

# ISO 16017-1 part 1: Pumped sampling

석사과정: 김기혁, 신소이, 이진경, 차진영, 원종연

## Foreword

ISO(the International Organization for Standardization-국제표준화기구)는 세계적으로 유명한 국제기준조직 연맹이다. 국제기준의 준비작업은 일반적으로 ISO기술위원회에서 수행한다. 기술위원회가 세워진 이래 그와 관련된 주제에 관심을 갖는 각각의 조직들은 협회를 대표하는 권한을 갖는다. ISO와 관련된 모든 국제적인 조직, 정치적인 혹은 비정치적인 집단 역시 이 작업의 한 부분을 차지한다. ISO는 전기기술 관련 모든 문제에 관하여 IEC(국제전기표준회의)와 공동으로 연구하고 있다.

국제적인 기준은 ISO/IEC지침 Part3에 주어진 규칙에 따라 초안을 잡는다.

기술위원회에서 채택된 국제기준의 초안은 투표를 위해 각각의 조직에 유포된다. 국제기준의 공표는 투표에서 조직의 최소한 75%의 지지를 얻어야 한다.

주목할 점은 ISO 16017의 몇몇 요소들이 특허권의 주제가 될 가능성이 높다는 것이다. ISO는 어떤 특허권에 대해서도 관계할 책임이 없다.

국제기준 ISO 16017-1은 기술위원회 ISO/TC 146,Air quality와 소위원회의 SC 6, Indoor air를 기초로 작성된 것이다.

ISO 16017은 sorbent tube(흡착튜브)/ thermal desorption(열 탈착 방식)/ capillary gas chromatography(삼투압 가스 크로마토그래피)에 의한 휘발성 유기화합물의 표본화(sampling)와 분석을 통한 개괄적인 실내(Indoor), 주변 환경(ambient), 작업장(workplace)의 공기라는 주제 안에 다음과 같이 구성되어 있다.

-Part 1 : Pumped sampling (주입에 의한 샘플링)

-Part 2 : Diffusive sampling (확산에 의한 샘플링)

부록 A와 B 형식은 ISO 16017의 기준이 되는 부분을 만들어 낸다. 부록 C에서 F까지는 자료이다.

## Indoor, ambient and workplace air

### - Sampling and analysis of volatile organic compounds<sup>1)</sup> by sorbent tube/ thermal desorption/ capillary gas chromatography -

실내, 주변 환경, 작업장의 공기

- 흡착 튜브, 열 탈착 방식, capillary gas chromatography를 이용한 유기화합물의 샘플링과 분석-

## Part1:

### Pumped sampling

#### 1. Scope

ISO 16017은 공기 중의 휘발성 유기화합물(VOCs)의 샘플링과 분석에 관한 일반적인 지침 사항이다. 이는 주변환경, 실내 및 작업실의 공기과 작은 규모 혹은 실물 크기 실의 테스트에서 재료로부터의 배출물질에 관한 평가를 하기에 적합하다.

ISO 16017은 탄화수소와 할로겐화 탄화수소, 에스테르, 글리콜 에스테르, 케톤, 알콜 등을 포함한 광범위의 VOCs에 적합하다. 다양한 **흡착제**<sup>2)</sup>들은 이 VOCs들을 샘플링 하는데 적합하며 각각의 흡착제는 다른 응용범위를 가지고 있다. 이온화된 혼합물은 일반적으로 유도(derivatization)를 필요로 하며 낮은 끓는점을 가진 혼합물은 주변 환경의 온도에 따라 흡착제에 의해 일부만 남게 되어 정성(定性)적인 평가만이 가능하다. 반(半)휘발성 혼합물은 흡

1) VOCs : 휘발성 유기 화합물

증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭.

VOC라고도 한다. 대기 중에서 질소산화물과 공존하면 햇빛의 작용으로 광화학반응을 일으켜 오존 및 팬(PAN:퍼옥시아세틸 나이트레이트) 등 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학스모그를 유발하는 물질을 통틀어 일컫는 말이다. 대기오염물질이며 발암성을 가진 독성 화학물질로서 광화학산화물의 전구물질이기도 하다. 또한 지구온난화와 성층권오존층 파괴의 원인물질이며 악취를 일으키기도 한다.

국내의 대기환경보전법시행령 제39조 제1항에서는 석유화학제품·유기용제 또는 기타 물질로 정의하는 데, 환경부고시 제1998-77호에 따라 벤젠·아세틸렌·휘발유 등 31개 물질 및 제품이 규제대상이다. 산업체에서 많이 사용하는 용매에서 화학 및 제약공장이나 플라스틱 건조공정에서 배출되는 유기가스에 이르기까지 매우 다양하며 끓는점이 낮은 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 생활주변에서 흔히 사용하는 탄화수소류가 거의 해당된다.

화합물		비점유 공간에서 측정된 최대치(mg/m <sup>3</sup> )	주요 방출원
휘발성 화합물	벤젠	1,000	흡연, 자동차 배기가스, 간접흡연
	클로로 포름	250	의복 세탁, 식기 세척
	방향족 탄화수소(톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠)	1,000	페인트, 접착제, 휘발유, 연소재, 바닥용약스, 니스, 벽지, 바닥장판재, 코킹 및 실란트, 염료 착색제

2) sorbent : 흡착제

부록 C에 올려진 흡착제들과 이 국제 표준에 있는 경우에도 마찬가지로 ISO 16017에서 열거된 것과 같이 수행하는 것으로 알려졌다. 각각의 흡착제들 혹은 생산품은 유일한 등록상표와 독점적인 제조사와 제휴를 맺는다. ; 그러나 여러 다른 공급원으로부터도 광범위하게 사용 가능하다. 이러한 정보는 ISO16017의 사용자의 편이를 위해 주어지며 명명된 상품의 ISO인증을 주는것이 아니다. 같은 결과를 유도하는 것으로 알려지면 상품을 사용할 수 있다.

착제에 의해 지속적으로 남게 되지만 일부만 회수가 가능할 것이다. 실험을 거친 ISO 16017의 일부 혼합물들은 표에 나와 있다. ISO 16017은 목록에 없는 화합물들에도 적용할 수 있겠지만 이 경우에는 같은 종류 또는 더 강력한 흡착제를 넣은 back-up 튜브를 사용하는 것이 타당하다.

ISO 16017은 VOCs의 각각의 화합물 100mg/m<sup>3</sup>당 약 0.5µg/m<sup>3</sup>의 농도 범위 안에서 공기에 의해 운반되는 증기의 양을 측정하는데 적절한 방식이다.

유효 범위의 상한선은 사용한 흡착제의 흡착 용량과 GC 컬럼(gas chromatography column)의 linear dynamic range와 탐지기, 분석 방법으로서 사용된 표본조각용량 등에 의해 조절된다. 흡착 용량은 샘플링 과정에서 더 이상 초과할 수 없는 최대 공기의 누출량(breakthrough volume)과 같이 측정된다.

유효 범위의 하한선은 검출기의 소음 레벨과 분석기의 blank level, 흡착튜브의 방해물질의 정도에 의해 정해진다. 좋은 상태의 Tenax GR를 위한 이 물질들은 대개 약간의 nanogram정도이며, Cabopack, Carbotrap과 같은 탄소질 흡착제, 탄화 **몰레큘러시브**<sup>3)</sup>(carbonized molecular sieves -탄화 분자로 이루어진 필터류), Spherocarb, 순수 목탄등과 같은 몰레큘러시브(molecular sieves)이다. ; (낮은 Tenax TA nanogram 레벨과 Chromosorbs와 Porapak과 같은 다공성 중합물의 5ng에서 50ng 범위 레벨에서). 원래 민감도가 높기 때문에 (because of their high background 때문에) 일반적으로 마지막의 흡착제를 포함한 10리터의 공기 표본에서 민감도는 대개 0.5µg/m<sup>3</sup>까지로 제한되어 있다.

ISO 16017에 열거된 절차는 개별 샘플링 펌프의 유량을 낮추는데 적합하고 **시간 가중평균값**<sup>4)</sup>을 도출한다. 그러나 순간적인 혹은 단기간의 농도변화를 측정하기에는 부적합하다.

## 2. Normative reference

다음에 나오는 기준 문서는 이 문서의 참고사항들에서 ISO 16017을 구성하고 있는 조항들을 포함하고 있다. 날짜가 표시되어 있는 참고사항들에 대해서는 어떤 개정이나 수정도 하지 않는다. 그러나 ISO 16017에 기초한 부분들은 아래 나오는 표준화 문서 중 가장 최근 판의 적용 가능성에 대해 연구하도록 장려된다. 날짜가 없는 자료들에 대해서는 표준화 문서의 최신판을 참고한다. ISO와 IEC의 멤버는 현재 유효한 국제기준 목록을 유지한다.

3) 미국의 린데사(社)가 공업적으로 제조하고 있는 합성제올라이트의 상품명.

천연 제올라이트류와 비슷한 결정구조를 가진 나트륨염으로, 화학식은 일반적으로 Na<sub>m</sub>(AlO<sub>2</sub>)<sub>m</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>n</sub>·xH<sub>2</sub>O로 표시된다(m≤n). SiO<sub>4</sub>사면체와 AlO<sub>4</sub>사면체가 3차원적인 그물구조를 형성하는 결정체이며, 이 그물눈이 공동(空洞)을 형성하고, 그 속에 나트륨이온이 존재한다.

공동은 균일한 지름을 가지며, 가느다란 구멍이 가로 세로로 연결되어 있다. 4A, 5A, 13X 등의 종류가 있는데, 숫자는 가느다란 구멍의 각 지름(Å)을 나타낸다. 그 중에서 5A는 나트륨의 일부가 칼슘으로 치환된 것이다. 산화나트륨(또는 산화칼슘)·산화규소·산화알루미늄·물의 화합물을 150~155℃, 고압하에서 처리하면 몰레큘러시브는 수열합성반응(水熱合成反應)에 의해 생긴다.

지름이 균일한 가느다란 구멍을 다량으로 가져 뚜렷한 흡착력을 보유하므로, 그 이름이 뜻하는 것같이 분자를 체질하는 작용을 가진다. 공업용 흡습제, 이산화탄소나 황화수소 등의 흡수제, 노르말파라핀과 이소파라핀 등의 분자를 체질하는 데 사용된다. 또 탄화수소의 분해·중합·이성질체화(異性質體化)·불균일화 등 각종 촉매활성을 지니며, 또한 촉매운반자로서도 우수하기 때문에, 특히 석유·석유화학 공업용 촉매로서 다량으로 사용되며, 종전의 고(高)옥탄값 가솔린 제조용 실리카알루미나 촉매는 오늘날 이것과 대체되기에 이르렀다. 값이 비싼 것과 내열성에 약간의 문제가 있다.

4) TWA (Time Weighted Average Concentration) : 시간 가중평균농도

1일 8시간 작업을 기준으로 유해요인의 측정농도에 발생시간을 곱하여 8시간으로 나눈 농도

ISO 5725-1:1994, 평가 방법과 결과에 대한 정확도(순수성과 정밀도) - Part 1: 일반적인 원리와 정의

ISO 5725-2:1994, 평가 방법과 결과에 대한 정확도(순수성과 정밀도) - Part 2: 표준 평가 방법의 재생성과 반복성에 관한 평가를 위한 기본적인 방법

ISO 6141:2000, Gas 분석 - gas와 gas 혼합물들을 측정하기 위한 증명서에 필요한 요소.

ISO 6145-1:1986, Gas 분석 - 동적인 체적 측정 방법(dynamic volumetric method)을 이용한 gas 혼합물의 측정방법의 작성 - Part 1: 측정 방법

ISO 6145-3:1986, Gas 분석 - gas 혼합물의 측정방법 작성 - 동적인 체적 측정 방법(dynamic volumetric method) - Part 3: gas의 흐름에 대한 주기적인 분사

ISO 6145-4:1986, Gas 분석 - gas 혼합물의 측정방법 작성 - 동적인 체적 측정 방법(dynamic volumetric method) - Part 4: 지속적인 분사 방법

ISO 6145-5 - , Gas 분석 - 동적인 체적 측정 방법(dynamic volumetric method)을 이용한 gas 혼합물의 측정방법의 작성 - Part 5: 모세관 현상을 이용한 측정 장치

ISO 6145-6 - , Gas 분석 - 동적인 체적 측정 방법(dynamic volumetric method)을 이용한 gas 혼합물의 측정방법의 작성 - Part 6: 주요 오리피스(orifice)<sup>5)</sup>

ISO 6349:1979, Gas 분석 - gas 혼합물의 측정방법 작성 - 삼투압 방법

EN 1076:1997, 작업공간의 공기 - gas와 증기를 평가하기 위한 주입식 흡착 튜브 - 필요 요소와 검사 방법

### 3 Terms and definitions (용어와 정의)

ISO 16017의 목적을 위해서 다음의 용어와 정의를 적용한다.

#### 3.1

#### breakthrough volume (누출량)

5) orifice : 오리피스

유체가 흐르는 관로 속에 설치된 조리개 기구.

유량의 조절·측정 등에 사용되며, 가공하기 쉬워 보통 원형으로 만든다. 지름 D인 유관(流管) 도중에 관의 지름 d(D>d)의 오리피스를 삽입하면, 그 직후에서 유속이 변화하여 압력이 떨어진다(베르누이 정리). 오리피스의 바로 앞과 직후에서의 유체의 압력차를 검출함으로써 유량을 구할 수 있다. 또, 그것을 모니터로 하여 유량을 조절할 수도 있다.

기화기의 연료유(燃料油) 도입부분을 비롯하여 공기·증기·기름·가스 등의 유량제한에 쓰인다. 기체의 공급원과 배기펌프 사이의 관에 오리피스를 덧대면, 그 사이에 적당한 압력기울기를 형성시킬 수 있다.

용리된 증기의 농도가 실험 적용 농도의 5%에 도달하기 이전에 흡착 튜브를 통과할 가능성이 있는 실험 공기의 체적

NOTE 1 누출량은 증기와 흡착제의 종류에 따라 다르다.

NOTE 2 참고자료 [4].3.2를 보라.

#### retention volume (머무름[체재] 부피)

공기 또는 크로마토그래피의 운반기체에 의해 흡착튜브에서 용리되는 유기 증기의 적은 분취량 중 최대 값에서의 용리부피(elution volume).

### 4 Principle (원리)

표본공기의 측정 체적은 흡착 튜브에 의해 연속적으로 빨아 들여 진다 ; 샘플링 할 혼합물에 맞추어 흡착제를 선택한다. 적절한 흡착제를 사용하면 VOCs(휘발성 유기화합물)는 흡착 튜브에 의해 흡수되어 공기로부터 점차 없어지게 된다. (각각의 튜브에)모여진 증기는 가열에 의해 탈착되고 분석과정에서 불활성 운반기체(inert carrier gas)에 의해 모세관과 **불꽃이온화 검출기**<sup>6)</sup> 혹은 다른 적절한 검출기를 갖춘 GC(gas chromatography)로 이동한다. 흡착 튜브에 액체나 증기를 소량 첨가함으로써 분석적인 보정을 할 수 있다.

### 5 Reagents and materials (시약과 재료)

분석 과정에서 허용치의 시약만을 사용한다.

6) 불꽃 이온화 검출기 : flame ionization detector, FID

\* GC에서 가장 널리 사용되고 있으며, 일반적으로 응용되고 있는 검출기

\* 버너를 가지고 있음

→ 관에서 나온 용출물 → 수소와 공기와 함께 혼합 → 전기로 점화 → 연소

→ 대부분의 유기화합물들은 수소-공기 불꽃 온도에서 열분해

→ 불꽃을 통해 전기를 운반할 수 있는 전자와 이온들을 만들

→ 버너 끝과 불꽃위에 있는 포착전극사이에서 수백 V의 전압이 걸려 있음

→ 흐르는 전류( $\sim 10^{-12}$ A)는 높은 임피던스를 가진 연산증폭기로 향함

→ 측정

\* 불꽃 속에서 탄소화합물이 이온화되는 원리는 비록 잘 밝혀지지 않았다

→ 그러나 생성된 이온의 수는 대략 불꽃에서 환원된 탄소원자의 수에 비례

$C$  원자  $\rightarrow CH$  radical 생성  $\rightarrow CH + O \rightarrow CHO^+ + e$

\* FID는 단위 시간당 검출기로 들어가는 탄소원자의 수에 감응

→ ∴ 농도-감응성 보다는 오히려 질량-감응성(mass-sensitive) 장치

\* 카르보닐, 알코올, 할로젠 및 아민과 같은 작용기

→ 불꽃에서 거의 이온을 만들지 않거나 이온을 만들어도 적은 양을 만들

\*  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  및  $NO_x$ 와 같이 연소하지 않는 기체에 감응하지 않음

→ ∴ 물 및 질소와 황의 산화물로 오염된 유기물을 포함한 대부분 유기시료의 분석에 유용하게 사용

\* 물에 대해 감도를 나타내지 않음

→ 자연수 시료 중에 들어있는 오염물질을 검출하는데 특히 유용

\* 장점:

① 감도가 높고( $\sim 10^{-13}$ g/s),

② 선형 감응범위가 넓으며( $\sim 10^7$ g),

③ 잡음이 적다.

④ 고장이 별로 없고, 사용하기 편하다.

\* 단점: 시료를 파괴

매주 혹은 그보다 자주(예를 들어 알콜과 케톤 간에 액화의 조짐이 보이면) 신선한 표준 보정 혼합용액을 준비해야한다.

**5.1 Volatile organic compounds (휘발성 유기화합물),** 측정 목적에 따라 흡착 튜브에 액체를 첨가하거나(5.7과 5.8)또는 증기를 첨가할 수 있다(5.4 ~ 5.6).

**5.2 Dilution solvent (희석 흡착제),** 액체 첨가를 위한 보정 혼합용액을 만들기 위한 것(5.7). 양질의 크로마토그래피를 위해 필요하다. 이는 화합물 간의 상호용리(co-eluting)와 상관없이 있어야 한다(5.1).

NOTE 주로 메탄올을 사용하지만 대안으로 희석 흡착제(예를 들어 에틸 아세테이트나 시클로헥산)를 사용할 수 있다 ; 특히 반응이나 크로마토그래피의 상호 용리(co-elution)의 가능성이 없을 때.

**5.3 Sorbents (흡착제),** 입자의 크기 0.18mm~0.25mm사이 권장(60~80의 그물망(mesh)) 각각의 흡착제는 흡착 튜브에 넣기 전에 비활성 기체의 흐름 속에서 최소한 25℃의 온도에서 밤새(16시간)가열하여 미리 조절해놓아야 한다. 흡착제의 재오염을 막기 위해서는 실내를 냉각시킬 때나 저장, 튜브에 넣는 동안 깨끗한 공기환경에서 보존되어야 한다. 가능한 분해탈착온도(analytical desorption temperature)는 컨디셔닝을 위한 온도보다 낮게 유지해야한다. 제조사에서 이미 포장되어 나온 튜브는 그 자체로 대부분의 흡착제와 필요한 컨디셔닝에 사용 가능하다.

NOTE 1 흡착제 입자의 사이즈는 0.18mm~0.25mm이상의 것을 사용하지만 표 1~6에 주어진 누출(breakthrough)특성의 영향을 받을 것이다. 더 작은 크기의 흡착제 범위는 배압(back-pressure)의 문제 때문에 권장하지 않는다.

NOTE 2 흡착제에 대한 기술은 부록 C에 나와 있으며 흡착제 선택의 가이드는 부록 D에 나와 있다. 상당 흡착제가 사용될 것이다. 흡착제의 상태 조절에 대한 가이드와 분해탈착 변수는 부록 E에 나와 있다.

**5.4 Calibration standards (보정 기준),** 우선적으로 필요량만큼의 화합물을 표준 공기환경 상태에서 흡착튜브에 넣어 준비(5.5와 5.6참고)한다. 이 과정은 실질적인 샘플링 과정과 가장 흡사하다.

이 준비 방법으로 실행할 수 없다면 기준은 액체 첨가 과정에 기초하며(5.7과 5.8참고) 첨가 기술의 정확도 등을 기초로 한다.

a) 질량과 체적에 관한 주요 기준을 충분히 유추할 수 있는 첨가 정도를 제공하는 절차를 이용함으로써 확립

b) 참고자료와 비교함으로써 확립, 가능하면 표준 공기환경이나 참고 측정과정의 결과를 이용하여 기준을 제시

NOTE 5.6과 5.7, 5.8에 제시된 loading 범위는 강제적인 것은 아니며 2리터의 표본에 관한 조항 1에 주어진 적용범위에 가깝다. 낮은 농도를 측정하기 위해서 더 큰 체적을 사용할 때의 구체적인 적용을 위해서는 다른 loading 범위가 좀더 적절할 것이다.

### 5.5 Standard atmospheres. (표준 공기 환경)

과정을 숙지함으로서 주요 혼합물의 정해진 농도에서의 표준공기환경을 준비한다. ISO 6141, ISO 6145와 ISO 6349의 부분에 서술된 방식이 적당하다. 그 과정이 질량과 체적의 주요 기준에 맞게 생성되는 농도에 관한 유추과정 수립에 적용되지 않거나 생성된 시스템의 화학적 자생력이 보장되어 있지 않다면 농도는 독립적인 과정을 사용하도록 승인한다.

### 5.6 Standard sorbent tubes(표준 흡착 튜브), 표준 대기에서 소량 첨가에 의해 load

흡착 튜브 속에 (예를 들어 펌프 등에 의해)정확하게 주어진 부피만큼의 측정 공기를 통과 시킴으로서 load된 흡착튜브를 준비한다. 샘플링한 공기의 체적은 분해흡착튜브의 누출량을 초과해서는 안 된다. loading 후에 튜브를 분리하여 봉한다. 각각의 샘플을 하나씩 신선한 상태로 준비한다.  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 과  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 상응하는 표준 공기를 준비한다. 작업장의 공기 측정을 위해서는  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 의 공기가 들어있는 100ml, 200ml, 400ml, 1l, 2l, 4l의 흡착튜브를 load한다. 주변 공기나 실내 공기를 측정하기 위해서는  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 공기가 들어 있는 100ml, 200ml, 400ml, 1l, 2l, 4l, 10l의 흡착튜브를 load한다.

### 5.7 Solution for liquid spiking (액체 첨가를 위한 용액)

#### 5.7.1 Solution containing approximately $10\text{mg}/\text{ml}$ of each liquid component. (개개의 액체 화합물 약 $10\text{mg}/\text{ml}$ 를 포함하는 용액)

100ml 플라스크에 약 1g의 물질을 정확하게 무게를 달아 넣고, 휘발성이 가장 적은 물질 부터 넣는다. 100ml까지 희석 흡착제를 채우고(5.2) 흔들어서 섞는다.

#### 5.7.2 Solution containing approximately $1\text{mg}/\text{ml}$ of liquid components. (액체 화합물 약 $1\text{mg}/\text{ml}$ 을 포함하는 용액)

50ml의 희석 흡착제를 100ml의 플라스크에 넣는다. 5.7.1의 결과물을 첨가하고 희석 흡착제를 100ml까지 채운 후 흔들어서 섞는다.

#### 5.7.3 Solution containing approximately $100\mu\text{g}/\text{ml}$ of each liquid component. (개개의 액체 화합물 약 $100\mu\text{g}/\text{ml}$ 를 포함하는 용액)

100ml 플라스크에 약 10g의 물질을 정확하게 무게를 달아 넣고, 휘발성이 가장 적은 물질 부터 넣는다. 100ml까지 희석 흡착제를 채우고(5.2) 흔들어서 섞는다.

#### 5.7.4 Solution containing approximately $10\mu\text{g}/\text{ml}$ of liquid components. (액체 화합물 약 $10\mu\text{g}/\text{ml}$ 를 포함하는 용액)

50ml의 희석 흡착제를 100ml의 플라스크에 넣는다. 5.7.3의 결과물 10ml를 첨가하고 희석 흡착제를 100ml까지 채운 후 흔들어서 섞는다.

### 5.7.5 Solution containing approximately 1mg/ml of gas components. (기체 화합물 약 1mg/ml을 포함하는 용액)

기체 화합물에 대해서는(예를 들어 에틸 옥시드) 다음과 같은 높은 레벨의 보정 용액을 준비해야 한다. 대기압 하에서 순수 gas를 담고 있는 gas실린더로부터 작은 플라스틱 gas주머니를 채움으로서 gas를 획득한다. 1ml의 순수 gas가 들어있는 1ml의 밀폐주사기(gas tight syringe)에 순수 gas 1ml를 채우고 주사기의 밸브를 닫는다. 2ml의 격막유리병(septum vial)에 2ml의 희석 흡착제를 첨가한 후 뚜껑을 닫는다. 격막유리병의 뚜껑을 통해 주사기의 바늘 끝을 희석 흡착제에 삽입한다. 밸브를 열고 희석 흡착제가 주사기 속으로 들어갈 수 있도록 플런저를 천천히 빼낸다. 희석 흡착제 내에서 일어나는 기체 용해 반응에 의해 내부는 진공상태가 되며 주사기는 흡착제로 가득 차게 된다. 흡착제를 플라스크로 되돌린다. 격막을 용액으로 두 번 씻어낸 후 세척액을 플라스크에 담는다. 기체법칙에 따라 추가된 기체의 질량을 계산하고(STP-standard temperature and pressure 표준 온도와 기압상태: 273,15K and 1013,25hPa-에서 1mole의 기체는 22.4리터의 부피를 갖는다)특정한 순수 기체화합물의 차이점은 수정한다.

### 5.7.6 Solution containing approximately 10µg/ml of gas components. (기체 화합물 약 10 µg/ml를 포함하는 용액)

에틸 옥시드와 같은 기체의 경우 다음과 같은 낮은 레벨의 보정 용액을 준비한다. 대기압 하에서 gas 실린더로부터 작은 플라스틱 gas 주머니를 채움으로서 순수 gas를 획득한다. 10µl의 밀폐주사기(gas-tight syringe)에 10µl의 순수 gas를 채우고 주사기의 밸브를 닫는다. 2ml의 격막 유리병을 이용하여 2ml의 희석 흡착제를 첨가한 후 유리병의 뚜껑을 닫는다. 유리병의 뚜껑을 동해주사기 바늘의 끝을 희석 흡착제에 넣는다. 밸브를 열고 희석 흡착제가 주사기 속으로 들어갈 수 있도록 플런저를 서서히 빼낸다. 희석 흡착제 내에서 일어나는 기체 용해 반응에 의해 내부는 진공상태가 되며 주사기는 흡착제로 가득 차게 된다. 용액을 플라스크로 되돌린다. 격막을 용액으로 두 번 씻어낸 후 세척액을 플라스크에 담는다. 기체법칙에 따라 추가된 기체의 질량을 계산하고(1mole의 기체는 22.4리터의 부피를 갖는다) 특정한 순수 기체화합물의 차이점은 수정한다.

### 5.8 Standard sorbent tubes loaded by liquid spiking. (액체 첨가에 의해 load된 표준 흡착 튜브)

다음과 같이 표준용액 분취량을 깨끗한 흡착 튜브에 주입하여 load된 흡착튜브를 준비한다. 비활성 purge gas와 격막을 통해 주입된 적정 표준 용액의 일부 1µl~4µl가 흘러갈 수 있도록 흡착 튜브를 주입 유닛(6.10)에 맞춘다. 일정한 시간이 지난 후에 분리하여 튜브를 봉한다. 각각의 표본 묶음과 함께 신선한 표준 용액을 준비한다. 작업장 공기환경의 경우 5.7.1, 5.7.2, 5.7.5의 용액 1µl~5µl로 흡착 튜브를 load 한다. 실내와 주위 공기환경을 위해서는 5.7.3, 5.7.4, 5.7.6의 용액 1µl~5µl로 흡착 튜브를 load 한다.

NOTE 메탄올의 경우 5분간의 제거시간(purge time)동안 purge gas의 유량은 튜브로부터 용해된 흡착제 대부분을 제거하기에 적합하도록 측정되어 왔다. 다른 희석 흡착제가 사용된다면 그 상태는 실험상으로 측정되어야 한다.



## 6 Apparatus.

일반적으로 실험실의 기구(장치)들과 다음에 열거된 것을 사용한다.

### 6.1 sorbent tubes, 열탁착장치와 겸용으로 사용된다.

일반적으로 흡착튜브는 스테인레스 스틸로 만들어졌다. 6.3mm(1/4인치)OD, 5mm ID와 길이 90mm이다. 다른 치수의 관들이 사용되었지만, 관의 치수를 기본으로 한 표1,6에서 SSV를 나타내었다. 황성분이 포함된 화합물로서 화학 변화가 일어나기 쉽기 때문에 유리로 안감을 대거나 유리관(일반적으로 4mm ID)들을 사용한다. 예를들어 관의 한쪽 끝은 샘플링이 들어간 곳의 끝으로부터 약10mm 원으로 표시된 곳을 기록한다. 이런 관들은 한쪽을 막거나 흡수 패드가 흡착제내에서 뜨거워지므로 여분의 흡착제를 미리 준비해야하고 최소한 14mm의 틈은 매우 낮은 펌프유량으로 입구에 퍼지기 때문에 서로의 말단부분을 최소로하는 오차를 유지해야한다. 관은 200mg에서 1000mg의 흡착제를 포함하고 있으며, 흡착된 농도에 따라 달라진다. 흡착제는 스테인레스 스틸망 혹은 유리섬유마개로부터 보호된다. 단일관에서 하나 이상의 흡착제가 사용되어진다면, 흡착제는 흡착력의 증가를 위해 조정되어야하고 unsilanized 유리섬유를 분리해야한다.

흡착제는 단일관에서 최대탁착온도(50℃)이상에서 두지마라 그렇지 않으면 검사하기에 불가능하거나 적어도 흡착제가 퇴보되는 것 없이 충분히 많은 안정된 흡착제가 채워져 있어야 한다.

### 6.2 Sorbent tube end caps

튜브는 EN 1076:1997, 세부조항 5.6에서 요구되어진 것에 따라 정하거나 테두리가 PTFE로 된 금속나사뚜껑과 같은 것이다.

### 6.3 Sorbent tube unions

두개의 흡착 튜브는 PTFE로된 금속나사뚜껑 연결장치가 지속적으로 샘플링하는 동안에 연결될 것이다.

**6.4 Syringes,** 정밀한 10 $\mu$ l의 액체 주사기는 눈금이 0.1 $\mu$ l씩 되어있고 정밀한 10 $\mu$ l의 가스가 새지 않는 주사기는 눈금이 0.1 $\mu$ l로 되어있으며 정밀한 1ml의 가스가 새지 않는 주사기는 눈금이 0.01ml씩 되어있다는 것이 포함되어있다.

### 6.5 Sampling pump

The pump는 EN1232[10] 또는 이와 동등한 조건을 만족하는 것이다.

The sampling pump는 지역안전법규를 따른다.

**6.6 plastic or rubber tubing**, 길이는 약 90cm, 만약에 이것을 사용하면 pump, sample tube, tube holder가 기밀해진다.

sampling tubes는 플라스틱 또는 고무재질의 관류는 흡착제의 상류에 사용되지 않는다. 이러한 관류가 사용되면 오염물질이 투과하거나 샘플된 VOCs가 흡수될 수 있다.

**6.7 Soap-bubble meter**, pump의 구경측정을 위한 다른 적당한 장치 유량계는 결과적으로 근본적인 표준 유량을 측정할 수 있어야 한다.

**6.8 Gas chromatograph**, 불꽃 이온화, 광이온화 검출기, 질량 분광계 또는 다른 적당한 검출기, 적어도 SN비(잡음비, 신호대)가 5대 1인 0.5ng 톨루엔의 주입이 가능한 검출기가 적당하다.

가스 크로마토그래피는 다른 성분으로부터 중요한 분석들을 분리할 수 있는 모세관의 컬럼을 가지고 있다.

\*The gas chromatograph는 무기화합물의 기체 및 끓는점이 낮은 탄화수소의 분석에 적합하다. 나선모양으로 감은 금속관(column이라 한다)에 활성탄, 실리카겔, 실리콘, 그리스를 삼투시킨 규조토 등을 충전하고, 여기에 분석하고자 하는 시료를 흡착시킨 다음 수소·헬륨 등의 기체(carrier라 한다)를 통과시키면 컬럼의 다른 끝에서 시료의 성분기체가 흡착성이 작은 성분부터 차례로 단리(單離)되어 나온다. 이때, 컬럼에 들어가기 전의 캐리어기체와 컬럼에서 나온 기체의 열전도율을 비교하여 검출한다.

**6.9 Thermal desorption apparatus**, 흡착튜브가 2단계의 열탈착이 되면서 탈수된 증기로 변한 희가스가 가스크로마토 그래프안에서 흐른다.

일반적인 기구들은 탈착된 튜브를 가지고 있기 위해 기계적인요소가 포함되어야 한다. 그것은 뜨거워 지며 동시에 운반된 희가스를 제거되어진다. 탈착온도와 시간은 운반가스의 유량과 같이 적당해야한다. 자동으로 샘플튜브를 저장하는 것, 누출 시험하는 것, cold trap을 이동통로에 탈착된 샘플에 집중시키는 것으로써 기구들은 가중된 특징들을 통합해야 된다. purge gas가 포함된 탈착된 샘플은 가스 크로마토그래피와 뜨거워진 이동통로를 거쳐 모세관의 컬럼까지 통한다.

\*열탈착법 Thermal Desorption (물리적 방법)

준휘발성유기화합물을 대상으로 하며 오염도양을 굴착해 100~550℃로 가열하여 유기오염물을 탈착, 기화시켜 다른 독립된 장치에서 따로 모아 처리하는 방법이다. 중금속으로 오염된 토양의 처리에 있어서 처리 후에도 중금속이 남아있을 수 있고, 다른 물질과 반응하여 유해한 부산물의 형태로 변환될 수 있다.

**6.10 Injection facility** 액체총진의 표준을 마련하기 위해 사용되는 장비.

약정된 가스 크로마토그래피 주입구는 샘플튜브규격을 갖추기 위해 사용되어질 것이다. 이것은 상황에 따라서 사용되어질 수 있거나 개별적으로 설치될 수 있다. 운반가스통로에 주입하기 위해서 지속적으로 유지되어야한다. 주입구 뒤쪽은 샘플튜브를 고정하기 위해서 주위 환경에 적응해야 한다. 이것은 O-ring seal로된 연결을 압축하기에 편리하다.

## 7 Sample tube conditioning

튜브들은 탈착온도나 가끔은 분해된 탈착온도(부록E)위에서 재조정 되어진다. 일반적인 조절시간은 100ml/min인 운반가스 유량으로 10분이다. 운반가스 유량은 샘플링하는 동안에는 흐르는 방향과 반대로 흐른다. 튜브들은 다음과 같은 사항을 분석해야한다. 정기적으로 분석한 매개변수를 사용하고 충분히 작은 열탈착 blank를 지킨다. 만약에 blank가 얻어질 수 없다면 튜브는 이러한 과정이 반복되므로 재조정 되어진다. 일단 샘플을 분석했다면 튜브는 또 다른 샘플을 즉시 수집하는데 재사용되어질 것이다. 그러나 튜브들이 재사용되기 전에 확대 해석한 부분이 남아있는지 다른 분석을 위한 샘플링이 관찰되어있는지 열탈착 blank가 타당한지 확인해 봐야한다. 튜브는 샘플링하거나 조정되어지는데 동안에 사용되어지지 않을 땐 결합된 PTFE 쇠고리와 기밀한 컨테이너에 저장된 금속 나사뚜껑으로 봉인한다.

## 8 Calibration of pump

대표적인 흡착튜브에 직렬로 연결되는 펌프의 구경을 측정한다. 외부의 구경측정기를 사용한다.

구경을 잰 유량계의 한쪽 끝은 적당한 작동이 확보되는 대기압이 되어야 한다.

## 9 Sampling

선택된 흡착튜브는 합성되거나 혼합된 샘플이 되기 위해 사용된다. 적당한 흡착제들은 부록 D에 제시해 주고 있다.

만약에 하나 이상의 튜브가 사용되어진다면 튜브는 하나의 유닛으로 조립해야한다.

펌프는 흡착관까지 접촉되거나 관은 플라스틱이나 고무재질의 관류이어야 하며 강력한 흡착제로 연결된 관은 펌프 가까이에 있어야 한다.

개별 샘플링이 사용되어질 때 채널링(가속된 입자나 이온이 원자로 등에서 매질을 투과할 때의 결정 격자 사이의 통과 능력)된 튜브조립을 최소화하는 것은 breathing zone에서 수직적으로 설치해야 한다. 펌프는 최소한의 불편함을 첨부해야한다. 고정된 위치에서 샘플링하기위해서 사용되어졌을 땐 적당한 샘플링을 선택해야 한다.

펌프를 작동하고 유량을 조절하면서 선택된 샘플양은 사용시간에 얻어져야한다. 휘발성 유기체의 혼합물을 얻기 위해 선택된 기준공기 샘플양을 1ℓ에서 10ℓ까지 가득 채운다. 총 샘플된 것이 1mg을 넘는다면 그 샘플된 양은 과부하가 발생할 수 있으므로 적절히 줄여야 한다.

다공성의 polymer의 누출량은 대기온도를 바꾸는 것이고 온도에서 10℃씩 올라가면 약 2가지의 요인에 의해서 조절해야한다. 그것은 또한 샘플유량에 의해서 변하고 대체로 50ml/min아

래에 있거나 500ml/min위에 있는 유량들은 조절해야한다. 탄소분자체의 누출량은 온도나 유량에 의해서 덜 민감하지만 휘발성 유기증기의 농도가 높거나 상대습도가 높을 때에는 대체로 줄어든다. 적절한 안전율을 주기위해서는 SSV는 5%의 누출량이 70% 또는 보유량의 50%이상이 되지 않아야 된다. 표 1과 6에서 보유량과 SSV에 대한 일반적인 값을 제시해 주고 있다. 이러한 값은 부록 B에 있는 크로마토그래피 분석방법에 의해서 설명되어져 있다.

만약에 표1의 항목에 없는 화합물에 대해서 SSV를 추정한다면 이러한 추정치는 단지 화학 그룹에서의 2가지 항목에 나타난 동족 화합물사이에 놓인 것으로써 추정이 가능하다. SSV의 다른 모든 경우들은 적당한 실험들에 의해서 분석되어질 것이다.

펌프가 작동할 때 적절하다면 읽어들이 값은 기록하거나 시간, 온도, 유량과 기압계의 압력을 주의해서 기록한다. 샘플링 기간의 마무리단계에서는 유량, 측정된 값, 시간, 온도, 기압계의 압력을 주의해서 기록하고 펌프를 끈다.

샘플 튜브를 떼어놓은 다음 양끝을 압축하여 밀봉한다. 이러한 밀봉은 기밀해야한다. 그 튜브에는 알아보기 쉽게 라벨을 붙여놓는다. 용매제가 포함된 페인트나 매직펜 또는 접착력이 있는 라벨은 튜브의 라벨에 사용할 수 없다.

만약에 샘플들을 8시간 내에 분석할 수 없다면 깨끗하고 외관에 불순물이 묻지 않고 냉각 밀봉된 금속 또는 유리 용기로 그것들을 옮긴다. 샘플러는 가능한 옮기는 과정에서 냉각된 상태여야 한다.

샘플러의 상태의 변화들을 표현하기를 원한다면 샘플링하는 동안에는 지속적으로 공기의 온도와 기압계의 압력을 기록해야 한다.

Filed blanks는 샘플링하는 동안에 사용되어진 동일한 튜브들의 사용과 샘플 튜브들이 실질적인 샘플기간을 제외한 것처럼 같은 취급과정이 제시된 것에 의해서 마련되어야 한다.

## 10 Procedure (절차)

### 10.1 Safety precautions (안전 예방책)

ISO 16017에서 이 부분은 이용과 관련된 안전 관심사의 모든 부분을 다루려는 목적이 아니다. ISO 16017의 이 부분은 이용하기 전 알맞은 건강과 안전 습관을 확립하고, 규정 제한에 대한 적응성을 결정하기 위한 사용자의 책임을 위한 것이다.

### 10.2 Desorption and analysis (탈착과 분석법)

친화성 열 탈착 장치(a compatible thermal desorption apparatus)에 흡착튜브(sorbent tube)를 설치하라. 흡착제나 가스 색층분석(GC, gas chromatography)으로 고정해 놓은 상에서 열산화작용(thermal oxidation)으로부터 발생하는 색층분석 인공산물(chromatographic artefacts)을 피하기 위하여 튜브에서 공기를 제거하라. 이 장에서 가스 흐름 방향은 샘플링

하는 동안 역류시켜야 한다. 다시 말하면 튜브의 표적되어 있는 끝은 가스 색층분석관 흡입구에 가장 가까워야 한다. 일반적으로 튜브를 통한 가스유량은 최적의 탈착 효율(optimum desorption efficiency)을 위하여 30~50ml/min으로 관리해야 한다.

최초의 공기 정화(air purge)는 일반적으로 가스 흡입관에서는 10배의 튜브 체적(즉, 20~30ml) 이용을 튜브에서는 공기량(2~3ml)을 완전하게 배기되도록 하는 것이 필요하다. 그러나 만약 강한 친수성의 흡착제가 필요로 하다면, 냉각 트랩(cold trap)을 방해하는 얼음 형성을 방지하기 위하여 흡착된 공기와 물을 감소시켜야하며 더욱 큰 정화가 필요하다. 정화 기간 동안 주의할 점은 튜브의 열을 최소화하는 것이다.

흡착된 샘플은 가스이며 몇몇 ml 단위의 체적으로 발생한다. 그래서 모세 분리관에 의한 GC 분석(capillary GC analysis)이전에 농축(pre-concentration)하는 것은 필수적이다. 이는 작고, 차가운 2차 흡착 트랩을 이용하면 이를 수 있다. 영역이 넓어지는 것을 최소화하고 모세 분리관이 용화되는 최대치를 만들기 위하여 낮은 유량(5ml/min 미만으로)으로 빠르게 충분히 흡수제를 제거한다. 대안으로, 비어있는 2차 트랩이나 유리구슬처럼 활성이 없는 재질을 나르는 트랩은 농축한 것을 샘플로 이용할 수 있다. 그러나 이러한 트랩들은 전형적으로 -100℃이하의 냉각을 요구한다. 또 다른 대안으로는 흡수제를 제거하는 샘플은 직접적으로 재초점할 수 있는 가스 색층분석(1차 탈착, single-stage desorption)까지 통과할 수 있다. 이는 대체로 높은 상 비율 칼럼(a high phase-ratio column)(예를 들어, 5µm 필름 두께, 0.2~0.32 mm ID)과 반을 둘러싼 시작 온도를 요구한다.

만약 2차 흡착 냉각 트랩을 이용할 수 없고, 영하의 모세관 냉동초점 온도(sub-zero capillary cryofocusing temperatures)를 분석가들이 농축하여 이용한다면, 모세관 튜브를 블록화하고 열 탈착 과정을 멈추게 하는 얼음 형성을 방지하기 위하여 물은 탈착되기 전에 샘플 튜브로부터 완전하게 제거할 수 있다.

NOTE 1 2차 냉각 트랩은 이용할 수 없고, 30~50ml/min 의 최적의 샘플 튜브 탈착 흐름비를 이용한다면, 30~50:2의 최소 조각 비율은 대체로 높은 분해 모세 분리관(capillary columns)의 작동을 요구한다. 그러므로 1차 열 탈착(single-stage thermal desorption)은 민감성을 제한한다.

탈착 상태에서 샘플 튜브에서의 탈착은 완전해야하고, 이용하는 샘플에 손실이 없도록 2차 트랩에서 조정해야한다. 일반적인 매개 변수는 다음과 같다.

탈착 온도	Desorption temperature	250℃ ~ 325℃
탈착 시간	Desorption time	5분 ~ 15분
탈착 유량	Desorption flowrate	30ml/min ~ 50ml/min
냉각 트랩 -low	Cold trap low	+20℃ -180℃, 냉각 트랩에 형태에 의존한다
냉각 트랩 -high	Cold trap high	250℃ ~ 350℃
냉각 트랩 흡착	Cold trap sorbent	일반적으로 튜브와 같은 40~100mg
운반 가스	Carrier gas	helium(헬륨)
분열 비율	Split ratios	샘플 튜브와 2차 트랩 사이와 2차 트랩과 분리관(적용할 수 있다면) 사이의 Split ratios는 기대되는 대기 농도에 따라 선택해야 한다. (은열 탈착 기기의 개별적 제조업체의 안내를 참조하라.)

물질에서 흡착에 따른 탈착 온도를 이용하라. Table 1~6을 권장한다. 그러나 개별적 흡착은 annexes D와 E에서 주어진 최대 탈착 온도를 지켜라. 그들의 잠재적인 열 불안정(potential thermal instability), 2차와 3차 휘발성의 아민(secondary and tertiary volatile amines), 한 개나 두개의 탄소 원자를 가진 몇몇 많은 할로겐화한 화합물(polyhalogenated compounds) 때문에, 특히 브롬으로 처리한 화합물(brominated compounds)은 약간의 열 분해(thermal degradation)를 겪는다.

샘플의 기류 방향 온도(flow path temperature)(선의 온도를 이동시켜라)는 물질 농도 보호를 위하여 충분히 높게 조절하라. 그러나 너무 높으면 분해(degradation)를 일으킨다. 주위의 공기 온도에서 증발 현상이 발생하는 충분히 휘발성의 물질은 일반적으로 150°C 이상의 기류 방향 온도(flow path temperatures)에서 요구하면 안 된다. 그러나 몇몇 형태의 기계는 더욱 높은 온도를 요구한다.

휘발성 유기화합물의 분석으로 가스 색층분석(GC)을 이용하라. 색층분석 칼럼의 변화는 이러한 화합물의 분석에 이용할 수 있다. 선택은 크게 색층분석에서 간섭하는 현상에 따라서 다른 화합물에 의존한다.

NOTE 2 Table 8의 데이터를 정하여 이용할 때, 일반적인 예로 50m×0.22mm 퓨즈를 단 이산화규소관(fused silica columns)과 얇은 필름(1µm~5µm) dimethylsiloxane(디메틸실록산)이나 7%의 cyanopropyl(시노프로필), 7% phenyl(페닐), 86%의 methylsiloxane(메틸실록산)로 구성된 50m의 고정시켜놓은 상이 있다. 대체로 이 관의 작동 상태는 초기 잡은 시간에 10min에 50°C이므로 5°C/min에서 50°C~250°C의 온도 프로그램이다.

선택적으로 모세 분리관(capillary column)에서 방수하지 않은 길이만큼 비활성화 시킨 퓨즈로 된 이산화규소는 이동하는 선을 통하여 뒤쪽 좁은 통로로 빠져나간다. 이 선은 열 탈착 장치로부터 가스 색층분석(GC)을 하여 나타난다. 이는 냉각 트랩에서 흡착하기 위하여 가능한 가까이에 도달하거나 1차 탈착기(a single-stage desorber)의 튜브로부터 가능한 가까이에 위치시킨다. 내부의 튜브는 화학 작용을 일으키지 않고, 쓸모없는 체적은 최소화 할 것이다. 스플릿 밸브(split valves)는 2차 트랩의 흡입구나 배출구에 편리하게 위치시킨다. 2차 트랩의 배출구의 스플릿 밸브는 이동 라인의 흡입구나 배출구에 위치시킨다. Split ratio는 규칙에 따른다.

NOTE 3 더 낮은 split ratios는 환경(대체로 1:1~ 10:1)과 실내 몇몇 작업장 공기 측정(대체로 1:1 ~ 20:1)에 적당하다. 대부분의 작업장 공기 측정을 위한 더 높은 split ratios는 일반적으로 100:1에서 1000:1이다.

single column에서 유지시간(retention time<sup>7)</sup>)의 일치를 특성을 증명한 것이라고 생각해서는 안 된다.

---

7) 유지시간 (retention time) : 실제로 어떤 조건에서 시료를 분리관에 도입시킨 후, 그 중의 어떤 성분이 검출되어 기록지상에 peak로 나타날 때까지의 시간이다.

### 10.3 Calibration (보정, 검증)

열 탈착과 가스 색층분석(GC)에 따른 각각의 흡착 튜브 기준(5.6 또는 5.8)을 분석하라.

물질 최고점의 면적(peak area)에서  $\log_{10}x$ 을 프린트하고, 흡착 튜브 기준인  $\mu\text{g}$ 인 물질 질량의  $\log_{10}x$ 에 대비하여 수직 스케일의 blank levels를 정정하고, 해결책 5.7이나 대기 5.4를 참고하여 보정 그래프를 준비하라.

NOTE 보정 범위가 크기 (미분방정식의)계수보다 작을 경우, 자료의 대수는 불필요하다.

### 10.4 Determination of sample concentration (표본 농도의 측정)

10.2의 보정 기준을 표시하여 샘플과 샘플 공백을 분석하라. 최고 면적을 결정하고, 탈착된 샘플로부터의 물질 질량을 보정 그래프로부터 읽어라.

### 10.5 Determination of desorption efficiency (탈착 효율의 측정)

탈착 효율은 기준 해결에 도입된 약수나 직접적으로 가스 색층분석에서 대기를 얻어 흡착 튜브 기준(10.3)의 색층분석 반응과 비교하여 체크해야 한다. 이와 같이 10.3의 물질 질량에 대한 최고 면적의 2차 보정 그래프를 준비한다. 그러나 해법 5.7이나 대기 5.6을 이용하여 준비한다. 이 보정은 10.3과 같거나 거의 비슷해야 한다. 탈착 효율은 직접적으로 주입되어 상응하는 액체 기준으로 나누어진 튜브 기준의 반응이다. 만약 탈착 효율이 95%보다 낮을 경우, 탈착 매개 변수를 그에 맞게 변화해야 한다.

NOTE 열 흡착제의 몇몇은 직접적인 액체 주입 기계를 가지고 있지 않다. 이 경우, 가득찬 튜브(loaded tubes?)를 보정 대기 혼합물로부터 준비할 때, 탈착 효율은 n-hexane(n-헥산)(5.1)인 중요한 물질의 보정 그래프를 비교하여 체크해야 한다. n-hexane(n-헥산)과 관련되어 중요한 물질 보정 그래프의 기울기 비율은 화합물의 반응요소에 관련되어 같아야 한다. 다른 화합물의 반응 요소는 효율적인 탄소 수[3]에 따라 대략적으로 계산한다. 보정 그래프의 기울기 비율이 10%인 관련된 반응 요소와 일치하지 않는다면, 탈착 매개변수를 그에 맞게 변화시켜야 한다.

## 11 Calculations (추정/계산)

### 11.1 Mass concentration of analyte (물질의 질량 농도)

샘플 공기의 물질에서 농도를 계산하라. 식 (1)에 의하면  $C_m$ 은  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

$$C_m = \frac{m_F - m_B}{V} \cdot 1000 \quad (1)$$

$m_F$  는 6.3에서 찾을 수 있는 실질적 샘플을 표현하는 물질의 질량이다. 단위는  $\mu\text{g}$ 이다. (하나 이상을 이용할 경우 튜브의 합)

$m_B$  는 비어있는 튜브에서의 물질의 질량이다. 단위는 mg이다.(하나 이상일 경우 튜브의 합)  
 $V$  는 샘플의 체적이다. 단위는  $l$  (litres)

NOTE 1 만약  $m_F$  와  $m_B$ 을 mg으로 표현할 경우, 결과인 농도  $c_m$  은  $mg/m^3$ 이다.

NOTE 2 만약 농도 표현을 원한다면, 다음의 상태로 변화해야 한다. 예를 들어 25°C 와 101kPa 이라면 다음과 같다.

$$C_c - C_m \cdot \frac{101}{P} \cdot \frac{T + 273}{298} \quad (2)$$

$C_c$  는 공기 중 샘플 물질의 농도이다. 다음과 같은 상태로 변화할 수 있다.  $\mu g/m^3$

$P$  는 공기 중 샘플의 실질적 압력이다. 단위는 kPa(kilopascals)

$T$  는 공기 중 샘플의 실질적 온도이다. 단위는 °C(degrees Celsius)

## 11.2 Volume concentration of analyte (물질의 부피/체적 농도)

기존의 인습적인 접근 방법과 달리 공기 중 물질의 체적 분류(分溜)를  $c_V$ 로 계산하라. 다음 식(3)에 의하면 단위는  $\mu l/m^3$ 이다.

$$c_V = c_m \cdot \frac{24.5}{M} \cdot \frac{101}{P} \cdot \frac{T + 273}{298} \quad (3)$$

24.5는 25°C와 101kPa인 mol의 체적이다.

$M$  은 중요한 물질의 분자의 질량이다. 단위는 g/mol

NOTE 만약  $c_m$  을  $mg/m^3$ 로 표현한다면, 결과 농도  $c_V$  는  $ml/m^3$ 가 될 것이다.

## 12 Interferences (간섭)

가스 색층분석(GC)법을 실시하는 동안 중요한 물질에서 같거나 거의 같은 유지시간 (retention time)을 갖는 유기화합물은 대립할 것이다. 간섭은 가스 색층분석 기동과 상태의 적당한 선택과 이용하기 전에 흡착 튜브와 분석적 시스템의 엄격한 상태에 의해 최소화 할 수 있다.

ISO 16017의 이 부분은 다공성 중합체와 Carbopack/Carbotrap 으로써 모든 물에 대한 흡착제에서 상대습도(RH, relative humidity) 95% 이상의 대기를 이용할 때 적당하다. 물에 대하여 더 적은 경우, 단순한 숯과 숯으로 만든 그램분자를 조사하는 강한 흡착제는 대기에



서 상대습도 65% 이상의 습도로 이용할 수 있다. 주의할 점은 분석적인 과정에서 간섭하는 물을 방지해야 한다.

NOTE 1 적당한 수분 제거나 절차의 감소는 다음을 포함한다. : 샘플 스플릿팅(sample splitting) 2차 트랩에 초점하고 0.5l의 공기 체적 샘플 감소로부터의 습기는 'dry purging'이다.

NOTE 2 처음으로 blank values의 좋은 레벨을 보여주는 흡착 튜브는 추후 인공산물의 형성의 증가를 가져온다. 물에 있는 Ozone[11,17]과 nitrogen oxides는 Tenax TA<sup>8)</sup>에 의해 손상된다. Benzaldehyde와 acetophenone은 이러한 반응에서 산출이 가능하다. 만약 Tenax TA가 필요한 안정성을 보여줄 수 없다면, 공격적인 가스의 출현 때문이다. Carboxpack은 흡착에 이용된다. [12,13,14]

ozone과 nitrogen oxides는 측정된 화합물에 반응한다. 한 가지 다음 사항을 고려해야 한다. 만약 이러한 종류의 가스가 공기 샘플중에 더욱 많은 양으로 존재한다면, 가능한 한 작은 샘플 체적을 선택해야 한다.

### 13 Performance characteristics (성능/효율 특성)

효율 특성의 예로 포괄적이고 불확실하고 정밀한 저장과 blank 레벨은 annex F 와 Table 7~13에서 보여주는 ISO 16017의 이부분에서 묘사하는 과정을 테스트 할 때 얻을 수 있다.

### 14. Test report (실험 리포트)

Test report는 최소한 다음과 같은 정보를 포함해야한다.

- a) 샘플의 특성
- b) ISO 16017의 해당 부분과 추가 기준.
- c) 샘플링 위치, 샘플링 시간과 펌핑 된 공기량
- d) 11항에서 요구된다면, 기압과 온도를 명시한다.
- e) 검사 결과
- f) 측정 중 발견 된 특이한 특성
- g) ISO 16017의 이 부분에 포함되지 않은 작용이나 국제 기준에 추가적으로 만들어지거나 제안된 참고자료.

---

8) Tenax TA : 건축자재에서 발생하는 VOCs는 주로 Tenax 튜브를 이용하여 포집하고 열탈착 장치로 분석 전 처리를 한다. 그 다음에 GC에 적당한 컬럼을 사용하여 분석하거나 GC/MS를 이용하여 분석한다.

## 15. Quality control (품질 관리)

품질관리에 대한 적절한 수준이 채택되어야 한다. 표[5]를 참고하십시오.

만약에 artefact peaks 가 중요도 분석 지역의 10%이하면 field tube blank는 사용이 가능하다.

벤젠, 톨루엔, 크실렌의 blank level은 6.1과 7에 명시된 것과 같은 순수 조절관(unspiked, conditioned tubes)에 대해서 결정되어져 있다. 그리고 실험 대상지역으로 운반하여 한 달 간 샘플튜브 옆에 노출시킨 후 분석을 하기위해서 연구실로 다시 가지고 오시오. Chromosorb 106과 Carbograph TD-1의 결과는 표13에 주어져있다. 두 흡착제의 회복률은 나노그램 범위에 있고, 신선하게 충전된 Carbograph에서는 표[1]에 제시된 것보다 조금 높게 나타났다.

흡착관의 안전샘플링 체적(SSV)은 부록A 혹은 B에 묘사된 절차 중의 하나를 사용하여 매년 혹은 매 20회 사용 시마다 재분석되어야 한다. 만약 의문점이 있는 분석을 위한 관의 안전 샘플링 체적이 정상 공기 샘플 포집량(normal air sample collection volume) 이하 이면, 관은 새로운 흡착제로 다시 채워져야 하고, 재 조절되어야 한다.

[표 1] 20℃ 흡착크롬 106 흡착관 300mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [°C]	기체 압력 [kPa 25°C]	보유체적 [l]	SSV <sup>a</sup> [l]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [°C]	참고
<b>탄화수소</b>							
프로판 <sup>b</sup>	42	—	0.17	0.09	0.29	—	[2]
펜 탄	35	56	23	12	39	130	[2]
헥산	69	16	74	37	120	160	[2]
헵탄	98	4.7	330	160	530	180	[1]
옥탄	125	1.4	2100	1000	3300	200	[1]
노난	151	—	14000	7000	2.3x10 <sup>4</sup>	220	[1]
데칸	174	—	6.2x10 <sup>4</sup>	3.1x10 <sup>4</sup>	1.0x10 <sup>5</sup>	250	[2]
벤젠	80	10.1	57	28	95	160	[2]
톨 루 엔	111	2.9	160	80	270	200	[1]
크 실 렌	138~144	0.67~0.87	1600	770	2600	250	[1]
에틸벤젠	136	0.93	730	360	1200	250	[1]
트라이메틸벤젠	165~176	—	5600	2800	9300	250	[1]
α-피넨 <sup>c</sup>	53	0.51	6600	3300	1.1x10 <sup>4</sup>	200	[2]
<b>염소화 탄화수소</b>							
디클로로메탄	40	47	6.9	3.5	12	130	[2]
사염화탄소	76	12	44	22	73	160	[1]
1,2-디클로로메탄	84	8.4	34	17	67	150	[1]
트라이클로로에틸렌		2.7	80	40	140	170	[1]
1,1,1-트라이클로로에탄	74	13.3	43	22	71	140	[2]
<b>기타 에스테르와 글리콜</b>							
메틸 아세테이트	58	22.8	14	7	23	125	[2]
에틸 아세테이트	71	9.7	39	20	67	150	[1]

프로필 아세테이트	102	3.3	300	150	500	170	[1]
아이소프로필 아세테이트	990	6.3	150	75	250	165	[1]
뷰틸 아세테이트	126	1	1500	730	2400	95	[1]
아이소뷰틸 아세테이트	115	1.9	880	440	1500	90	[1]
t-뷰틸 아세테이트	98	—	330	160	530	185	[1]
메톡시 에탄올	125	0.8	45	23	75	140	[1]
에톡시 에탄올	136	0.51	150	75	200	250	[1]
메톡시에틸 아세테이트	145	0.27	1700	860	2900	250	[1]
에톡시에틸 아세테이트	156	0.16	8100	4000	1.3x10 <sup>4</sup>	250	[1]
<b>케톤</b>							
아세톤	56	24.6	2.9	1.5	5	120	[1]
메틸 에틸 케톤	80	10.3	21	11	35	145	[2]
메틸 아이소뷰틸 케톤	118	0.8	490	250	830	190	[1]
<b>알코올</b>							
메탄올 <sup>b</sup>	65	12.3	0.78	0.39	1.3	—	[2]
에탄올	78	5.9	3.2	1.6	5.3	120	[2]
n-프로판올	97	1.9	17	8	27	125	[1]
이소프로판올	82	4.3	88	44	15	120	[1]
n-부탄올	118	0.67	140	68	230	170	[2]
이소부탄올	108	1.6	60	30	100	150	[1]
<b>기타</b>							
산화 에틸렌 <sup>b</sup>	11	147	0.84	0.42	1.4	100	[2]
산화 프로필렌	34	59	2	1	3.4	120	[2]
헥산알	131	—	1680	840	2800	220	[2]
a. 9항의 주석 1,2를 참고하십시오.							
b. 아래 1.1에 제시된 SSV는 Carboxen 569 사용. [표2]							
c. α-피넨은 티낙스(Tenax)에 대해서는 이례적이거나 Chromosorb106에 대해서는 분명하다.							

[표 2] 20℃ 카르보젠569 흡착관 500mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [℃]	기체 압력 [kPa at 25℃]	보유체적 [ l ]	SSV <sup>a</sup> [ l ]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [℃]
프로판	42	—	7.2	3.6	7.2	200
메탄올 <sup>b</sup>	65	12.3	4	2	4	200
산화에틸렌	11	147	140	70	140	250
a. 9조항의 주석 1,2를 참고하십시오.						
b. 흡수제의 복원은 미약하다. (표7.참고)						

[표 3] 20℃ Tenax TA 흡착관 200mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [℃]	기체 압력 [kPa 25℃]	보유체적 [l]	SSV <sup>a</sup> [l]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [℃]
<b>탄화수소</b>						
헥산	69	16	6.4	3.2	16	110
헵탄	98	4.7	34	17	85	130
옥탄	125	1.4	160	80	390	140
노난	151	—	1400	700	3500	150

데칸	174	—	4200	2100	1.0x10 <sup>4</sup>	160
운데칸	196	—	2.5x10 <sup>4</sup>	1.2x10 <sup>4</sup>	6x10 <sup>4</sup>	170
도데칸	216	—	1.26x10 <sup>5</sup>	6.3x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>5</sup>	180
벤젠	80	10.1	13	6.2	31	120
톨루엔	111	2.9	76	38	90	140
크실렌	138~144	0.67~0.87	600	300	1500	140
에틸벤젠	136	0.93	360	180	900	145
프로필벤젠	159	—	1700	850	4000	160
아이소프로필벤젠	152	—	960	480	2400	160
에틸톨루엔	162	—	2000	1000	5000	160
트라이메틸벤젠	165~176	—	3600	1800	8900	170
스티렌	145	0.88	600	300	1500	160
메틸스티렌	167		2400	1200	6000	170
<b>염소화 탄화수소</b>						
사염화탄소	76	12	12	6.2	31	120
1,2-다이클로로메탄	84	8.4	11	5.4	27	120
1,1,1-트라이클로로메탄	74	2.7	Tenax 에 대해서는 언급되어있지 않음.			
1,1,2-트라이클로로에틸렌	114	—	68	34	170	120
1,1,1,2-사염소에탄	130	—	160	78	390	150
1,1,2,2-사염소에탄	146	0.67	340	170	850	150
트라이클로로에틸렌	87	2.7	11.2	5.6	28	120
사염소에틸렌	121	1.87	96	48	240	150
클로로벤젠	131	1.2	52	26	130	140
<b>기타 에스테르와 글리콜</b>						
에틸 아세테이트	71	9.7	7.2	3.6	18	120
프로필 아세테이트	102	3.3	36	18	92	140
아이소프로필 아세테이트	90	6.3	12	6	31	120
뷰틸 아세테이트	126	1	170	85	420	150
아이소뷰틸 아세테이트	115	1.9	265	130	650	130
t-뷰틸 아세테이트	98	—	Tenax 에 대해서는 언급되어있지 않음.			
아크릴산메틸	81	—	13	6.5	32	120
아크릴산에틸	100	3.9	48	24	120	120
메타크릴산메틸	100	3.7	55	27	130	120
메톡시 에탄올	125	0.8	6	3	15	120
에톡시 에탄올	136	0.51	10	5	25	130
뷰톡시 에탄올	170	0.1	70	35	170	140
메톡시 프로판올	118	—	27	13	65	115
메톡시에틸 아세테이트	145	0.27	16	8	40	120
에톡시에틸 아세테이트	156	0.16	30	15	75	140
<b>유기 화합물</b>	<b>끓는 점 [°C]</b>	<b>기체 압력 [kPa 25°C]</b>	<b>보유체적 [l]</b>	<b>SSV<sup>a</sup> [l]</b>	<b>g당 SSV량 [l/g]</b>	<b>탈착 온도 [°C]</b>
뷰톡시에틸 아세테이트	192	0.04	300	150	750	160
<b>알데히드와 케톤</b>						
메틸 에틸 케톤	80	10.3	6.4	3.2	16	120
메틸 아이소뷰틸 케톤	118	0.8	52	26	130	140
사이클로헥사논	155	0.45	340	170	850	150
3,5,5-트라이메틸사이클로헥사논	214	0.05	11000	5600	28000	90

푸르푸랄	162	0.5	600	300	1500	200
<b>알코올</b>						
n-부탄올	118	0.67	10	5	25	120
이소부탄올	108	1.6	5.6	2.8	14	120
t-부탄올	83	1.17	Tenax 에 대해서는 언급되어있지 않음.			
옥탄올	180	—	2800	1400	7000	160
페놀	182	0.03	480	240	1200	190
<b>기타</b>						
말레산무수물	202	6.E-6	180	88	440	180
피리딘	116	16	8	40	150	—
아닐린	184	0.09	440	220	1100	190
니트로벤젠	211	0.02	28000	14000	70000	200
a. 9항의 주석 1,2를 참고하십시오.						

[표 4] 20℃ Porapak N 흡착관 500mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [°C]	기체 압력 [kPa 25°C]	보유체적 [l]	SSV <sup>a</sup> [l]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [°C]
<b>탄화수소</b>						
펜탄	35	56	8.2	4.1	8.2	180
헥산	69	16	32	16	32	180
헵탄	98	4.7	190	95	190	180
벤젠	80	10	52	26	52	180
<b>알코올</b>						
에탄올	78	5.9	7.5	3.7	7.5	120
n-프로판올	97	1.9	40	20	40	120
n-부탄올	118	0.67	10	5	25	120
아이소부탄올	108	1.6	5.6	2.8	14	120
옥탄올	180	—	2800	1400	7000	160
페놀	182	0.03	480	240	1200	190
<b>기타</b>						
초산	116	—	97	50	97	180
아세토니트릴	82	9.9	7	3.5	7	180
아크릴로니트릴	77	13.3	16	8	16	180
프로피오니트릴	97	—	23	11	23	180
피리딘	116	—	390	200	390	180
메틸 에틸 케톤	80	10.3	95	50	95	180
a. 9항의 주석 1,2를 참고하십시오. 습도가 높은 상태에서 샘플링이 이루어졌다면 2의 요소에의해 SSV를 줄이시오.						

[표 5] 20℃ 숯 흡착관 300mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [°C]	기체 압력 [kPa 25°C]	보유체적 [l]	SSV <sup>a</sup> [l]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [°C]
프로판	-42	-	10 <sup>b</sup>	5	15	220 <sup>b</sup>

부탄	-0.5	-	900 <sup>b</sup>	450	600	270 <sup>b</sup>
펜탄	35	56	2.7×10 <sup>4</sup>	1.3×10 <sup>4</sup>	4.3×10 <sup>4</sup>	327
헥산	69	16	1.5×10 <sup>6</sup>	7.5×10 <sup>5</sup>	2.5×10 <sup>6</sup>	388
벤젠	80	10.1	3.4×10 <sup>5</sup>	1.7×10 <sup>5</sup>	5.6×10 <sup>5</sup>	370

a. 9항의 주석 1,2를 참고하십시오. 만약에 습도가 높은 상태에서 샘플링이 이루어졌다면 10의 요소에 의해 SSV를 줄이시오; 만약에 고농도로 샘플링이 이루어졌다면 2의 요소에 의해 SSV를 줄이시오.  
b. 펜탄, 헥산, 벤젠의 데이터로부터 추출된 값.

[표 6] 20℃ Spherocarb 흡착관 300mg으로부터 포집된 유기증기의 추정 보유체적과 안전 샘플링 체적(SSV)

유기 화합물	끓는 점 [°C]	기체 압력 [kPa 25°C]	보유체적 [l]	SSV <sup>a</sup> [l]	g당 SSV량 [l/g]	탈착 온도 [°C]
부탄	-0.5	—	1600	820	2700	270
펜탄	35	56	6.3×10 <sup>4</sup>	3.0×10 <sup>4</sup>	1.0×10 <sup>5</sup>	335
헥산	69	16	3.9×10 <sup>6</sup>	2.0×10 <sup>6</sup>	7.0×10 <sup>6</sup>	390
벤젠	80	10.1	1.0×10 <sup>6</sup>	5.0×10 <sup>5</sup>	1.7×10 <sup>6</sup>	375
다이클로로메탄	40	47	400	200	700	250
1,1,1-트라이클로로에탄	74	13.3	1.8×10 <sup>4</sup>	9.0×10 <sup>3</sup>	2.7×10 <sup>4</sup>	290
메탄올	65	12.3	1260	130	430	340
에탄올	78	5.9	6900	3500	1.2×10 <sup>3</sup>	370

a. 9항의 주석 1,2를 참고하십시오.  
만약에 습도가 높은 상태에서 샘플링이 이루어졌다면 2의 요소에 의해 SSV를 줄이시오; 만약에 고농도로 샘플링이 이루어졌다면 2의 요소에 의해 SSV를 줄이시오.

[표 7] Chromosorb106과 Carboxen 569[2]에대한 시험 화합물의 분석과 저장의 정밀도(부하수위:1μg)

유기 화합물	분석 정밀도 %CV		저장 재생율 %	
	Chromosorb	Carboxen	Chromosorb	Carboxen
프로판		1.8		115
펜탄	1.7		112	
헥산	2.1:3.6		104	
벤젠	2.9		100	
다이클로로메탄	1.9		114	
1,1,1-트라이클로로에탄	2.4		101	
메탄올		1.7		64
에탄올	5.9		96	
부탄올	1.3		101	
메틸 아세테이트	1.8		113	
메톡시에탄올	5.7		121	
메틸 에틸 케톤	2.2		103	
아세토니트릴	4.1		112	
부틸 아세테이트	3.4		104	
α-피넨	4.2 : 2.5		104	
데칸	4.2		104	
산화 프로필렌	3.6		103	

헥산알	3.5		98	
-----	-----	--	----	--

[표 8] Tenax TA 흡착관의 용매에 대한 정밀도와 회복률

유기 화합물	부하 μg	시간=0 %CV <sup>a</sup>	시간=5개월 평균회복율 <sup>b</sup> + %CV		시간=11개월 평균회복율 <sup>b</sup> + %CV	
			회복률	정밀도	회복률	정밀도
<b>탄화수소</b>						
헥산	7.8	10.7	93.6	17.9	100.8	26.1
헵탄	8.4	2.4	99.5	2.1	100	1.3
옥탄	8.6	2.4	100.1	1.8	100	0.5
노난	12	0.8	nd	nd	101	0.4
데칸	9.2	2.2	100.4	1.5	100.2	0.5
운데칸	9.1	2.3	100.7	1.5	100.2	0.2
도데칸	9.9	2.8	101.8	1.5	101.5	0.4
벤젠	11	2.5	98.7	2.1	98.6	0.8
톨루엔	10.9	2.6	(100.0)	1.8	(100.0)	0.6
p-크실렌	5.3	2.5	99.9	1.7	99.8	0.7
o-크실렌	11	2.4	100	1.7	98.8	0.7
에틸벤젠	10	0.5	99.6	0.4	97.9	1.3
프로필벤젠	10.5	2.3	99.7	1.5	98.5	0.7
아이소프로필벤젠	10.9	2.3	98.9	1.8	97.2	1.3
m+p-에틸톨루엔	10.5	2.3	98.8	1.7	96.9	1.2
o-에틸톨루엔	5.4	2.2	100.1	1.6	98.9	0.7
1,2,4-트라이메틸벤젠	10.8	2.2	100.1	1.3	99.1	0.5
1,3,5-트라이메틸벤젠	10.7	2.2	100.0	1.5	99.1	0.5
트라이메틸벤젠	10.2	1.7	101.6	0.5	101.3	0.8
<b>기타 에스테르와 글리콜</b>						
에틸아세테이트	10.3	0.6	97.6	1.0	100	2.5
프로필아세테이트	10.9	2.4	100.5	1.7	99.1	0.8
아이소프로필아세테이트	9.4	1.0	97	0.4	100	1.4
부틸아세테이트	10.8	2.4	100.3	1.6	99.9	0.6
아이소부틸아세테이트	10.7	2.3	100.2	1.4	99.8	0.7
메톡시에탄올	8.9	5.4	87.3	5.7	93.1	1.6
에톡시에탄올	10.4	4.2	97.6	2.5	97.2	3.3
뷰톡시에탄올	10	2.6	100.6	4.1	100.1	3
메톡시프로판올	10.4	2.4	95.3	3.6	99	1.2
메톡시에틸 아세테이트	12.5	2.1	100.6	1.4	98.9	1.4
에톡시에틸 아세테이트	11.4	0.9	99.8	2.2	98.7	2.6
뷰톡시에틸 아세테이트	11.5	2.3	101.3	1.3	99.9	1.1
<b>알데히드와 케톤</b>						
메틸 에틸 케톤	9.2	0.9	97.4	0.8	99.1	0.6
메틸 아이소부틸 케톤	9.3	0.6	100.7	0.6	100.7	0.5
사이클로헥사논	10.9	0.8	102.4	1.2	100.7	0.6
2-메틸사이클로헥사논	10.7	0.7	101.1	0.5	101.1	1.3
3-메틸사이클로헥사논	10.5	0.8	103.6	1.0	103	0.7
4-메틸사이클로헥사논	10.6	0.9	103.6	1.4	102.7	0.6
3,5,5-트라이메틸사이클로헥사논	10.6	2.3	101.4	0.9	97.7	1.2
<b>알코올</b>						

부탄올	9.0	1.1	94.8	3.0	96.9	1.2
유기 화합물	부하 μg	시간=0 %CV <sup>a</sup>	시간=5개월 평균회복율 <sup>b</sup> + %CV		시간=11개월 평균회복율 <sup>b</sup> + %CV	
			회복률	정밀도	회복률	정밀도
아이소부탄올	8.9	1.0	93.6	3.5	96.4	1.0
a. 6회 반복.						
b. 톨루엔을 100으로 표준화하십시오. 톨루엔의 안정성은 BCR 상호비교[7]에 정의되어있다.						

[표 9] Chromosorb106 에 대한 (반복가능률과 재생률) 정밀도.

부하수준 μg	회복률 %	ISO 반복가능률 %	ISO 재생률 %
0.5	95.4	21.6	39.1
2.5	91.5	11.2	43.2
12.5	97.6	7.2	43
50	102.3	11.9	25.9
250	104.5	9.7	31.6
총 계	98.3	12.3	36.6

[표 10] 충전 튜브로부터의 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 회복률

연구 번호		회복률(%)					
		Chromosorb 106			Carbograph TD-1		
		벤젠	톨루엔	크실렌	벤젠	톨루엔	크실렌
1. UK 조사	평균회복율(%)	82.7	87.5	95.9	95.1	100.1	100.6
	표준 편차(±)	8.3	6.7	10.4	12.1	4.4	10
	n	20	19	19	19	20	20
2. VOC 비교공기	평균회복율(%)	93.1	99.1	100.5	98.7	100.3	98.5
	표준 편차(±)	11.9	7.9	5	3	2.7	2
	n	13	13	13	13	13	13
3.세계 조사	평균회복율(%)	104.8	105.9	98.7	103.7	100.7	100.1
	표준 편차(±)	11.3	10.1	7.8	4.6	3.2	2.3
	n	16	16	16	16	16	16
1~3항	평균회복율(%)	93.5	97.5	98.3	99.2	100.4	99.7
	표준 편차(±)	11.1	9.3	2.3	4.3	0.3	1.1
	n	3	3	3	3	3	3

주의: 1번 연구에서 각 탄화수소의 첨가량은 대략 80ng정도이다 ; 2,3번의 연구에서의 질량은 대략 200ng이다.

[표 11] 전 과정의 표준편차 - 적용 예1

물 질	질량농도 μg/m <sup>3</sup>	표준편차 %	측정번호	질량농도 μg/m <sup>3</sup>	표준편차 %	측정번호
아이소펜탄	190	6.3	9	15.1	14.4	12
n-펜탄	148	6.8	10	11.9	15.3	11
벤젠	162	7.4	10	13.7	16	11



톨루엔	189	8.2	10	15.6	16.5	12
-----	-----	-----	----	------	------	----

[표 12] 전과정의 표준편차

물 질	질량농도 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	표준편차 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
n-헥산	110	5.6=5%
n-헵탄	19.1	0.5=3%
벤젠	31	2.7=9%
톨루엔	66	1.9=3%
mm-크실렌	16.8	0.9=5%

[표 13] Chromosorb 106 과 Carbograph TD-1에 대한 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 바탕 레벨

연구 번호		Chromosorb 106						Carbograph TD-1					
		벤젠		톨루엔		크실렌		벤젠		톨루엔		크실렌	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng
1. UK 조사	평균회복율(%)	0.39	7.69	0.06	1.39	0.16	3.23	0.27	7.22	0.08	2.04	0.26	5.59
	표준 편차(±)	0.12	1.96	0.03	0.55	0.09	1.64	0.11	2.75	0.03	0.78	0.12	2.28
	n	20		20		20		18		19		19	
2. VOC 비교공기	평균회복율(%)	0.58	10.38	0.15	3.26	0.08	1.46	0.28	6.88	0.15	3.34	0.12	2.35
	표준 편차(±)	0.13	2.28	0.11	2.55	0.08	1.44	0.13	2.70	0.07	1.3	0.08	1.39
	n	14		14		14		14		14		14	
3.세계 조사	평균회복율(%)	0.25	5.63	0.09	2.09	0.04	0.96	0.12	2.61	0.2	4.39	0.07	1.63
	표준 편차(±)	0.14	3.04	0.11	2.36	0.02	0.51	0.05	1.13	0.28	6.19	0.05	1.17
	n	16		16		16		16		16		16	

## Annex A

(표준)

표준가스로부터 누출량 측정법

## A.1 실험기구(Apparatus)

일반적인 실험 기구는 다음과 같다.

A.1.1 흡착 튜브(6.1 참고)

A.1.2 유량계( 20ml/min ~ 200ml/min, 초기 유량 기준에 맞추어 미세 교정됨)

A.1.3 수소염 이온화 검출기(Flame ionization detector) 혹은 유사기구

## A.2 시약(Reagents)

A.2.1 공기 중 유기증기(organic vapour)의 역학적 표준 농도

이와같은 표준 공기는 공기의 흐름을 계측하여 측정된 유기증기를 희석해서 만들 수 있다.

표준공기를 만드는 방법의 예는 5.5를 참고하길 바란다.

## A.3 측정법(Determination)

**A.3.1** 분석하고자하는 분석물, 흡착튜브, 유량계, 수소염 이온화 검출기를 위해서 현재의 노출한계에 해당하는 농도를 제공하는 역학적 표준공기 발생기(dynamic standard atmosphere generator)로 구성된 가스 트레인(gas train)을 정렬한다. 가스를 트레인에 약 20ml/min ~ 200ml/min의 유속으로 통과시킨다. 이 범위 안에서 의도한 표본화율(sampling rate)을 얻기에 적당한 값을 이용한다. 흐름이 시작될 때의 시간을 정확히 체크해 둔다. 증기가 발생하기 시작할 때, 검출기는 응답을 나타낸다. 투입에 대해서 안정한 상태에 이를 때 까지 측정을 계속한다. 5%의 투입값에 도달했을 때의 시간을 측정한다.

**A.3.2** 시스템의 무효부피(dead volume)가 누출량과 비교하여 현저하게 많이 발생하면, 가스 트레인안의 빈 튜브로 측정을 반복함으로써 무효부피를 측정하고, 적절한 수정을 가한다.

**A.3.3** 가스를 상대습도 80%정도까지 가습함으로써 누출량의 습기에 관한 영향을 측정한다. 측정하고자하는 가스 흐름에 물방울 생성기를 통과한 습도 100%의 공기를 희석시킴으로써 측정을 한다. 유기증기공기(organic vapour atmosphere)는 절대로 물속을 통과시키면 안 된다.

## A.4 측정결과의 표현(Expression of results)

누출량은 유량을 곱하여 계산하고, 흐름이 처음시작 될 때의 시간에서 5%의 안정값에 도달할 때까지의 경과된 시간을 고려하여 l/min로 표현한다.

### Annex B

(표준)

#### 외삽된 체류량으로부터 누출량 측정법

## B.1 실험기구(Apparatus)

일반적인 실험 기구는 다음과 같다.

### B.1.1 흡착 튜브(6.1 참고)

B.1.2 가스 크로마토그래프(5 대 1이상의 신호 대 잡음비로 0ng 톨루엔과 5ng 톨루엔의 주입을 검출할 수 있는 수소염 이온화 검출기)

### B.1.3 유량계(20ml/min ~ 200ml/min)

### B.1.4 열전대(thermocouple)

## B.2 시약(Reagents)

B.2.1 공기 중 유기증기(organic vapour)의 유동적 표준 농도

이와같은 표준 공기는 공기의 흐름을 계측하여 측정된 유기증기를 희석해서 만들 수 있다. 표준공기를 만드는 방법의 예는 5.5를 참고하길 바란다.

## B.3 측정법(Determination)

좁은 지름의 PTFE(불소수지)관으로 표준 크로마토그래피 column을 대체한 가스 크로마토그래프의 검출포트와 주입구에 흡착튜브(B.1.1)를 연결한다. 크로마토그래프 오븐 온도를 눈금 5이상으로 설정하고 반응시간을 2 ~ 20분 사이에서 자유롭게 정한 뒤에 분출량 1ml의 표준공기(B.2.1 ; 약 20°C, 300mg/m<sup>3</sup>)의 체류량을 측정한다. column 부피유량에 의한 반응시간을 곱하여 체류량을 계산한다. 각각의 온도에 대하여 5번씩 측정을 반복한다.

## B.4 측정결과와 표현(Expression of results)

절대온도에 상응하는 각 온도의 체류량 측정치의 중간값을 출력하고, 20°C의 온도에 대해 외삽한다.

## Annex C

(표준)

### 흡착제의 종류



흡착제(흡수제)	유형
Carbotrap	Graphitized carbon (흑연화탄소)
Carbopack	Graphitized carbon (흑연화탄소)
Carbograph TD-1	Graphitized carbon (흑연화탄소)
Carbosieve S-III	Carbon molecular sieve (탄소 분자체)
Carboxen 569	Carbon molecular sieve (탄소 분자체)
Carboxen 1000	Carbon molecular sieve (탄소 분자체)
Chromosorb 102	스티렌 / divinylbenzene
Chromosorb 106	폴리스틸렌
Porapak N	Vinylpyrrolidone
Porapak Q	Ethylvinylbenzene / divinylbenzene
Sphero carb	Carbon molecular sieve (탄소 분자체)
Tenax TA	Poly(diphenyl oxide)
Tenax GR	Graphitized poly(diphenyl oxide)

주 : Carbotrap™, Carbopack™, Carbograph TD-1™, Carbosieve S-III™, Carboxen™은 미국 Supelco사의 등록상표이다. Tenax™은 Enka Research Institute의 등록상표이며, Chromosorb™ 는 미국 Manville사의 등록상표이며, Porapak™은 미국 Waters Associates 사의 등록상표이다. 또한, Sphero carb™는 미국 Analabs사의 등록상표이다.

이러한 정보는 ISO 16017 사용자의 편의를 위해 제공되며, 지정된 제품이 ISO에 의해 보증되지는 못한다. 동일한 실험결과를 가져온다면 유사한 제품을 사용할 수도 있다.

## Annex D

(표준)

### 흡착제 선택 지침

흡착제 포집 튜브	분석물의	최대 온도	비표면적	분석물(analyte) 예
-----------	------	-------	------	----------------

	휘발성 범위	(°C)	(m <sup>2</sup> /g)	
Carbotrap™ C Carbopack™ C	n-C <sub>8</sub> ~ n-C <sub>20</sub>	> 400	12	휘발성 범위 n-C <sub>8</sub> ~ n-C <sub>16</sub> 의 Alkybenzenes와 aliphatics 검출.
Tenax™ TA	끓는점 100°C ~ 400°C, n-C <sub>6</sub> ~ n-C <sub>26</sub>	350	35	방향족 화합물, 무극성 성분 물질 (끓는점 100°C 이상). 휘발성이 약한 극성 성분 물질 (끓는점 150°C 이상).
Tenax GR	끓는점 100°C ~ 450°C, n-C <sub>7</sub> ~ n-C <sub>30</sub>	350	35	Alkybenzenes. 기체상 PAHs & PCBs.
Carbotrap Carbopack B Carbograph TD-1	(n-C <sub>4</sub> )n-C <sub>5</sub> ~ n-C <sub>14</sub>	> 400	100	광범위한 VOCs 검출 (끓는점 75°C 이상의 케톤, 알콜, 알데히드 포함). 명시된 휘발성 범위안의 모든 무극성 화합물. perfluorocarbon tracer gases.
Chromosorb™ 102	끓는점 50°C ~ 200°C	250	350	광범위한 범위의 VOCs(메틸렌 염화물보다 휘발성이 덜한 haloforms 및 산화화합물 포함).
Chromosorb 106	끓는점 50°C ~ 200°C	250	750	광범위한 범위의 VOCs(n-C <sub>5</sub> ~ n-C <sub>12</sub> 범위의 탄화수소 포함). 휘발성 산화 화합물.
Porapak™ Q	끓는점 50°C ~ 200°C, n-C <sub>5</sub> ~ n-C <sub>12</sub>	250	550	산화화합물을 포함한 광범위한 범위의 VOCs.
Porapak N	끓는점 50°C ~ 150°C, n-C <sub>5</sub> ~ n-C <sub>8</sub>	180	300	휘발성 니트릴류 검출 (acrylonitrile, acetonitrile, propionitrile). 피리딘 및 EtOH, MEK 등으로부터의 휘발성 알콜류.
Spherocarb™ a	-30°C ~ 150°C, C <sub>3</sub> ~ n-C <sub>8</sub>	> 400	1200	VCM, 산화에틸렌, CS <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> 와 같은 휘발성 화합물. MeOH, EtOH, 아세톤과 같은 휘발성 극성물질.

Carbosieve™ S-III <sup>a</sup> or Carboxen™1000 <sup>a</sup>	-60℃ ~ 80℃	400	800	C3.C4 탄화수소와 같은 초휘발성 화합물. 휘발성 haloform류, freon류.
Molecular sieve <sup>b</sup>	-60℃ ~ 80℃	350		1,3-부타디엔과 아산화질소.
주 : 등록상표명칭은 첨부 C를 참조.				
<sup>a</sup> 이러한 종류의 흡착제들은 수분저류현상(water retention)을 보여준다. 만약 샘플이 상대습도 90%보다 높으면, 안전 샘플량은 팩터 10에 의해 감소되어야한다. <sup>b</sup> 흡수성이 매우 높다. 특별한 사전주의 없이는 습도가 높은 공간에서는 사용하지 말 것.				

Annex E  
(표준)  
흡착제 이용 지침

--	--	--	--

흡착제 포장 튜브	최대 온도 (°C)	소수성	온도·가스유량 (for conditioning <sup>a</sup> )	온도·최소가스유량 (for desorption)	권장 콜드트랩패킹
Carbotrap C Carbopack C	> 400	Yes	350°C, 100 ml/min	325°C, 30 ml/min	Tenax or Carbopack C
Tenax TA	350	Yes	330°C, 100 ml/min	300°C, 30 ml/min	Tenax
Tenax GR	350	Yes	330°C, 100 ml/min	300°C, 30 ml/min	Tenax
Carbotrap Carbopack B Carbograph TD-1	> 400	Yes	350°C, 100 ml/min	225°C, 30 ml/min	Tenax or Carbopack B
Chromosorb 102	250	Yes	250°C, 100 ml/min	225°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or Chromosorb 102
Chromosorb 106	250	Yes	250°C, 100 ml/min	250°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or Chromosorb 106
Porapak Q	250	Yes	250°C, 100 ml/min	225°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or Porapak Q
Porapak N	180	Yes	180°C, 100 ml/min	180°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or Porapak N
Spherocarb <sup>b</sup>	> 400	No	400°C, 100 ml/min	390°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or Spherocarb
Carbon molecular sieve (Carbosieve s-III <sup>b</sup> or Carboxen 1000 <sup>b</sup> )	400	No	350°C, 100 ml/min	325°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or carbon molecular sieve alone
Molecular sieve <sup>c</sup>	350	No	330°C, 100 ml/min	300°C, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap or carbon molecular sieve alone
tube 타입의 Tenax/Carbopack B	350	Yes	330°C, 100 ml/min	300°C, 30 ml/min	Tenax

tube 타입의 Carbopack B/ carbon molecular sieve	400	No	350℃, 100 ml/min	325℃, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve trap
tube 타입의 Carboxen 1000 series.	400	No	350℃, 100 ml/min	325℃, 30 ml/min	Dual-bed Carbopack B plus carbon molecular sieve

주 : 등록상표명칭은 첨부 C를 참조.

<sup>a</sup> conditioning 온도는 pre-conditioning 온도와 같지 않다.

<sup>b</sup> 이러한 종류의 흡착제들은 수분저류현상(water retention)을 보여준다. 만약 샘플이 상대습도 90%보다 높으면, 안전 샘플량은 팩터 10에 의해 감소되어야한다.

<sup>c</sup> 흡수성이 매우 높다. 특별한 사전주의 없이는 습도가 높은 공간에서는 사용하지 말 것.

## Annex F

(표준)

데이터의 전체 불확실도, 정밀도, 편차, 보관에 관한 개요



### F.1 전체 불확실도에 관한 데이터

EN 1076을 따르며 6.1에 명시된 바에 의해, hexan  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$  · 상대습도 50% · 20°C 의 표준 공기로 채워진 튜브와 EN 1232[10]에 따른 펌프를 사용하여 실험을 분석한 결과[2], 전체 불확실도 EN 482)[9]가 도출되었다. Tenax TA, Tenax GR 그리고 Chromosorb 106(5번 측정된 평균값)은 8.9%를 나타내었으며, Carbopack B와 Carbotrap(3번 측정된 평균값)은 16.8%를 나타내었다.

### F.2 정밀도와 편차에 관한 데이터

표준화된 절차를 지니는 모든 실험은 정밀한 분석을 통해 검사된다. 거기에는 6.1에 명시된 튜브를 이용하여 분석된 기존의 데이터를 정리한 것을 사용한다. 전체 불확실도를 검증하기 위해서는 샘플링 펌프의 오류와 편차에 관한 데이터를 알고 있어야한다. 그러나 재현성있는 데이터(reproducibility data)는 F.1의 전체 불확실도로부터 이용할 수 없는 실험간의 변동으로 만들어진 추정을 가능하게 한다.

5.1에 명시된 화합물을 Chromosorb 106 혹은 Carboxen 569에 액체 충전된 튜브를 사용하여 약  $1.0\mu\text{g}$ 의 Load Level 으로 실험한 결과[2]는 표7에 요약되어있다. 변동계수로 표현되는 정밀도는 분석물에 의하면 1,3%와 5,9%사이이다. ISO 5725-1의 반복성(repeatability)으로 표현된 정밀도는 3,7%와 16,7%범위 사이이다.

광역화합물을 Tenax TA에 액체 충전된 튜브를 사용하여 약  $10\mu\text{g}$ 의 단일 load level로 실험한 결과[1]는 표8에 요약되어있다. 변동계수로 표현된 정밀도는 분석물에 의하면 0,4%에서 2,8%사이이다. ISO 5725-1의 반복성으로 표현된 정밀도는 1,1%와 5,6%범위 사이이다.

벤젠, 톨루엔, 크실렌, 이소프로필벤젠을 포함하는 11개의 model compounds를 Chromosorb 106에 기체 충전된 튜브를 사용하여  $0.5\mu\text{g}$ ~ $250\mu\text{g}$ 사이의 load level로 실험한 결과[6]는 표9에 요약되어있다. 반복성(ISO 5725-1)으로 표현되는 정밀도는 load level에 의하면 7,2%에서 21,6%사이이다. 재현성(ISO 5725-1)으로 표현되는 정밀도는 load level에 의하면 25,9%에서 43,2%사이이다.

80ng 혹은 200ng의 벤젠, 톨루엔, 크실렌으로 액체 충전된 튜브를 사용하여 실험한 결과[15]는 표10에 요약되어있다. 튜브들은 조사대상지역으로 옮겨지며, 한달정도 포집튜브 옆에 방치한 후, 실험실로 다시 가져와 분석을 한다. Chromosorb 106 / Carbograph TD-1 튜브의 복구율(recoveries)은 82,7%에서 105,9%사이이다. 변동계수로 표현되는 정밀도는 흡착제와 분석물에 의하면 3,2%와 12,1%사이이다.

메탄, 에탄, 프로필렌, 염화비닐, 이소부탄, n-부탄, 이소펜탄, n-펜탄, 벤젠, 톨루엔을 포함한 표준공기로 충전된 튜브를 2가지의 다른 농도로 실험한 결과[16]는 표11에 요약되어있다. 이 실험에 사용되는 튜브는 바깥지름 6mm, 안지름 4mm, 길이 150mm의 유리 튜브로써, 63mg bed의 35/60메쉬 Tenax TA흡착물질과 297mg bed의 35/60메쉬 XAD-4수지가 채워졌다. 변동계수로 표현되는 표11에 기술된 화합물들의 정밀도는 high level에서는

6,3%와 8,2%범위의 사이이고, low level에서는 14,4%와 16,5%범위 사이이다. 잔존 화합물은 정량적으로 보존되지는 않는다.

n-헥산, n-헵탄, 벤젠, 톨루엔, m-크실렌을 포함한 표준공기로 충전된 튜브로 실험한 결과 [16]는 표12에 요약되어있다. 이 실험에 사용되는 튜브는 바깥지름 8mm, 안지름 5mm, 길이 260mm, 양쪽 끝의 바깥지름 6,3mm의 유리 튜브로써, 500mg bed의 Tenax TA와 300mg bed의 Carbosieve-S(60-80 메쉬)가 채워져있다. 변동계수로 표현되는 정밀도는 분석물에 의하면 3%에서 9%범위 사이이다.

### F.3 Data on storage (보관에 관한 데이터)

6.1에 명시된 튜브를 이용한 보관실험에 관한 데이터는 표7에 요약되어있다.

Chromosorb 106 혹은 Carboxen 569에 화합물로 충전된 튜브를 1,0 $\mu$ g의 load level로 실험[2]하고 2주일동안 상온에서 보관한 결과는 표8에 요약되어있다. (보관되지 않는 튜브와 비교하여) Chromosorb 106의 평균 복구율은 105,6%이다.

광역화합물을 Tenax TA에 액체 충전한 튜브를 사용하여 약 10 $\mu$ g의 단일 load level로 실험 [1]하고 5개월 동안 상온에서 보관한 결과는 표8에 요약되어있다. 헥산, 메톡시 에탄올을 제외한, 평균 복구율은 99,7%이고 평균변동계수는 2%이다. 11개월 동안 보관한 후에도 그와 유사한 결과를 얻을 수 있다. 즉, 헥산, 메톡시 에탄올을 제외한, 평균 복구율은 99,4%이고 평균변동계수는 0.9%이다.

CRM 112[7]로 검증하는 동안 벤젠, 톨루엔, m-크실렌으로 채워진 튜브의 안정성은 0 $^{\circ}$ C~40 $^{\circ}$ C사이의 온도에서 25개월 동안 관찰된다. 0 $^{\circ}$ C~4 $^{\circ}$ C에서 보관하여 14개월 후에 측정된 결과, 세 화합물의 복구율은 101%에서 103%사이였다. 같은 조건이지만 주변온도를 40 $^{\circ}$ C로 하여 복구율을 측정된 결과 102% ~ 104%, 100% ~ 104%였다. 25개월 후에는 어떠한 불안정성도 발견되지 않았지만, 복구율은 기록되지 않았다.

두 가지 유형의 단층 탄소 열 탈착 튜브와 세가지 유형의 다층 탄소 열탈착 튜브로 EPA TO-14 기준에 맞추어 1마이크로그램 미만의 혼합된 무극성 VOCs의 보관 안정성 데이터를 측정된 결과는 [15]에 발표되었다. 4~20 $^{\circ}$ C에서 저장하여 21주일 후의 복구율은 사용된 흡착제, 화합물, 참고한 원본데이터 모두에 큰 영향을 받았다. 어떤 화합물에서는 탈염산화의 증거가 나타났으며, 특히 1,1,2,2-테트라클로로에탄은 보관시간이 하는 것 보다 더 강한 탈착의 기능을 한다.

주 : 서로 다른 열 수축율로 인해 냉각되는 동안에 밀봉한 곳이 헐거워질 수 있다. 샘플의 손실과 외부오염물질의 도입을 막기 위해서는 밀봉된 부위를 정기적으로 점검해 주어야 한다. 냉각은 흡착된 VOCs의 교차반응을 감소시킨다.