

KOSHA GUIDE

A - 7 - 2019

베릴륨에 대한
작업환경측정·분석 기술지침

2019. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 정광재
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실

- 제·개정 경과
 - 2010년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의(제정)
 - 2012년 5월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
 - 2015년 4월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
 - 2018년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
 - 2019년 11월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

- 관련규격 및 자료
 - National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical methods (NMAM), 4th ed, www.cdc.gov/niosh/nmam
 - Occupational Safety and Health Administration (U.S.A), Sampling and Analytical method, www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html
 - Health and Safety Executive (U.K.), Methods for the Determination of Hazardous Substances (MDHS) guidance, www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/
 - American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Ed, 2019.

- 관련법규·규칙·고시 등
 - 산업안전보건법 시행규칙 제150조 (유해인자 허용기준)
 - 산업안전보건법 시행규칙 제193조 (작업환경측정 대상작업장 등)
 - 고용노동부 고시 제2017-27호 (작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시)
 - 고용노동부 고시 제2018-62호 (화학물질 및 물리적인자의 노출기준)

- 기술지침의 적용 및 문의
 - 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
 - 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

- 공표일자 : 2019년 12월 24일
- 제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

베릴륨에 대한 작업환경측정 · 분석 기술지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건법 시행규칙 제150조(유해인자 허용기준)의 규정에 따른 허용기준 설정 대상 유해인자와 제193조(작업환경측정 대상 작업장 등)의 규정에 따른 작업환경측정 대상 유해인자 중 베릴륨에 대한 측정 및 분석을 수행할 때 정확성 및 정밀성을 유지하기 위하여 필요한 제반 사항에 대하여 규정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침의 적용대상은 산업안전보건법 시행규칙에서 정한 허용기준 설정 대상 유해인자와 작업환경측정 대상 유해인자 중 베릴륨 및 그 **화합물**의 측정, 분석 및 이와 관련된 사항에 한한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음의 각 호와 같다.

- (가) “밀폐”라 함은 취급 또는 보관 상태에서 고형(固形)의 이물(異物)이 들어가지 않도록 한 상태를 말한다.
- (나) “밀봉”이라 함은 취급 또는 보관 상태에서 기체 또는 미생물이 침입할 염려가 없는 상태를 말한다.
- (다) 중량을 “정확하게 단다.”라 함은 지시된 수치의 중량을 그 자릿수까지 단다는 것을 의미한다.
- (라) “약”이란 그 무게 또는 부피에 대하여 $\pm 10\%$ 이상의 차가 있어서는 안 된다.
- (마) 시험조작 중 “즉시”라는 용어는 30초 이내에 표시된 조작을 하는 것을 말한다.
- (바) “검출한계”라 함은 주어진 분석절차에 따라 합리적인 확실성을 가지고 검출할 수 있는 가장 적은 농도나 양을 의미한다.
- (사) “정량한계”라 함은 주어진 신뢰수준에서 정량할 수 있는 분석대상물질의 가장

최소의 양으로, 단지 검출이 아니라 정밀도를 가지고 정량할 수 있는 가장 낮은 농도를 말한다. 일반적으로 검출한계의 3배 수준을 의미한다.

(아) “회수율”이라 함은 채취한 유기화합물 등의 분석 값을 보정하는데 필요한 것으로, 시료채취 매체와 동일한 재질의 매체에 첨가된 양과 분석량의 비로 표현된 것을 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 기준에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부 고시 제2017-27호)에서 정하는 바에 따른다.

4. 일반사항

(1) 이 시험법에 필요한 어원, 분자식 및 화학명 등은 특별한 언급이 없는 한 () 내에 기재한다.

(2) 원자량은 국제순수 및 응용화학협회(IUPAC)에서 제정한 원자량 표에 따른다. 분자량은 소수점 이하 제 2단위까지 하고 제 3단위에서 반올림한다.

(3) 이 시험법에 규정한 방법이 분석화학적으로 반드시 최고의 정밀도와 정확도를 갖는다고는 할 수 없으며 이 시험방법 이외의 방법이라도 동등 이상의 정확도와 정밀도가 있다고 인정될 때에는 그 방법을 사용할 수 있다.

(4) 이 시험방법에 표시한 사항 중 회수율, 검출한계 등은 각조의 조건으로 시험하였을 때 얻을 수 있는 값을 참고하도록 표시한 것이므로 실제로는 그 값이 분석조건에 따라 달라질 수 있다.

(5) 시료의 시험, 바탕시험 및 표준액에 대한 일련의 동일시험을 행할 때 사용하는 시약 또는 시액은 동일 롯트(LOT)로 조제된 것을 사용한다.

(6) 이 시험법에 사용하는 유효숫자는 따로 규정이 없는 한 한국산업규격 KS Q 5002 (데이터의 통계적 해석방법)에 따른다.

(7) 이 시험법에 규정하지 않는 사항에 대해서는 일반적인 화학적 상식에 따르되 이

시험법에 기재한 방법 중 세부조작은 시험의 본질에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 시험자가 적당히 변경 조절할 수 있다.

- (8) 단위 및 기호 : 길이, 넓이, 부피, 농도, 압력 또는 무게를 나타내는 단위 및 기호는 아래 표에 따른다. 여기에 표시되어 있지 않은 단위는 한국산업규격 KS A ISO 80000-1(양 및 단위-제1부: 일반사항)에 따른다.

| 종류 | 단위 | 기호 | 종류 | 단위 | 기호 |
|----|---------|--------------------|----|-------------|-----------------|
| 길이 | 미터 | m | 농도 | 몰농도 | M |
| | 센티미터 | cm | | 노르말농도 | N |
| | 밀리미터 | mm | | 밀리그램/리터 | mg/L |
| | 마이크로미터 | μm | | 마이크로그램/밀리리터 | μg/mL |
| | 나노미터 | nm | | 퍼센트 | % |
| 압력 | 기압 | atm | 부피 | 세제곱미터 | m ³ |
| | 수은주밀리미터 | mmHg | | 세제곱센티미터 | cm ³ |
| | 수주밀리미터 | mmH ₂ O | | 세제곱밀리미터 | mm ³ |
| 넓이 | 제곱미터 | m ² | 무게 | 킬로그램 | kg |
| | 제곱센티미터 | cm ² | | 그램 | g |
| | 제곱밀리미터 | mm ² | | 밀리그램 | mg |
| | | | | 마이크로그램 | μg |
| 용량 | 리터 | L | | | |
| | 밀리리터 | mL | | | |
| | 마이크로리터 | μL | | | |

(9) 온도

(가) 온도의 표시는 셀시우스(Celsius) 법에 따라 아라비아숫자 오른쪽에 °C를 붙인다. 절대온도는 K로 표시하고 절대온도 0 K는 -273°C로 한다.

(나) 상온은 15~25°C, 실온은 1~35°C, 미온은 30~40°C로 한다. 냉소는 따로 규정이 없는 한 15°C이하의 곳을 뜻한다.

(10) 농도

(가) 액체 단위부피중의 성분질량 또는 기체 단위부피중의 성분질량을 표시할 때에는 중량/부피(w/v)%의 기호를 사용한다. 액체 단위부피중의 성분용량, 기체 단위 부피중의 성분용량을 표시할 때에는 부피/부피(v/v)%의 기호를 사용한다.

백만분의 용량비를 표시할 때는 ppm(part per million)의 기호를 사용한다.

- (나) 공기 중의 농도를 mg/m^3 으로 표시했을 때의 m^3 은 정상상태(NTP, Normal Temperature and Pressure : 25℃, 1기압)의 기체용적을 뜻한다. 따라서 노출기준과 비교 시는 작업환경 측정 시의 온도와 압력을 실측하여 정상상태의 농도로 환산하여야 한다.

(11) 시약, 표준물질

- (가) 분석에 사용되는 시약은 따로 규정이 없는 한 화학용 시약에 규정된 일급이상의 것을 사용하여야 한다. 분석에 사용하는 시약은 제조회사에서 표시하는 농도 함량을 따른다.
- (나) 광도법, 전기화학적분석법, 크로마토그래피법, 고성능액체크로마토그래피법에 쓰이는 시약은 특히 순도에 주의해야 하고, 분석에 영향을 미치는 불순물을 함유할 염려가 있을 때는 미리 검정하여야 한다.
- (다) 분석에 사용하는 지시약은 특이한 것을 제외하고는 한국산업규격 KS M 0015 (화학 분석용 지시약 조제방법)에 규정된 지시약을 사용한다.
- (라) 시험에 사용하는 표준품은 원칙적으로 특급시약을 사용하며, 표준용액을 조제하기 위한 표준용 시약은 따로 규정이 없는 한 적절히 보관되어 오염 및 변질이 안 된 상태로 보존된 것을 사용한다.

- (12) 측정·분석 방법에 사용하는 증류수는 따로 규정이 없는 한 정제증류수 또는 이온교환수지로 정제한 탈염수(脫鹽水)를 말한다.

(13) 기구

- (가) 계량기구중 측정값을 분석결과의 계산에 사용할 목적으로 사용되는 것은 모두 보정하는 것을 원칙으로 한다.
- (나) 중량분석 용 저울은 적어도 10^{-5} g(0.01 mg)까지 달수 있어야 하며, 화학분석용 저울은 적어도 10^{-4} g(0.1 mg)까지 달 수 있어야 하며, 국가검정을 필한 제품 또는 이에 준하는 검정을 필한 제품이어야 한다.
- (다) 이 시험법에서 사용하는 모든 유리 기구는 한국산업규격 KS L 2302(이화학용 유리기구의 모양 및 치수)에 적합한 것 또는 이와 동등이상의 규격에 적합한 것으로 국가에서 지정한 기관에서 검정을 필한 것을 사용하여야 한다.
- (라) 여과용 기구 및 기기는 특별한 언급이 없이 “여과한다”라고 하는 것은 한국산업규격 KS M 7602(거름종이(화학 분석용)) 거름종이 5종 또는 이와 동등한 여과지를 사용하여 여과함을 말한다.

5. 시료채취 및 분석 시 고려사항

(1) 시료채취 기구 및 측정방법의 선택

시료채취의 목적과 시료채취시간, 방해인자, 예상되는 오염농도 및 실험실에서 보유하고 있는 분석장비의 능력 등을 종합적으로 고려하여 최적의 시료채취기구 및 분석방법을 선택한다.

(2) 검량선 작성을 위한 표준용액제조

(가) 대상물질의 특성과악

분석하고자 하는 물질의 표준용액을 만들 원액(시약)의 순도와 특성(분자량, 비중, 노출기준)을 파악한다.

(나) 채취시료의 예상농도의 0.1~2배 수준에서 각 분석대상물질의 양을 결정한다.

(다) 표준용액 제조방법의 결정

일반적으로 표준용액 제조시 표준원액(stock solution)을 단계적으로 희석시키는 방법(희석식)과 표준원액에서 일정량씩 줄여 가면서 만드는 방법(배치식)이 있다. 희석식은 만들기가 수월한 반면 표준원액이 잘못되면 계통오차를 줄 수 있고 배치식은 여러 검량선 작성용 용액 중 몇 개가 잘못되더라도 이를 보정 할 수가 있으나 만들기가 어려운 단점이 있다.

(라) 표준용액의 제조

충분한 수의 표준용액을 준비한다. 일반적으로 분석하고자 하는 농도를 포함한 최소한 5개 수준의 표준용액을 제조한다.

(마) 검량선의 작성시 주의점

- ① 표준원액으로 사용될 원액의 순도, 제조일자, 유효기간 등을 잘 파악해야 한다.
- ② 표준용액, 회수율 등에 사용되는 시약은 같은 롯트(Lot)번호를 가진 것을 사용해야 한다.
- ③ 검량선은 시료 분석조건과 주입방법에 따라 작성하고 검량선이 적정하다고 판정하면 시료를 분석한다. 검량선은 분석할 시료의 농도를 포함해야 하며 외삽법은 피한다. 검량선의 적정성은 제시된 분석기기의 매뉴얼을 참조하거나 상관계수가 0.99이상의 것을 사용하도록 한다.

(3) 회수율 검정을 위한 시료제조 및 회수율 계산방법

회수율은 여과지를 이용하여 채취한 물질의 분석값을 보정하는데 필요한 것으로 채취에 사용하지 않은 동일한 여과지에 첨가된 양과 분석량의 비로 표현된 값을 말한다. 이 실험을 통하여 여과지의 오염, 시약의 오염, 여과지에 대한 시료채취 효율 등을 알 수 있다. 시료 배치 당 최소한 한 번씩은 행해야 한다.

- (가) 회수율 실험을 위한 첨가량을 결정한다. 작업장의 농도를 포함하도록 예상되는 농도(mg/m^3)와 공기채취량(L)에 따라 첨가량을 계산한다. 만일 작업장의 예상 농도를 모를 경우 첨가량은 노출기준과 공기채취량 240 L를 기준으로 계산한다. 계산된 첨가량 3개 농도 수준(0.5~2배)의 양을 반복적으로 3개(3수준 \times 3반복 = 9개) 주입할 여과지와 공시료 3개를 준비한다.
- (나) 분석대상물질의 원액 또는 희석액 일정량을 마이크로피펫 또는 마이크로시린지를 이용하여 여과지에 주입한다.
- (다) 여과지를 밀봉하고 하루 동안 상온에 놓아둔다.
- (라) 여과지를 바이알에 넣고 추출용액으로 추출한다.
- (마) 시료를 분석하여 검출량을 구한다.
- (바) 다음 식에 의해 회수율을 구한다.

$$\text{회수율} = \text{분석량} / \text{첨가량}$$

- (사) 회수율은 최소한 0.75 이상이 되어야 하나 0.90 이상이면 좋다. 회수율에 대한 평가는 분석자가 해야 한다. 즉 12개의 회수율 실험결과를 근거로 판단해야 할 사항은 회수율간의 일정성이다. 만일 회수율간의 차이가 크고 변이가 심하여 일정성이 없으면 정확한 보정이 될 수가 없다. 따라서 그 원인을 찾아 교정하고 다시 실험을 실시해야한다.

베릴륨(Beryllium, as Be)

| | | | |
|------------|-------------|------------|--------------------|
| 분자식: Be | 화학식: Be | 분자량: 40.31 | CAS No.: 7440-41-7 |
| 녹는점: 1287℃ | 끓는점: >2500℃ | 비 중: 1.9 | 용 해 도: 가용성 |

특징, 발생원 및 용도: 물과 반응성이 좋은 무취의 흰색 고체, 트랜지스터, 컴퓨터칩의 재료, 형광 등, 네온사인, 우주개발용 구조체, X-선관구, 원자력용 수조체 등의 제조

| | | | | |
|------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 노출기준 | 고용노동부 (mg/m ³) | 0.002, 0.01(STEL), 발암성 1A, Skin | OSHA (mg/m ³) | 0.002, 0.005(STEL) |
| | ACGIH (mg/m ³) | 0.00005 | NIOSH (mg/m ³) | 0.0005(C) |

동의어: Beryllium metal

분석원리 및 적용성: 작업환경 중 대상물질을 여과지에 채취하여 산으로 회화시킨 다음 시료용액을 조제하여 유도결합플라스마분광광도계(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, ICP) 또는 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)를 이용하여 정량한다.

| 시료채취 개요 | 분석 개요 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 시료채취매체: MCE 여과지 혹은 PVC 여과지 ■ 유량: 1~4 L/min ■ 공기량-최대: 1000 L -최소: 25 L ■ 운반: 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반 ■ 시료의 안정성: 안정함 ■ 공시료: 시료 세트 당 2~10개 또는 시료수의 10%이상 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 분석기술: 유도결합플라스마분광광도계법 또는 원자흡광광도계법 ■ 분석대상물질: Be ■ 전처리: 진한질산(HNO₃) 10 mL; 진한황산(H₂SO₄) 1 mL ■ 파장: 234.9 nm ■ 검량선: Be²⁺ 표준용액 in 2%Na₂SO₄/3%H₂SO₄ ■ 범위: 0.05~1 µg/sample ■ 검출한계: 0.005 µg/sample ■ 정밀도: 0.008 |
| 방해작용 및 조치 | 정확도 및 정밀도 |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 칼슘에 의한 방해작용은 3%(v/v) 황산용액으로 보완할 수 있다. ■ 나트륨, 칼륨, 알루미늄은 베릴륨 흡광도를 증가시키는 영향을 줄 수 있으며, 이는 2%(w/v) 황산나트륨을 첨가하여 줄일 수 있다. ■ 과염소산, 인산, 불산은 비원자 피크 (non-atomic peak)에 의한 방해작용. | <ul style="list-style-type: none"> ■ 연구범위(range studied): 2.7~11.8 µg/m³(40L) ■ 편향(bias): -0.39% ■ 총 정밀도(overall precision): 0.064 ■ 정확도(accuracy): ± 12.42% ■ 시료채취분석오차: 0.132 |

| 시약 | 기구 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 진한 질산, HNO_3(특급) 진한 황산, H_2SO_4(특급) 황산 나트륨, (Sodium sulfate, reagent grade) 2%(w/v)황산 나트륨/3%(v/v) 황산 : 500 mL 용량 플라스크에 10g 황산 나트륨과 15 mL 황산을 넣고, 증류수로 표선을 맞춘다. 표준용액, 1000 $\mu\text{g/mL}$: 시약업체에서 구매가능, 또는 Be 1 g을 소량의 염산에 첨가하고, 1%(v/v) 염산으로 1 L로 희석시킴. 아르곤(argon) 증류수 | <ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: MCE 여과지 혹은 PVC 여과지 (공극 0.8 μm, 직경 37 mm), 카세트 홀더 개인시료채취펌프(유연한 튜브관 연결됨), 유량 1~4 L/min 유도결합플라스마분광광도계 또는 원자흡광광도계 비커, 시계접시 용량플라스크 피펫 가열판(표면온도 100℃~400℃) 또는 마이크로웨이브 회화기 수욕조(60~70℃) <p>※ 모든 유리기구는 사용 전에 질산으로 씻고 증류수로 행구어 준다.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> 특별 안전보건 예방조치: 베릴륨은 매우 독성이 강하며 인체 발암성 물질이므로 취급시 주의가 필요하며, 모든 산 회화작업은 흡후드에서 이루어져야 한다. ('V. 비고' 참고) | |

I. 시료채취

- 각 개인 시료채취펌프를 하나의 대표적인 시료채취매체로 보정한다.
- 1~4 L/min의 유량으로 총 25~1000 L의 공기를 채취하며, 여과지에 채취된 먼지가 총 2 mg을 넘지 않도록 한다.
- 채취가 끝난 여과지는 밀봉하여 먼지가 떨어지지 않도록 카세트를 바로 세워서 운반한다.

II. 시료 전처리

- 카세트필터 홀더를 열고 시료와 공시료를 깨끗한 비커로 옮긴다.
- 질산 10 mL와 황산 1 mL를 넣고 시계접시를 덮은 후, 질산의 갈색 흡이 없어질 때까지, 가열판에서 가열한다.
- 질산의 갈색 흡이 사라지면, 황산 흡이 사라질 때까지 가열판(약 400℃)에서 가열한다.
※ 주의 : 시료의 화합물들이 위의 회화 과정에서 용해가 가능한지 확인해야 한다. 광석이나 탄광업에서 채취한 시료는 불산을 이용하여 전처리를 해야하며, 추가적인 회화용 산용액으로 불산, 과염소산, 인산 등을 사용한다면 회화 시에 잘 증발시켜야 한다.
- 용액을 식힌 후, 시계접시와 비커의 벽면을 증류수로 가볍게 행구고, 건조되기 직전까지 증발시킨 후 바로 비커를 가열판에서 꺼내어 식힌다.
- 비커에 2% Na_2SO_4 /3% H_2SO_4 용액을 10 mL 넣고 시계접시 뚜껑을 덮는다.
- 비커를 수욕조에 넣고 60~70℃로 10분간 가열한 후, BeSO_4 의 완전한 용해를 위해 하루동안 상온에 방치한 후 분석한다.
※ 전처리 시 막여과지에 채취된 시료를 잘 회화시킬 수 있는 다른 산 용액을 사용할 수 있다.

III. 분석

【검량선 작성 및 정도관리】

10. 베릴륨 0.005~1 µg/sample이 되도록 10 mL 용량 플라스크에 2%Na₂SO₄/3%H₂SO₄ 용액을 사용하여 최소 5개의 표준 용액을 제조한다. 이 때, 표준용액은 폴리에틸렌 병에 보관한다.
11. 표준용액을 공시료 및 시료와 함께 분석한다.
12. 표준용액 농도(µg/mL)에 따른 흡광도 결과를 바탕으로 검량선 그래프를 작성한다.
※ 이때 선형 회귀 분석을 이용하는 것이 좋다. 검량선용 공시료의 흡광도를 다른 검량선용 표준용액의 흡광도에서 뺀 후 검량선을 작성할 것을 권장한다.
13. 작성한 검량선에 따라 보통 10개의 시료를 분석한 후, 표준용액을 이용하여 분석기기 반응에 대한 재현성을 점검한다. 재현성이 나쁘면 검량선을 다시 작성하고 시료를 분석한다.
※ 표준용액의 흡광도 변이가 ±5%를 초과했다면 검량선을 재작성하여 시료를 분석한다.
14. 시료채취매체(막여과지)에 알고 있는 양의 분석대상물질을 첨가한 시료(spike 시료)로 아래와 같이 회수율(recovery) 시험을 실시하여 현장 시료 분석값을 보정한다.

<회수율 시험>

- 1) 예상 시료량이 포함되도록 3가지 이상의 수준 및 각 수준별로 3개 이상의 시료를 만든다.
- 2) 하룻밤 방치한 후 'II. 시료전처리' 과정과 동일하게 전처리하고 현장 시료와 동일하게 분석한 후 회수율을 다음과 같이 구한다.

$$\text{회수율} = \text{분석값} / \text{첨가량}$$

- 3) 2에서 구한 회수율로 시료의 분석값을 다음과 같이 보정한다. 수준별로 회수율의 차이가 뚜렷하면 수준별로 보정한다.

$$\text{보정 분석값} = \text{현장시료 분석값} / \text{회수율}$$

15. 방해작용을 확인하기 위해 가끔씩 표준용액 첨가법(method of standard additions)을 사용한다.

【분석과정】

16. 제조사의 권고와 첫 페이지에 제시된 바에 따라 기기의 조건을 설정한다.
17. 시험용액을 각각 분석한다.
18. 적당한 비율로 표준용액을 희석하여 분석대상 금속의 검출한계를 구한다.

※검출한계는 분석기기의 검출한계와 분석 방법의 검출한계로 구분되며, 분석기기의 검출한계라 함은 최종시료 중에 포함된 분석대상물질을 검출할 수 있는 최소량을 말하고, 분석 방법의 검출한계라 함은 작업환경측정 시료 중에 포함된 분석대상물질을 검출할 수 있는 최소량을 말하며, 구하는 요령은 다음과 같다.

- 기기 검출한계: 분석대상물질을 용매에 일정 양을 주입한 후 이를 점차 희석하여 가면서 분석기기가 반응하는 가능한 낮은 농도를 확인한 후, 이 최저 농도를 7회 반복 분석하여 반복 시기기의 반응 값들로부터 표준편차를 가한 후 다음과 같이 검출한계 및 정량한계를 구한다.

- 검출한계: $3.143 \times \text{표준편차}$

- 정량한계: 검출한계 $\times 4$

- 분석 방법의 검출한계: 분석기기가 검출할 수 있는 가능한 저농도의 분석대상물질을 시료채취 기구에 직접 주입시켜 흡착시킨 후, 시료 전처리 방법과 동일한 방법으로 탈착시켜, 이를 7회 반복 분석하여 기기 검출한계 및 정량한계 계산방법과 동일한 방법으로 구한다.

※ 검출한계를 구하는 방법은 위 방법 외에도 다양하며, 다른 방법으로도 계산이 가능하다.

19. 흡광도 기록을 저장한다.

※ 참고: 만약 시료의 흡광도 값이 검량선 그래프 직선보다 위에 있다면 그 용액을 2%Na₂SO₄ /3%H₂SO₄ 용액으로 희석하여 재분석하고 농도계산 시 정확한 희석계수를 적용한다.

IV. 계산

20. 측정된 흡광도를 이용하여 그에 상응하는 시료의 금속 농도(C_s)와 공시료의 평균값(C_b)을 계산한다.

21. 시료의 용액 부피(V_s)와 공시료 부피(V_b)를 이용하여 채취된 공기중(V) 채취물질의 농도(C)를 계산한다.

22. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{(A - A_b) \times C_s \times V_s \times 10^3}{(A_s - A_r) \times V \times RE}$$

| | |
|----------------|--|
| C | : 분석물질의 최종 농도(μg/m ³) |
| A | : 시료의 흡광도 |
| A _b | : 공시료의 평균흡광도 |
| A _r | : sulfate 시약에 의한 평균흡광도(reagent blank) |
| A _s | : 표준용액의 흡광도 |
| C _s | : 표준용액에 의해 분석된 시료 농도(μg/m ³) |
| V _s | : 시료를 희석한 총량(mL) |
| V | : 공기채취량(L) |
| RE | : 회수율 |

V. 비교

- 이 방법은 NIOSH Method 7102에 기초하였다.
- 다른 방법은 NIOSH method 7304 등이 있다.
- 다른 전처리 방법으로 원자흡광광도계 불꽃원자화법(Atomic Absorption Spectrophotometer, Flame)으로 분석할 수 있는 HSE MDHS 29-2가 있다.
- 다른 전처리 방법으로 막여과지에 채취된 시료를 잘 회화시킬 수 있는 다른 산 용액을 사용할 수 있다.
- 건강영향 및 예방조치: 호흡기, 피부접촉, 눈접촉 등으로 인해 흡수되며, 장기간 노출되는 경우 베릴륨 중독증이 있을 수 있고, 체중감소, 피로, 가슴 통증, 곤봉지(clubbing of fingers), 청색증 등을 일으킬 수 있다. 또한 인체 발암성이 확인된 물질이므로 사용 전 글러브, 마스크, 실험복 등의 보호구를 철저히 착용해야 하며, 실험 시 화재가 발생하지 않도록 주의해야 한다.

VI. 참고문헌

-
1. 고용노동부 고시 제2018-62호, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 2018.
 2. 고용노동부 고시 제2017-27호, 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시, 2017.
 3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Ed, 2019.
 4. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : NIOSH pocket guide to chemical hazards and other databases, 2018.
 5. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 7102.
 6. Health and Safety Executive(HSE): Methods for the Determination of Hazardous Substances(MDHS) 29-2. In HSE Books. HSE, 1998.
-