

KOSHA GUIDE

A - 173 - 2019

6가크롬에 대한
작업환경측정·분석 기술지침

2019. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실
- 제·개정 경과
 - 2019년 11월 산업위생분야 제정위원회 심의(제정)
- 관련규격 및 자료
 - National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical methods (NMAM), 5th 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

6가 크롬 화합물에 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 6가 크롬에 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 6가 크롬 화합물의 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 ℃를 붙인다. 절대온도는 K로 표시하고 절대온도 0 K는 -273℃로 한다.

(나) 상온은 15~25℃, 실온은 1~35℃, 미온은 30~40℃로 한다. 냉소는 따로 규정이 없는 한 15℃이하의 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.

6가 크롬 (Chromium, Hexavalent)

분자식: Cr^{6+} 화학식: - 분자량: 52(Cr), 99.99(CrO_3) CAS No.: 18540-29-9
녹는점: - 끓는점: - 비 중: - 용 해 도: -

특징, 발생원 및 용도: -

노출기준	고용노동부 (mg/m^3)	0.01(불용성무기화합물), 발암성 1A 0.05(수용성), 발암성 1A	OSHA (mg/m^3)	0.005; C 0.1 as CrO_3
	ACGIH (mg/m^3)	0.0002(TWA), (water-soluble compounds)	0.0005(STEL) NIOSH (mg/m^3)	0.0002

동의어: -

분석원리 및 적용성: 작업환경 중 대상물질을 여과지에 채취하여 추출용액으로 추출한 후 일정량을 이온크로마토그래프(Ion Chromatograph, IC), 전도도검출기(Conductivity Detector, CD) 또는 분광검출기(UV Detector)에 주입하여 정량한다.

시료채취 개요	분석 개요
<ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: PVC여과지 (37 mm, 공극 5 μm) 유량: 1~4 L/min 공기량 -최대: 1000 L -최소: 100 L 운반: 시료채취기의 마개를 완전히 밀봉하여 운반하고 도금공정에서 채취된 시료는 시료채취 후 즉시 여과지를 꺼내 바이알에 넣고 추출용액(2% 수산화나트륨/3% 탄산나트륨) 5 mL를 첨가하여 여과지를 완전히 적신 후 마개로 밀봉하고 냉장보관하여 운반 시료의 안정성: 냉장보관하고 2주 이내 분석, 스테인리스강 용접공정의 시료는 채취 후 8일 이내 분석 공시료: 시료 세트 당 2~10개 또는 시료수의 10%이상 	<ul style="list-style-type: none"> 분석기술: 이온크로마토그래피법, 전도도검출기 또는 분광검출기 분석대상물질: CrO_4^{2-}-Diphenylcarbazide (DPC) complex 전처리: 2% 수산화나트륨/3% 탄산나트륨 컬럼: Pre-컬럼, 음이온교환 컬럼(anion-exchange column), 음이온 썬퍼래서(anion suppressor) 시료주입량: 50~100 μL 검출한계: 3.5 $\mu\text{g}/\text{sample}$
방해작용 및 조치	정확도 및 정밀도
<ul style="list-style-type: none"> 작업장 공기 중에 철, 구리, 니켈, 또는 바나듐은 분석과정에서 방해물질로 작용할 수 있다. 이러한 방해물질의 영향은 알칼리 추출방법을 사용함으로써 최소화시킬 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 연구범위(range studied): - 편향(bias): - 총 정밀도(overall precision): - 정확도(accuracy): - 시료채취분석오차: 0.130

시약	기구
<ul style="list-style-type: none"> 황산(sulfuric acid, 98% w/w) 수산화암모늄(ammonium hydroxide, 28%) 황산암모늄(ammonium sulfate monohydrate, 시약등급) 탄산나트륨(sodium carbonate, anhydrous) 수산화나트륨(sodium hydroxide, 시약등급) 메탄올(methanol, HPLC 등급) 1,5-디페닐카바자이드(1,5-diphenylcarbazide, 시약등급) 1,000 µg/mL 또는 동등 이상의 6가 크롬 표준 용액 추출용액(2% 수산화나트륨/3% 탄산나트륨): 1 L 용량플라스크에 20 g의 수산화나트륨(NaOH)과 30 g의 탄산나트륨(Na₂CO₃)을 넣고 증류수로 표시선까지 맞춘다. 용리액(eluent) <ul style="list-style-type: none"> - 전도도검출기(7 mM 탄산나트륨/0.5 mM 수산화나트륨) : 4 L 용량플라스크에 탄산나트륨 2.97 g을 증류수로 녹인 후 0.1 M 수산화나트륨(8 g/L) 20 mL를 넣은 후 증류수로 표시선까지 맞춘다. - 분광검출기(250 mM 황산염/200 mM 수산화암모늄) : 1 L 용량플라스크에 황산암모늄 33 g을 증류수로 녹인 후 수산화암모늄 6.5 mL를 넣은 후 증류수로 표시선까지 맞춘다. 발색시약 용액 : 2 mM 1,5-디페닐카바자이드 / 10% 메탄올 / 1 N 황산 <ol style="list-style-type: none"> 1,5-디페닐카바자이드 (1,5-diphenylcarbazide) 0.5 g을 100 mL 용량플라스크에 넣어 메탄올로 녹인 후 표시선까지 맞춘다. 1 L 용량플라스크에 증류수를 넣고 황산(H₂SO₄) 28 mL를 첨가하고 1)용액을 넣은 후 증류수로 표시선까지 맞춘다. 	<ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: PVC여과지 (37 mm, 공극 5 µm), 폴리스티렌 카세트홀더 개인시료채취펌프, 유량 1~5 L/min 이온 크로마토그래피, Pre-컬럼, 음이온교환 컬럼 (anion-exchange column), 음이온 썬프레스 (anion suppressor) 바이알, PTFE캡 핀셋 보호장갑 PTEF 실린지 필터 비커 시계접시 : 1:1 HNO₃:H₂O로 세척하여 사용 용량플라스크 오븐(핫플레이트 혹은 초음파수조 가능)
<ul style="list-style-type: none"> 특별 안전보건 예방조치: 크롬화합물은 사람에게 발암성이 확인된 물질이다. 모든 시료는 반드시 후드 안에서 작업하도록 하여야 한다. 고농도의 산과 염기는 유독하며 부식성이 있으므로 고농도의 물질을 취급 시에는 보호장비를 반드시 착용하여야 한다. 수산화암모늄은 호흡기계에 자극을 주며, 메탄올은 가연성이며 유독하다. 	

I. 시료채취

1. 각 개인 시료채취펌프를 하나의 대표적인 시료채취매체로 보정한다.
2. 1~4 L/min의 유량으로 총 100~1000 L의 공기를 채취한다.
3. 채취된 시료는 시료채취기의 마개를 완전히 밀봉한 후 운반한다.
 - ※ 6가 크롬 도금공정에서 채취된 시료는 시료채취 후 즉시 여과지를 꺼내 바이알에 넣고 추출용액 (2% 수산화나트륨/3% 탄산나트륨) 5 mL를 첨가하여 여과지를 완전히 적신 후 마개로 밀봉하여 냉장보관 한다.
 - ※ 스테인리스강(stainless steel) 용접공정에서 채취된 시료의 경우는 시료채취 후 8일 이내에 분석한다.

II. 시료 전처리

4. 시료채취기로부터 여과지를 핀셋을 이용해 꺼낸 후 50 mL 비커에 넣고, 추출용액을 5 mL 첨가한다. 바이알에 추출용액으로 담구어 운반 보관한 시료는 여과지와 용액을 50 mL 비커에 넣은 후 추출용매로 바이알을 2~3번 행구어 비커에 담는다.
 - ※ 시료에 Cr(III)이 존재한다면 비커에 담긴 시료용액에 질소가스를 5분 정도 불어(버블링) 넣어준다.
 - ※ 수용성 6가 크롬화합물만 존재 한다면 추출용매 대신 증류수를 사용할 수 있다.
5. 비커에 유리덮개를 덮고 약 100~135℃ 정도의 가열판 위에서 45분 정도 가끔 흔들어 주면서 가열시킨다. 이때 용액에 끓어오르지 않도록 주의한다.
 - ※ 시료용액을 너무 오랫동안 가열하여 완전히 증발시키거나 건조시키면 안 된다. 여과지의 색깔이 갈색으로 변할 정도로 가열하면 Cr(VI)이 PVC 여과지와 반응하여 손실될 수 있으므로 주의한다.
 - ※ 페인트 스프레이 공정에서 채취한 6가 크롬화합물 경우 90분 이상 가열이 필요할 수도 있다.
6. 용액을 식힌 후 10~25 mL의 용량플라스크에 옮긴다. 이때 비커를 증류수로 2~3번 행구어 시료손실이 없도록 한다.

III. 분석

【검량선 작성 및 정도관리】

7. 시료농도범위가 포함될 수 있도록 최소 5개 이상의 농도수준을 표준용액으로 하여 검량선을 작성한다. 이때 표준용액의 농도 범위는 현장시료 농도범위를 포함하는 것이어야 한다.
8. 표준용액의 조제는 25 mL 용량플라스크에 추출용액 5 mL를 넣고 일정량의 6가 크롬 표준용액을 첨가한 후 증류수로 최종부피가 25 mL가 되게 하는 방식으로 조제토록 한다.
9. 작업장에서 채취된 현장시료, 회수율 시험시료, 현장 공시료 및 공시료를 분석한다.
10. 분석된 회수율 검증시료를 통해 아래와 같이 회수율을 구한다.

$$\text{회수율(RE, recovery)} = \text{검출량/첨가량}$$

【분석과정】

11. 이온크로마토그래피에서 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고 기타 조건을 설정한다.
12. 시료를 정량적으로 정확히 주입한다. 시료 주입법은 자동주입기를 이용하는 방법이 있다.
 - ※ 분석기기, 컬럼 등에 따라 적절한 분석조건을 설정하며, 아래 조건은 참고사항임.
 - ※ 만약 시료 피크가 검량선을 벗어난다면 회석하여 재분석한다.

1) 전도도 검출기 사용

컬럼	Dionex HPIC-AG5 guard, HPIC-AS5 separator, anion suppressor
시료주입량	50 µL
전도도 설정	1 us full scale
용리액	7.0 mM Na ₂ CO ₃ / 0.5 mM NaOH, Na ₂ CO ₃
유량	2 mL/분

2) 분광 검출기 사용

컬럼	IonPac NG1 guard, IonPac AS7 separator, anion suppressor
시료주입량	50~100 µL
유량	1.5 mL/분
용리액	250 mM (NH ₄) ₂ SO ₄ + 100 mM NH ₄ OH
발색용액	2 mM 1,5-diphenylcarbazide/10% MeOH/1 N H ₂ SO
발색용액 유량	0.5 mL/분
파장	540 nm

IV. 계산

13. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{C_s V_s - C_b V_b}{V \times RE}$$

C : 분석물질의 최종 농도(mg/m³)
 C_s : 시료의 농도(µg/mL)
 C_b : 공시료의 농도(µg/mL)
 V_s : 시료에서 회석한 최종용량(mL)
 V_b : 공시료에서 회석한 최종용량(mL)
 V : 공기채취량(L)
 RE : 회수율

※ 회수율의 적용을 위해 위에서 구한 시료농도를 회수율로 나누어 계산하거나, 위 공식의 분모에 회수율을 추가시킨다.

V. 비교

- 이 방법은 고용노동부 고시 제2017-27호 및 NIOSH method 7605에 기초하였다.
- 다른 방법은 NIOSH 7600, OSHA ID-103/ID-215/W4001 등이 있다.

VI. 참고문헌

- 고용노동부 고시 제2018-62호, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 2018.
- 고용노동부 고시 제2017-27호, 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시, 2017.

3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : NIOSH pocket guide to chemical hazards and other databases, 2018.
 4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Ed, 2019.
 5. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 7605.
-