

유기용제 시료채취 및 분석

이 나 루(산업안전보건연구원)

I. 시료채취

시료채취전략을 수립할 때 측정하고자 하는 해당 물질에 대해 이용 가능한 시료채취 및 분석방법을 검토해야 한다. 현재 여러 국가의 정부 및 국제 규격제정기관에서 작업환경 공기 중 시료채취 및 분석방법 매뉴얼 발간하고 있다. 표에 몇 가지 시료채취 및 분석방법을 찾을 수 있는 홈페이지를 제시하고 있다. 여러 방법 중 적절한 해당 물질의 시료채취 및 분석방법을 선택할 수 있다.

기관명	시료채취 및 분석방법	홈페이지	비고
산업안전보건연구원	측정방법	http://oshri.kosha.or.kr/information/info_sanitation/info_sani_1.jsp?menuId=2	
National Institute for Occupational and Health (NIOSH)	NIOSH Manual of Analytical Methods	www.cdc.gov/niosh/nman/nmampub.html	
Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	OSH Analytical Methods Manual	www.osha-slc.gov/dts/chemicalsampling/toc/toc_chemsamp.html	

시료채취 및 분석방법을 선택할 때는 정확도와 정밀도가 검증된 방법을 선택하여야 한다. 미국 OSHA에서는 95% 신뢰수준으로 노출기준 수준에서 참값의 $\pm 25\%$ 이내의 정확도와 정밀도가 검증된 방법을 선택할 것을 권고한다.

직업 환경에 대한 지식과 시료채취분석의 화학에 대한 전반적인 안목이 시료채취 및 분석방법을 선택하는데 중요한 요소가 된다. 공기 중의 물질의

농도가 낮을 때는 측정 및 분석방법의 민감도를 반드시 고려하여 허용가능한 최대한의 유속으로 권고되는 공기유량을 최소한 이상으로 공기를 포집하여야 한다. 습도가 높고, 공기 중 농도가 높을 때는 파파를 고려하여야 한다.

산업위생 목적일 때 시료채취 및 분석 대상은 정상적인 상온 상태하에서 가스 및 증기상이다.

가스는 25℃, 1기압에서 기체상태로 존재하며, 예를 들어 공기 중 산소, 에틸렌옥사이드, 일산화탄소 등이 있다.

증기는 끓는 점 이하에서 액체, 고체 상과 평형상태에 있는 기체를 일컫는다. 물질의 특성인 증기압에 공기 중 포화농도가 결정되며, 증기압은 온도의 변수이다.

$$\text{공기중 포화농도(ppm)} = \frac{\text{대상물질의 증기압(단위 : mmHg)}}{760\text{mmHg}} \times 10^6$$

1. 시료채취 원칙

노출평가전략을 세울 때는 시료채취위치, 시료채취를 할 작업자 수, 시료채취시간 등을 결정해야 한다. 시료의 종류는 시료채취방법에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 합계시료채취(integrated sampling)은 흡수제(adsorbing 혹은 adsorption medium)로 공기를 통과시켜서 흡수제 혹은 흡착제에 공기를 포집하는 것이다. 그랩시료채취(Grab sampling) 짧은 시간(몇 초, 몇 분)동안 sampling bag, syringe, evacuated flask로 공기를 채취하는 것이다.

1.1 합계시료채취 (Integrated sampling)

합계시료채취는 노출 전기간 동안 시료채취하는 것이다. 시료채취결과는 대개 8시간 노출 시간가중치를 기준과 비교한다. 또한 15분 STEL값과 비교하기 위해서도 합계시료채취를 한다. 시료채취시 적절한 시간동안 시료채

취를 하며, 적절한 유속을 선택하는 것이 중요하다. 즉 시료채취 부피를 정확하게 파악하는 것이 중요하다.

1.1.1 능동시료채취 (Active sampling)

능동시료채취는 공기 시료채취펌프로 흡착튜브, 전처리된여과지, 임핀저와 같은 시료채취미디어를 통해 공기와 오염물질 혼합물질을 모으는 방법이다. 시료채취 과정 중 해야 할 가장 중요한 것은 펌프의 유속을 보정(calibration)하는 것이다.

시료채취시 시료채취기의 능력, 검출한계, 정량한계, 측정의 상한범위를 고려하여야 한다. 시료채취기의 능력을 평가하기 위해 파과(breakthrough)현상을 확인해야 한다. 활성탄관은 두 개의 층으로 나뉘어져 있으며 뒷층은 전체 활성탄 양의 1/3이므로, 뒷층에 흡착된 양이 앞층의 25%이상이면 “파과, 유의한 손실 가능성 있음”이라고 보고해야 한다. 뒷층에 흡착된 양이 앞층의 50%이상이면 과소평가되었으므로 시료 결과를 사용할 수 없다.

□ 시료채취펌프

펌프의 가장 중요한 기능은 일정한 속도로 공기를 끌어당기는 것이다. 미국 OSHA방법에서는 펌프의 유속이 권고되는 유속의 $\pm 5\%$ 이내로 보정되어야 한다고 명시하고 있다. 가벼운 배터리로 운영되는 펌프의 배터리 팩은 하루 8시간 이상동안 사용가능하도록 되어 있다. 시료채취는 작업자의 호흡기 영역에서 이루어지거나 지역시료로 이루어진다. 시료채취펌프는 다양한 유속 범위에서 사용가능하며, 타이머, 플트 셋다운, 컴퓨터 연결기능 등 다양한 기능이 가능하다. 또한 방폭기능도 들어있다. 전체적인 시료채취시간 동안 일정한 유속을 유지하는 것이 중요한데, 가스 및 증기 시료채취시 시료채취로 인한 유속 변동은 크게 문제가 되지는 않는다. 다만 흡착튜브안에 공극이 작은 물질이나 TEL을 측정하기 위해 1 Lpm으로 할 때, 압력손실이 발생할 수 있다.

□ 보정 (Calibration)

제1차 표준물질은 실린더의 길이와 직경과 같이 직접 측정가능한 linear dimension에 근거하는 것으로 spirometer, bubble meters 등이 있다. 제2차 표준물질은 precision rotameter, wet test meter, dry gas meter 등이 있다.

□ 시료채취 미디어 선정

시료채취 미디어를 선정할 때 방해물질, 습도, 온도, 적절한 측정 범위, 측정할 물질의 물리적인 상태-종종 동시에 입자와 증기상이 존재하기도 함-를 고려하여야 한다.

□ 능동시료채취방법의 장점과 단점

능동시료채취방법의 장점은 여러 가지가 있다. 첫째 대개 광범위하게 신뢰성이 검증되고 문서화되어 있다. 둘째, 보정을 하는 경우 정확한 채취공기량에 대한 정보를 알 수 있다. 셋째, 고체 흡착관인 경우 뒷층이 있어 시료의 파과여부를 판별할 수 있다. 넷째 대상물질의 물질적인 성상이 여러 개인 경우 여과지, 흡착관을 연결하여 여러 성상을 동시에 측정할 수 있다. 능동시료채취방법의 단점은 장비가 작업자의 작업을 방해하고, 펌프 보정이 시간이 걸리는 일이며, 기술적인 훈련이 필요하다는 것이다. 또한 펌프 사용기간이 오래되면 일정한 유속을 유지하는 능력의 신뢰성이 문제가 된다.

1.1.2 수동식 시료채취

수동식 시료채취방법은 1973년 Pales와 Gunnison이 처음 발표하였다. 수동식 시료채취는 확산원리에 의한 속도로 공기 중 가스와 증기를 포집하는 방법이다. 수동식 시료채취기는 Fick's 확산제1법칙에 의해 농도차에 대한 오염물질의 이동이다. 가스나 증기에 따라 특정한 확산계수(D)를 가지기 때문에 각 물질별로 다른 시료채취속도를 가지게 된다. 결국 확산계수와 시료채취기 모양에 따라 시료채취속도가 결정된다. 사용하기 전에 정확도와 신뢰도에 대해 평가가 이루어져야 한다.

수동식 시료채취기의 장점은 사용하기 쉽고 전체적인 비용은 능동식 시료채취기에 비해 싸다는 것이다. 단점은 공인된 방법 중 수동식 시료채취기를 사용한 방법이 많지 않다는 것이다. 사용할 때 시료채취속도가 현장에서도 유효한지 확인해야 한다. 정체된 공기는 시료채취의 “starvation”을 일으킨다. 유속이 높으면 터블런스를 일으킨다.

$$w = D(A/L)(C_1 - C_0)$$

w = mass transfer rate, ng/sec

D = diffusion coefficient, cm^2/sec

A = cross-sectional area of diffusion path, cm^2

L = length of diffusion pass, cm

C_1 = ambient concentration of contaminant, ng/cm³

C_0 = concentration of contaminant at collection surface, ng/cm³

1.2 Grab sampling

그랩 시료채취는 특정시간에 가스와 증기 농도를 측정하기 위해 사용된다. 즉 피크노출을 “Ceiling limit”와 비교하기 위해 사용된다. 시린지, evacuated flask, 캐니스터, 시료채취백이 사용된다. 장점은 직접 가스크로마토그래피에 주입하거나 direct-reading instrument에 사용할 수 있다는 것이다. 현장에서 결정을 빨리 하여 보호구 선택이나, 누출 원인, 출입 허가 등을 가능하게 한다. 단점은 농도가 낮은 경우 분석기계가 검출할 만큼 민감하지 못하다.

2. 가스 및 증기의 시료채취미디어

2.1 고체 흡착제

흡착제 표면에 오염물질을 흡착시키는 고체 흡착제를 가스 및 증기의 시료채취에 가장 널리 사용한다. 대개, 고체흡착제는 미립(그래놀)이나 구슬(비드) 형태이며 네가지 조건을 만족해야 한다. 첫째, 공기 중 거의 모든 오염물질을 잡을 수 있어야 하며, 둘째, 잡은 물질을 탈착가능해야 하며, 셋째, 큰 압력손실 없이 많은 오염물질을 잡을 수 있는 능력이 있어야 한다. 넷째, 오염물질을 유도체화시키는 경우를 제외하고는 오염물질의 화학적 변화가 없어야 한다. 다른 오염물질이 있어도 대상 오염물질을 잘 흡착해야 한다.

2.1.1 고체 흡착제의 흡착 효율

고체흡착제에 오염물질이 흡착될 때 환경 및 여러 요인에 의해 흡착효율이

달라질 수 있다. 작업장의 온도, 습도에 흡착과정이 영향을 받는다. 흡착과정은 발열과정이기 때문에 고온에서는 흡착효율이 제한되며, 수증기는 흡착제에 흡착되어 대상 물질의 흡착이 감소할 수 있다. 또한 공기 중 측정하고자 하는 물질 외에 다른 오염물질이 많다면 해당물질의 흡착이 제한될 수 있다. 능동식 시료채취에서 펌프의 시료채취속도가 높으면 고체흡착제의 시료채취 효율이 감소될 수 있다.

저장기간 동안 앞층에서 뒷층으로 이동하는 migration이 파과와 혼동될 염려가 있으므로 1,3-butadien의 경우 두 개의 튜브를 사용하여 시료채취 후 따로 보관한다.

2.1.2 오염물질의 탈착

작업장에서 흡착제에 오염물질을 흡착 한 후 실험실에서 분석하기 위해서는 오염물질을 탈착시켜야 한다. 탈착방법에는 용매탈착과 열탈착이 있다. 용매탈착은 용매를 이용해서 오염물질을 흡착제로부터 탈착시키는데 CS₂를 많이 사용한다. CS₂는 GC의 FID 감도도 낮고, 여러 물질에 대해 탈착효율도 매우 좋다. 경우에 따라서 CS₂로 탈착효율이 나쁠 경우 메탄올, 메틸렌클로라이드를 CS₂에 첨가한다. 특히 셀룰로오스 계통을 분석할 때는 메틸렌클로라이드와 메탄올을 5:95와 혼합하여 탈착용매로 사용한다. 용매로 탈착할 때 탈착효율을 검증하여야 한다. 탈착효율은 대개 분석물질이 얼마나 나오는지에 대한 검증 단계이며 농도의 0.1배, 0.5배, 1배, 2배 수준에서 결정된다.

열탈착은 고온에서 흡착제에 흡착된 물질을 날려 보내 탈착시키는 방법이다. 탈착된 물질은 불활성 기체로 가스크로마토그래피로 이동된다. 이 때 오염물질의 일부가 아닌 전체 양이 가스크로마토그래피에 주입하게 된다. GC에 오염물질 일부가 아닌 전체가 주입되기 때문에 낮은 농도의 물질이 분석가능하지만 단 한번 밖에 분석할 수 없다는 단점도 있다.

2.1.3 흡착제의 종류

□ 무기흡착제

무기흡착제는 실리카겔이며 알코올, 아민, 페놀을 포집하여 용매탈착하게 된다. 실리카겔은 활성탄보다 반응성이 적으며 비극성탈착용매를 사용할 때

분석물질이 잘 회수된다, 실리카겔의 가장 큰 단점은 습도가 증가하면 흡착능력이 급격하게 감소하게 된다, 더구나 가스크로마토그래피에서 수분과 다른 물질을 분리하는 것이 쉽지 않다. 지방족아민, 방향족아민, 아미노에탄올, 니트로벤젠등을 포집할 때 사용한다, 무기산은 미리 세척된 실리카겔과 유리섬유프리필터를 이용하여 포집한다.

□ 탄소원자

활성탄이 가장 널리 사용된다. 활성탄은 코코넛껍질, 석탄, 나무, 석유 등에서 얻을 수 있으며, 각각 특징과 용도를 갖게 된다. 활성탄은 미세공극이 잘 발달되어 무게에 비해 넓은 표면적을 가지고 있어 흡착능력이 좋다. 넓은 활용도에도 불구하고 활성탄은 한계가 있다. 활성탄은 메탄, 에탄과 같이 매우 휘발성이 높은 저분자물질 및 암모니아, 에틸렌, 염화수소와 같은 끓는 점이 낮은 물질들에도 유용하지 않다. 코코넛 활성탄은 특히 케톤에 대해서는 포집이 좋지 않다. 케톤이 흡착될 때 물과 관련된 반응에 의해 활성탄 표면에서 축매작용이 일어나기 때문에 탈착효율과 저장안정성이 나쁘다.

Anasorb 747은 구슬형태의 활성탄인데, 표면적이 넓으며 극성 및 비극성 물질에 대해 포집효율이 좋다. 아나솔브747는 OSHA 방법에 의하면 SO₂, 마취성 가스, 프로필렌옥사이드, 메탄올, 에탄올, 이소프로판올에 대해 가능하다

□ 탄화된 흡착제

Carbon molecular sieves는 넓은 표면적과 기공이 작아서 휘발성이 높은 유기화합물 포집에 효율적이다. 최근에 OSHA에서는 프레온 시료채취에 이 흡착제 사용을 권고한다.

□ 유기폴리머

상업적으로 이용가능한 폴리머는 Tenax, Porapak, Chromosorbs 등이 있으며 Tenax는 열에 안정하기 때문에 열탈착을 하는 경우 사용되며, 폭발물질의 시료채취를 위한 흡착제로도 사용된다. Porapak는 기공성의 폴리머 군으로 이루어져 있으며, 케톤, 알데히드, 알코올, 글리콜의 분리를 가능하

게 한다.

XAD 중 NIOSH와 OSHA에서는 다양한 유기인계 농약에 대한 포집시 XAD-2를 추천하고 있으며, 2-hydroxymethylpiperidine을 코팅한 XAD-2를 포름알데히드 포집시 추천한다.

□ 기타

폴리우레탄폼을 가진 유리흡착제 카트리지가 유기염소계농약과 PCB측정에 권고된다. 흡착제와 여과지 카세트를 여러상의 물질을 포집하기 위해 사용되는데 NIOSH method에서는 PNAs를 포집하기 위해 PTFE여과지와 XAD-2 튜브를 함께 사용할 것을 권고한다. 유기주석을 포집하기 위해 유리섬유여과지와 XAD-2 튜브를 함께 사용할 것을 권고한다.

2.2 화학물질이 처리된 여과지

여과지는 액체 상을 효과적으로 처리하기 위해 사용된다. 시료 저장과 분석 과정의 안정성을 확보하기 위해 대상물질을 화학적으로 유도체화시킬 필요가 있을 때 여과지에 액체로 전처리 한다. 버블러를 사용하는 방법과 비교했을 때 화학처리된 여과지는 덜 번거롭고, 경우에 따라서는 포집효율도 증가시킨다. 화학물질이 처리된 여과지를 시료채취에 사용하는 물질은 디이소시아네이트 등이 있다.

2.3 액체 흡수제

액체를 사용하는 시료채취방법은 용해성에 근거한 흡수방법이거나 시료채취대상을 반응을 시키는 것과 관련되어 있다. gas washing bottles, fritted bubbler가 주로 사용된다. midget impinger가 gas washing bottles 일종이며, 공기가 액체흡수제에 들어가므로 용해가 되거나 반응성이 있는 물질에 적당하다. fritted bubbler는 공기가 유리판으로 이동해 작은 거품형태로 액체에 들어가므로 가스를 포집할 때 gas washing bottles보다 더 효과적이나 침전물이 형성되거나 분진이 많은 경우 적절하지 않다.

II. 분석

시료채취를 할 때는 분석방법의 검지한계를 인식하여야 한다. 분석검지한계와 측정목표 (예를 들어 노출기준의 1/10까지 검출하겠다)를 알아야 채취할 시료채취 부피를 미리 계산할 수 있다.

분석방법은 크게 크로마토그래픽 방법, 스펙트로메트릭 방법 등이 있다. 크로마토그래피는 “color-writing”의 그리스어에서 기원되며, 혼합물을 이동상과 정지상을 이용하여 분리하는 과정이다. 이동상이 가스이면 가스크로마토그래피, 이동상이 액체이면 액체크로마토그래피이다. 크로마토그래피 칼럼이 정지상을 가지고 있으며 시료를 가역적으로 흡착시킨다. 시료가 크로마토그래피 칼럼 안에 이동상을 가지고 들어가면 이동상과 정지상 안에서 반복적으로 용질간의 상호작용으로 개별 물질들이 분리된다. 일단 분리되면 개별물질들은 검출기에서 정량화할 수 있는 신호를 받게 된다. 결과는 시간에 따라 나타나며 이 그림을 **크로마토그램**이라고 부른다. 시료 주입부터 피크가 가장 높게 나타날 때까지의 시간을 **머무름시간(Retention time)**이라고 한다. 머무름 시간은 조건이 같을 때 같은 분석 물질에 대해 동일하게 나타난다. 그러나 머무름 시간 자체를 피크의 물질을 확인하는 데 사용할 수는 없다. 왜냐하면 많은 물질들이 동일한 머무름 시간을 가질 수 있기 때문이다.

크로마토그래피 피크의 면적은 주입된 오염물질의 질량과 직접 비례한다. **검량선 (Calibration curve)**을 작성하면, 분석하고자 하는 물질의 질량을 결정할 수 있다. 크로마토그래피의 검출기가 모든 물질에 대해 동일하게 반응하지 않기 때문에 분석하고자 하는 물질마다 검량선을 각각 작성하여야 한다.

1. 크로마토그래픽 방법

크로마토그래피 방법은 가스상 오염물질을 분리하여 각각의 물질을 분석하는데 강력한 도구이다.

1.1 가스크로마토그래피 (Gas Chromatography, GC)

가스와 증기의 상당부분을 가스크로마토그래피로 분석을 한다. GC는 공

기 중 물질의 낮은 농도까지 분석할 수 있는 강력한 도구이다. 충분한 증기압과 열에 대해 안정성을 가지고 있는 물질이면 GC분석이 가능하다.

GC의 기본적인 구성은 이동가스, 주입부, 칼럼, 검출기, 자료처리시스템이다. 이동가스로 대개 헬륨, 질소와 같은 물질을 사용한다. 시료는 대개 액체나 가스 상태로 GC에 주입한다. 응축되는 것을 방출하기 위해 주입부는 고온으로 유지된다. 충전된칼럼(Packed)나 모세관(Capillary) 칼럼을 사용하며 이 칼럼이 다양한 물질의 분리를 가능하게 한다. 칼럼 정지상의 극성, 화학물질, 표면적 등에 따라 분리가 다르게 일어난다. 칼럼은 단지 분리하는 기능만 있기 때문에 정량화하기 위해서는 검출기가 필요하다. 검출기의 반응은 비특이적이며 정량화하기 위해서는 검량선이 필요하다. 물질의 정량적인 반응을 얻기 위해서는 검출기의 선택이 필요하다.

1.1.1 불꽃이온화 검출기 (Flame Ionization Detector, FID)

FID는 대부분의 유기물질에 대해 매우 민감한 반응을 보인다. 민감도가 좋으며 넓은 범위에서 직선반응을 보이기 때문에 가장 널리 사용된다. 정확한 정량분석을 하려면 시료의 농도와 검출기의 감응사이에 직선적인 관계가 성립되어야 한다. H_2/air 불꽃에서 시료를 태웠을 때 전하를 띤 이온을 생성하는 물질에만 감응한다. CS_2 에서는 반응도가 낮기 때문에 CS_2 가 좋은 용매로 사용될 수 있다.

1.1.2 질소-인 검출기(Nitrogen-Phosphorus Detector, NPD)

NPD는 질소와 인을 가지고 있는 물질에 대해 민감도가 높기 때문에 아민, 유기인제 분석에 유용하다.

1.1.3 전자포착 검출기 (Electron Capture Detector, ECD)

ECD는 할로젠화 탄화수소, 오존, 황화합물 등에 민감도가 매우 높다. 전자친화력이 있는 화합물에만 감응한다. 탄화수소, 알코올, 케톤 등에는 감도가 낮다. ECD는 직선성의 범위가 좁기 때문에 검량선을 작성할 때 주의해야 한다.

1.1.4 불꽃광도 검출기 (Flame Photometric Detector, FPD)

유기인제농약과 머캅탄과 같이 인과 황을 함유한 분석에 유용하다. 황과 인을 분석할 때는 빛을 통과시키는 적절한 필터를 사용하여야 한다.

1.1.5 GC/Mass Spectrometry (GC/MSD)

오염물질의 성분이 확인되지 않을 때 GC분석만으로는 불충분하다. 기존의 GC에 물질의 정성적인 정보를 줄 수 있는 검출기를 부착한 것이 GC/MS이다. GC 칼럼을 통과한 물질들이 mass spectrometer에 주입되어 parents ion과 ion fragments를 생성하면서 이온화된다. 결과적으로 이온들은 mass-to-charge에 대한 정보를 제공한다. 화학물질들은 특징적인 mass spectrum을 가지므로 분석결과로 DB를 매치하여 분석물질에 대한 확인을 확률적으로 값으로 얻게 된다. mass spectrometer는 주입구, 이온소스, accelerating system, detector system으로 구성이 되며 진공상태로 유지된다. GC/MSD는 일반적인 GC와 mass spectrometer가 특별히 고안된 inlet system으로 연결되어 있다.

복잡한 혼합물질의 확인, 열분해산물 확인 등에 사용가능하다.

1.2 고성능 액체크로마토그래피 (HPLC)

낮은 증기압을 가지며, 열에 안정하지 않은 물질의 경우 GC보다 HPLC 분석이 더 적합하다. GC가 가스를 이동상으로 사용하는 반면, LC는 액체를 이동상으로 사용한다. HPLC로 분석하기 위해서는 분석 대상오염물질이 이동상에 용해되어야 한다. HPLC는 유도체화 이소시아네이트들을 분리하여 검출하기 때문에 이소시아네이트 분석에 유용하며, PAHs 분석에도 사용된다. LC와 MS를 같이 사용하면 많은 벌크 시료에 대한 정보를 얻을 수 있다.

1.2.1 UV absorbance detector

HPLC의 UV 검출기는 방향족탄화수소에 민감하다.

1.2.2. Fluorescence detector

HPLC의 Fluorescence detector는 PAHs와 같은 conjugated 방향족 화합물

에 매우 민감하다. 이 검출기는 다양한 램프, 파장에서 사용가능하다.

1.2.3 Electrochemical detector

HPLC의 Electrochemical detector는 페놀, 방향족아민, 케톤, 알데히드, 머캅탄과 같은 물질에 반응한다.

1.3 이온크로마토그래피 (Ion Chromatography, IC)

지금까지 공기 중 음이온에 대한 분석은 복잡하고, 방해물의 영향을 받기 쉬웠다. IC의 개발로 몇 가지 음이온, F^- , Cl^- , PO_4^{2-} , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cr^{6+} 에 대한 분석이 가능하다. 산업위생분석은 conductivity detector로 가능하다.

2. Spectrophotometric 방법

UV spectrometry은 특정 wavelength에서 빛의 흡수를 측정하여 정량적인 분석을 한다. 분석할 때 다른 물질의 방해를 받기 쉽다.

III. 계산

□ NIOSH 1501 method 이용하여 톨루엔을 측정할 경우

1. 권고유량 ≤ 0.20 Lpm

2. LOD :

3. 파과부피 : 12 Liter at 200 ppm = 9.04mg/sample

유속을 0.10 Lpm으로 결정할 경우 최소 및 최대 시료채취부피를 계산해보자.

* 200 ppm을 mg/m^3 으로 전환

$$ppm = mg/m^3 \times 24.45/MW$$

$$\frac{200 \times 92.14}{24.45} = 753.7 mg/m^3$$

	최소	최대
시료채취부피	1 L	8 L
시료채취시간	$\frac{1 \text{ L}}{0.1 \text{ L/min}}$ = 10 min	$\frac{8 \text{ L}}{0.1 \text{ L/min}}$ = 80 min
OSHA TWA @ 200 ppm	0.7537 mg/1L	6.0296 mg/8L
@ 100 ppm	0.3769 mg/1L	3.0148 mg/8L
@ 50 ppm	0.1884 mg/1L	1.5074 mg/8L
@ 5 ppm	0.0188 mg/1L	0.1507 mg/8L

참고문헌

1. 작업환경측정 (2002) : 박동욱, 윤충식, 백남원 공저, 한국방송통신대학교 출판부
2. The Occupational Environment- Its Evaluation and Control (1997) - Edited by Salvatore R.Dinardi