 두께 0.25 ~ 0.33 μ m 의 결합형(bonded) 100 % dimethylpolysiloxane
온도 프로그램	40 °C (4 min) - 4 °C/min - 230 °C - 20 °C/min - 280 °C (10min) (모든 목표 화합물이 용리될 때 까지)
질량분석기	
인터페이스 온도	250 °C
이온원 온도	200 °C
이온화 방법	전자이온화(70 eV)
질량 범위	35 m/z ~ 300 m/z

7.2.1.1 개별 휘발성유기화합물 분석

개별 휘발성유기화합물의 분석은 MS로 분석 할 경우 질량 분석 총이온 크로마토그램과 화합물의 유지 시간을 이용하여 시료에서 개별 휘발성유기화합물을 검출한다. 식별

방법은 총이온 크로마토그램을 순수 화합물의 질량 스펙트럼 또는 시판용 질량 스펙트럼 편람(라이브러리)과 비교한다. MS 작동에서 선택적인 이온 분석(SIM, select ion monitoring) 모드 또한 사용 가능하다. 취급자가 선택 가능한 부분으로서, 이 경우 취급자는 선택적인 이온 분석과 스캔 모드의 차이를 알고 있어야 한다.

FID를 이용하여 분석하는 경우 각각 단일 물질을 분석하여 확인하였을 경우에만 개별 휘발성유기화합물의 정량 분석이 가능하다.

개별 휘발성유기화합물의 검정곡선 작성 시 농도 범위는 최대, 최소 농도 차가 10배 이내 차이가 나야 하며 연속적으로 시료를 분석할 때마다 검정곡선을 작성하여 직선성은 0.98 이상 되어야 한다.

7.2.1.2 총휘발성유기화합물 분석

총휘발성유기화합물은 크로마토그램에서 헥산에서 헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 모든 휘발성유기화합물로 표준물질 분석 시 헥산, 톨루엔, 헥사데칸이 반드시 포함되어 있어야 한다.

이때 검정곡선 작성을 위한 표준물질 농도의 범위는 최대, 최소 농도 차가 10배 이내 차이가 나야 하며 연속적으로 시료를 분석 할 때 마다 검정곡선을 작성하여 직선성은 0.999 이상 되어야 한다.

7.2.2 시료의 주입 시 고려사항

7.2.2.1 기체 시료 : 보통 기체시료 주입을 위한 전처리 장치(열탈착장치 등)를 사용하나 주사기(통상 0.5 ~ 5 mL)를 사용하여 주입할 수도 있다.

7.2.2.2 액체시료 : 시료 주입량에 따라 적당한 부피의 미량주사기(micro syringe, 1 ~ 100 μ L)를 사용하여, 시료 주입구로부터 빠르게 주입한다.

7.2.2.3 고체시료 : 용매에 용해시켜 액체시료 주입방법과 동일하게 주입한다.

8.0 결과보고

8.1 개별 휘발성유기화합물의 농도계산

시료 중에 존재하는 분석 물질의 질량은 식 1에 따라 분석 물질의 감응 계수를 이용해 검출기 피크 면적으로부터 계산한다.

$$m_A = \frac{(A_A - C_A)}{b_{st}} \quad (\text{식 4})$$

여기서, m_A : 시료 중의 분석 물질 양(ng)

A_A : 시료의 크로마토그램에서 분석 물질의 피크 면적

b_{st} : 검정곡선 기울기

C_A : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $C_A = 0$

시료 채취된 공기 중에 식별된 휘발성유기화합물의 질량 농도는 다음 식으로 계산한다.

$$\rho_A = \frac{(m_A - m_{A0})}{V_{(25^\circ C, 1atm)}} \quad (\text{식 5})$$

여기서, ρ_A : 시료 채취된 공기 중의 분석 물질 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

m_A : 현장시료 채취관에 존재하는 분석 물질 질량(ng)

m_{A0} : 바탕 시료관에 존재하는 분석 물질 질량(ng)

$V_{(25^\circ C, 1atm)}$: 환산된 시료 채취 부피(L)

채취한 공기는 다음 식에 따라 25 °C, 1기압 조건으로 보정하여 그 값을 환산하여 사용한다.

$$V_{(25^\circ C, 1atm)} = V \times \frac{T_{(25^\circ C)}}{T_2} \times \frac{P_2}{P_{(1atm)}} \quad (\text{식 6})$$

여기서, $V_{(25^\circ C, 1atm)}$: 25 °C, 1기압일 때 기체의 부피(L)

$T_{(25^\circ C)}$: 25 °C의 절대온도(°K) (298 °K = 273+25 °C)

$P_{(1atm)}$: 1기압(atm)

V : 실제로 채취한 기체의 부피(L)

T_2 : 기체를 채취할 때의 절대온도(°K) (°K=273+°C)

P_2 : 기체를 채취할 때의 기압(atm)

8.2 총휘발성유기화합물(TVOCs)의 농도 계산

총휘발성유기화합물(TVOC)는 n-헥산과 n-헥사데칸 사이 크로마토그램의 총면적을 고려한다. 톨루엔 감응 계수를 이용해, 면적을 톨루엔의 질량 단위로 전환한다.

$$m_A = \frac{(A_T - C_A)}{b_{st}} \quad (\text{식 7})$$

여기서, m_A : 시료 중의 분석 물질 양(ng)

A_t : 시료의 크로마토그램에서 헥산에서 헥사데칸 사이의 분석 물질 피크 면적의 합

b_{st} : 검정곡선 기울기

C_A : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $C_A = 0$

식 4, 식 5와 식 6에 따라 시료 공기 중 총휘발성유기화합물 질량 농도를 계산한다.

8.3 시험결과 정리

시험결과는 다음 사항을 정리 기재한다.

8.3.1 시험일

8.3.2 장치명

8.3.3 조작자 명

8.3.4 시료명 및 시료주입량(μL 또는 mL)

8.3.5 운반기체의 종류 및 유량(mL/min) 또는 유속(cm/sec)과 컬럼 입구압력(kg/cm²)

8.3.6 컬럼의 재질, 내경(mm) 및 길이(m), 컬럼 온도(°C)

8.3.7 시료주입구 및 기타 필요한 부분의 온도(°C)

8.3.8 질량분석기 조작조건

8.3.9 방법검출한계

8.3.10 측정결과의 표기

실내공기 중 농도의 경우 소수점 첫째자리까지 표기하며, 건축자재에서 방출되는 농도는 소수점 셋째자리까지 표기한다.

9.0 참고자료

9.1 KS I ISO 16000-6 “실내공기-제6부 : 흡착제 Tenax TA를 이용한 액티브시료채취, 열탈착 및 MS 또는 MS-FID를 이용한 가스크로마토그래피에 의한 실내 및 시험챔버 공기 중 휘발성유기화합물 측정”, 산업표준심의회, (2014)

10.0 부록

10.1 실내 및 건축자재에서 방출되는 화합물의 예

표 2. 실내 및 건축자재에서 방출되는 화합물의 예

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Aromatic hydrocarbons		
1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8	176
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	95-93-2	197
1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	169
1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	165
1,3-Diisopropyl benzene	99-62-7	203
1,4-Diisopropylbenzene	100-18-5	203
1-Methyl-2-propylbenzene	1074-17-5	
1-Methyl-3-propylbenzene	1074-43-7	175
1-Propenylbenzene	637-50-3	175
2-Ethyltoluene	611-14-3	165
3-Ethyltoluene/4-Ethyltoluene	620-14-4/622-96-8	162
2-Phenyloctane	777-22-0	123
4-Phenylcyclohexene	4994-16-5	251 ⁽¹⁾
5-Phenyldecane	4537-11-05	
5-Phenylundecane	4537-15-9	
α-Methylstyrene	98-83-9	165
Benzene	71-43-2	80
Ethylbenzene	100-41-4	136
Ethylbenzene/Ethynylbenzene	536-74-3	144
Isopropylbenzene	98-82-8	152
m/p-Methylstyrene	100-80-1/622-97-9	168/169
m/p-Xylene	108-38-3/106-42-3	139/138
Naphthalene	91-20-3	218
n-Butylbenzene	104-51-8	183
n-Propylbenzene	103-65-1	159
o-Methylstyrene	611-15-4	171
o-Xylene	95-47-6	144
Styrene	100-42-5 145	
Toluene	108-88-3 111	

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Aliphatic hydrocarbons n-C₆ to n-C₁₆		
1-Decene	872-05-9	171
1-Octene	111-66-0	121
2,2,4,6,6-Pentamethylheptane	13475-82-6	178
2,4,6-Trimethyloctane	62016-37-9	
2-Methylhexane	591-76-4	90
2-Methylnonane	871-83-0	167
2-Methyloctane	3221-61-2	143
2-Methylpentane	107-83-5	60 ⁽²⁾
3,5-Dimethyloctane	15869-93-9	159
3-Methylhexane	589-34-4	92
3-Methyloctane	2216-33-3	143
3-Methylpentane	96-14-0	63 ⁽²⁾
4-Methyldecane	2847-72-5	189
Isododecane	31807-55-3	216
n-Decane	124-18-5	174
n-Dodecane	112-40-3	216
n-Heptane	142-82-5	98
n-Hexadecane	544-76-3	287
n-Hexane	110-54-3	69
n-Nonane	111-84-2	151
n-Octane	111-65-9	125
n-Pentadecane	629-62-9	271
n-Tetradecane	629-59-4	254
n-Tridecane	629-50-5	235
n-Undecane	1120-21-4	196
Cycloalkanes		
1,4-Dimethylcyclohexane	589-90-2	124
1-Methyl-4-methylethylcyclohexane(cis/trans)	6069-98-3 /1678-82-6	167
Cyclohexane	110-82-7	81
Methylcyclohexane	108-87-2	101
Methylcyclopentane	96-37-7	72

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Terpenes		
β-Caryophyllene	87-44-5	129
α-Pinene	80-56-8	156
β-Pinene	18172-67-3	164
3-Carene	13466-78-9	167
α-Cedrene	469-61-4	262
Camphene	79-92-5	158
Limonene	138-86-3	176
Longifolene	475-20-7	254
Turpentine	8006-64-2	150 ~ 180
Alcohols		
1-Butanol	71-36-3	118
1-Hexanol	111-27-3	158
1-Octanol	111-87-5	194
1-Pentanol	71-41-0	137
1-Propanol	71-23-8	97
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	182
2-Methyl-1-propanol(isobutanol)	78-83-1	108
2-Methyl-2-propanol	75-65-0	82
2-Propanol	67-63-0	82
BHT(2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol)	128-37-0	265
Cyclohexanol	108-93-0	161
Phenol	108-95-2	182
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol isobutyrate	25265-77-4	244
Glycols/Glycol ethers		
1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	118
2-Butoxyethanol	111-76-2	171
2-Butoxyethoxyethanol	112-34-5	231

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
2-Ethoxyethanol	110-80-5	136
2-Methoxyethanol	109-86-4	125
2-Phenoxyethanol	122-99-6	245
3-Phenyl-1-propanol	6180-61-6	235
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	112-34-5	230
Dimethoxyethane	110-71-4	85
Dimethoxymethane	109-87-5	42 ⁽²⁾
Propyleneglycol	57-55-6	189
Aldehydes		
2-Butenal	123-73-9	104
2-Decenal	2497-25-8	
2-Ethylhexanal	123-05-7	163
2-Furancarboxaldehyde	1998-01-01	162
2-Heptenal(cis/trans)	57266-86-1/18829-55-5	90 ~ 91 at 50 mmHg
2-Nonenal	2463-53-8	100 ~ 102 at 16 mmHg
2-Pentenal	1576-87-0	115 ~ 125
2-Undecenal	1337-83-3	
Acetaldehyde	75-07-0	21 ⁽²⁾
Benzaldehyde	100-52-7	179
Butanal	123-72-8	76
Decanal	112-31-2	208
Heptanal	111-71-7	153
Hexanal	66-25-1	129
Nonanal	124-19-6	190
Octanal	124-13-0	171
Pentanal	110-62-3	103
Propanal	123-38-6	49 ⁽²⁾

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Ketones		
2-Butanone	78-93-3	80
2-Methylcyclohexanone	583-60-8	163
2-Methylcyclopentanone	1120-72-5	139
3-Methyl-2-butanone	563-80-4	95
4-methyl-2-pentanone	108-10-1	117
3,5,5-Trimethylcyclohex-2-enone	78-59-1	214
Acetone	67-64-1	56 ⁽²⁾
Acetophenone	98-86-2	202
Cyclohexanone	108-94-1	155
Cyclopentanone	120-92-3	130
Methylethylketone	78-93-3	80
Methylisobutylketone	108-10-1	118
Halocarbons		
1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-20-6	130
1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	146
1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	74
1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	114
1,2-Dichloroethane	107-06-2	84
1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	173
Carbontetrachloride	56-23-5	76
Chlorobenzene	108-90-7	131
Dichloromethane	1975-09-02	40 ⁽²⁾
Tetrachloroethene	127-18-4	121
Trichloroethene	1979-01-06	87
Acids		
2,2-Dimethylpropanoicacid	75-98-9	164
Aceticacid	64-19-7	118

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Butyricacid	107-92-6	163
Heptanoicacid	111-14-8	223
Hexadecanoic acid	1957-10-03	350
Hexanoicacid	142-62-1	202
Isobutyricacid	79-31-2	153
Octanoicacid	124-07-2	240
Pentanoicacid	109-52-4	186
Propanoicacid	1979-09-04	141
Esters		
2-Ethoxyethylacetate	111-15-9	156
2-Ethylhexylacetate	103-09-3	198
2-Methoxyethylacetate	110-49-6	145
Butoxyethylacetate	112-07-2	192
Butylacetate	123-86-4	126
Butylformate	592-84-7	107
Ethylacetate	141-78-6	77
Ethylacrylate	140-88-5	100
Isobutylacetate	110-19-0	118
Isopropylacetate	108-21-4	90
Linaloolacetate	115-95-7	220
Methylacrylate	96-33-3	81
Methylmethacrylate	80-62-6	100
Propylacetate	109-60-4	102
2,2,4-Trimethylpentanedioldiisobut yrate	6846-50-0	424
Vinylacetate	108-05-4	72 ⁽²⁾
Phthalates		
Alkyl phthalates		
Dibutylphthalate	84-74-2	340

(표 계속)

화 합 물	CAS No.	끓는점 (°C)
Dimethylphthalate	131-11-3	284
Other		
1,4-Dioxane	123-91-1	101
1-Methyl-2-pyrrolidinone	872-50-4	202
2-Pentylfuran	3777-69-3	> 120
Aniline	62-53-3	184
Caprolactam	105-60-2	267
Indene	95-13-6	182
Nitrobenzene	98-95-3	211
Pyridine	110-86-1	116
Tetrahydrofuran	109-99-9	67 ⁽²⁾

주⁽¹⁾ 1-phenylcyclotexene의 값

(²) 이 규격에 따른 시료 채취관 크기 및 시료 채취 부피를 이용할 경우, 헥산 이하의 끓는점을 갖는 화합물은 Tenax TA에 의해 정량적으로 지탱되지 않는다.

비고 1. 유기 화합물 증기에 대한 안전시료채취 부피는 부록 10.2 에 나와 있다.

2. n-헥산 이전에 용리되는 VOCs를 분석 할 경우 KS I ISO 1607-1에서 주어진 보충 흡착제를 이용할 수 있다.

10.2 Tenax TA에 시료 채취된 유기 화합물에 대한 안전 시료 채취 부피(SSV, safe sampling volumes)

표 3. Tenax TA에 시료 채취된 유기 화합물에 대한 안전 시료 채취 부피

유기 화합물	끓는점 °C	증기압 kPa (25 °C)	머무름 부피 L	안전시료 채취부피 (SSV) L	그램당 안전시료 채취부피 L/g	탈착온도 °C
Hydrocarbons						
Hexane	69	16	6.4	3.2	16	110
Heptane	98	4.7	34	17	85	130
Octane	125	1.4	160	80	390	140
Nonane	151	0.5	1400	700	3500	150
Decane	174	0.13	4200	2100	1.0×10 ⁴	160
Undecane	196	0.14	2.5×10 ⁴	1.2×10 ⁴	6.0×10 ⁴	170
Dodecane	216	0.04	1.26×10 ⁵	6.3×10 ⁴	3.0×10 ⁵	180
Benzene	80	10.1	13	6.2	31	120
Toluene	111	2.9	76	38	190	140
Xylene	138~144	0.67~0.87	600	300	1500	140
Ethylbenzene	136	0.93	360	180	900	145
Propylbenzene	159	0.3	1700	850	4000	160
Isopropylbenzene	152	0.4	960	480	2400	160
Ethyltoluene	162	—	2000	1000	5000	160
Trimethylbenzene	165~176	0.15~0.2	3600	1800	8900	170
Styrene	145	0.88	600	300	1500	160
Methylstyrene	167	0.3	2400	1200	6000	170
Chlorinated hydrocarbons						
Carbontetrachloride	76	12	12	6.2	31	120
1,2-Dichloroethane	84	8.4	11	5.4	27	120
1,1,1-Trichloroethane	74	2.7	Tenax TA 상에서 권장하지 않음			
1,1,2-Trichloroethane	114	2.5	68	34	170	120
1,1,1,2-Tetrachloroethane	130	0.6~0.7	160	78	390	150
1,1,2,2-Tetrachloroethane	146	0.67	340	170	850	150
Trichloroethylene	87	2.7	11.2	5.6	28	120

(표 계속)

유기 화합물	끓는점 °C	증기압 kPa (25 °C)	머무름 부피 L	안전시료 채취부피 (SSV) L	그램당 안전시료 채취부피 L/g	탈착온도 °C
Tetrachloroethylene	121	1.87	96	48	240	150
Chlorobenzene	131	1.2	52	26	130	140
Esters and glycol ethers						
Ethylacetate	71	9.7	7.2	3.6	18	120
Propylacetate	102	3.3	36	18	92	140
Isopropylacetate	90	6.3	12	6	31	120
Butylacetate	126	1.9	170	85	420	150
Isobutylacetate	115	2,7	265	130	650	130
t-Butyl acetate	98	—	Tenax TA 상에서 권장하지 않음			
Methylacrylate	81	9~11	13	6.5	32	120
Ethylacrylate	100	3.9	48	24	120	120
Methyl methacrylate	100	3.7	55	27	130	120
Methoxyethanol	125	0.8	6	3	15	120
Ethoxyethanol	136	0.51	10	5	25	130
Butoxyethanol	170	0.1	70	35	170	140
Methoxypropanol	118	1.2(20°C)	27	13	65	115
Methoxyethylacetate	145	0.27	16	8	40	120
Ethoxyethyl acetate	156	0,16	30	15	75	140
Butoxyethylacetate	192	0.04	300	150	750	160
Aldehydes and ketones						
Methylethylketone	80	10.3	6.4	3.2	16	120
Methylisobutylketone	118	0.8	52	26	130	140
Cyclohexanone	155	0.45	340	170	850	150
3,5,5-Trimethylcyclohex- 2-enone	214	0.05	11000	5600	28000	90
Furfural	162	0.5	600	300	1500	200
Alcohols						
n-Butanol	118	0.67	10	5	25	120
Isobutanol	108	1,6	5.6	2.8	14	120

(표 계속)

유기 화합물	끓는점 °C	증기압 kPa (25 °C)	머무름 부피 L	안전시료 채취부피 (SSV) L	그램당 안전시료 채취부피 L/g	탈착온도 °C
t-Butanol	83	1,17	Tenax TA 상에서 권장하지 않음			
Octanol	180	<0.1	2800	1400	7000	160
Phenol	182	0,03	480	240	1200	190
Others						
Pyridine	116	16	8	40	150	—
Aniline	184	0,09	440	220	1100	190

10.3 Tenax TA 흡착관상에서 유기화합물의 보관 회수율

표 4. Tenax TA 흡착관상에서 유기화합물의 보관 회수율

유기화합물	도입량	기간 = 5개월		기간 = 11개월	
	µg	평균 회수율 ⁽¹⁾ %	정밀도 CV %	평균 회수율 ⁽¹⁾ %	정밀도 CV %
Hydrocarbons					
Hexane	7.8	93.6	17.9	100.8	26.1
Heptane	8.4	99.5	2.1	100.0	1.3
Octane	8.6	100.1	1.8	100.0	0.5
Nonane	12.0	Nd	Nd	101.0	0.4
Decane	9.2	100.4	1.5	100.2	0.5
Undecane	9.1	100.7	1.5	100.2	0.2
Dodecane	9.9	10.8	1.5	101.5	0.4
Benzene	11.0	98.7	2.0	98.6	0.8
Toluene	10.9	(100.0)	1.8	(100.0)	0.6
p-Xylene	5.3	99.9	1.7	99.8	0.7
o-Xylene	11.0	100.0	1.7	98.8	0.7
Ethylbenzene	10.0	99.6	0.4	97.9	1.3
Propylbenzene	10.5	99.7	1.5	98.5	0.7
Isopropylbenzene	10.9	98.9	1.8	97.2	1.3
m+p-Ethyltoluene	10.5	98.8	1.7	96.9	1.2
o-Ethyltoluene	5.4	100.1	1.6	98.9	0.7
1,2,4-Trimethylbenzene	10.8	100.1	1.3	99.1	0.5
1,3,5-Trimethylbenzene	10.7	100.0	1.5	99.1	0.5
Trimethylbenzene	10.2	101.6	0.5	101.3	0.8
Esters and glycol ethers					
Ethylacetate	10.3	97.6	1.0	100.0	2.5
Propylacetate	10.9	100.5	1.7	99.1	0.8
Isopropylacetate	9.4	97.0	0.4	100.0	1.4
Butylacetate	10.8	100.3	1.6	99.9	0.6
Isobutylacetate	10.7	100.2	1.4	99.8	0.7
Methoxyethanol	8.9	87.3	5.7	93.1	1.6

(표 계속)

유기 화합물	도입량 μg	기간 = 5개월		기간 = 11개월	
		평균 회수율 ⁽¹⁾ %	정밀도 CV %	평균 회수율 ⁽¹⁾ %	정밀도 CV %
Ethoxyethanol	10.4	97.6	2.5	97.2	3.3
Butoxyethanol	10.0	100.6	4.1	100.1	3.0
Methoxypropanol	10.4	95.3	3.6	99.0	1.2
Methoxyethylacetate	12.5	100.6	1.4	98.9	1.4
Ethoxyethylacetate	11.4	99.8	2.2	98.7	2.6
Butoxyethylacetate	11.5	101.3	1.3	99.9	1.1
Aldehydes and ketones					
Methylethylketone	9.2	97.4	0.8	99.1	0.6
Methylisobutylketone	9.3	100.7	0.6	100.7	0.5
Cyclohexanone	10.9	102.4	1.2	100.7	0.6
2-Methylcyclohexanone	10.7	101.1	0.5	101.1	1.3
3-Methylcyclohexanone	10.5	103.6	1.0	103.0	0.7
4-Methylcyclohexanone	10.6	103.6	1.4	102.7	0.6
3,5,5-Trimethylcyclohex- 2-enone	10.6	101.4	0.9	97.7	1.2
Alcohols					
Butanol	9.0	94.8	3.0	96.9	1.2
Isobutanol	8.9	93.6	3.5	96.4	1.0

주⁽¹⁾ 톨루엔 100으로 정규화 되어있다.

10.4 휘발성유기화합물 표준물질의 크로마토그램의 예

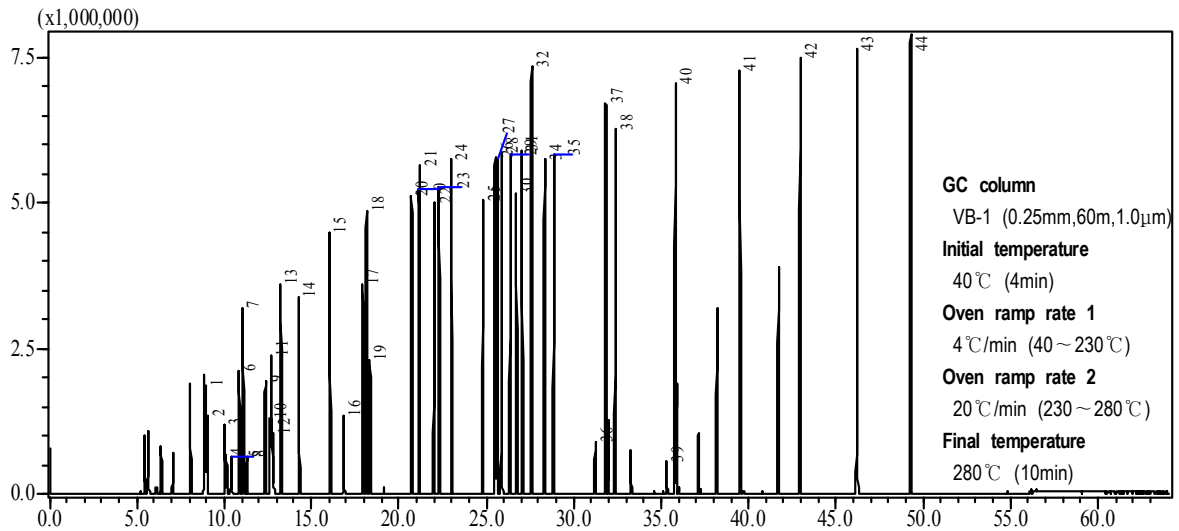


그림 5. 가스크로마토그래프를 이용한 휘발성유기화합물 표준물질의 크로마토그램의 예

피크번호	휘발성유기화합물 종류	피크번호	휘발성유기화합물 종류
1	Hexane	23	o-Xylene
2	Chloroform	24	n-Nonane
3	1,2-dichloroethane	25	alpha-Pinene
4	2,4-Dimethylpentane	26	m-Ethyltoluene
5	1,1,1-trichloroethane	27	p-Ethyltoluene
6	n-Butanol	28	1,3,5-trimethylbenzene
7	Benzene	29	o-Ethyltoluene
8	Carbon tetrachloride	30	beta-Pinene
9	1,2-dichloropropane	31	1,2,4-trimethylbenzene
10	Bromodichloromethane	32	n-Decane
11	Trichloroethylene	33	1,4-dichlorobenzene
12	Isooctane	34	1,2,3-trimethylbenzene
13	n-Heptane	35	D-Limonene
14	Methyl Isobutyl Ketone	36	Nonanal
15	Toluene	37	n-Undecane
16	Dibromochloromethane	38	1,2,4,5-Tetramethylbenzene
17	n-Butyl acetate	39	Decanal
18	n-Octane	40	n-Dodecane
19	Tetrachloroethylene	41	n-Tridecane
20	Ethylbenzene	42	n-Tetradecane
21	m,p-Xylene	43	n-Pentadecane
22	Styrene	44	n-Hexadecane