KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE
기술지원규정

무수말레산에 대한 작업환경측정 분석 기술지원규정
E-H-3-2025

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을 이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 작성자 : 안전보건공단 산업안전보건연구원 장승희

○ 개정자 : 안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실

○ 제·개정 경과
- 2013년 11월 산업위생분야 제정위원회 심의(제정)
- 2015년 4월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 2018년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 2024년 11월 보건위생분야 전문위원회 심의(개정)
- 2025년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료
- National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical methods (NMAM), 4thed, 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
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 2024.

○ 관련법규・규칙・고시 등
- 산업안전보건법 제125조 (작업환경측정)
- 산업안전보건법 시행규칙 제186조 (작업환경측정 대상작업장 등)
- 고용노동부 고시 제2020-44호 (작업환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시)
- 고용노동부 고시 제2020-48호 (화학물질 및 물리적인자의 노출기준)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의
- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 기술지원규정 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2025년 3월 26일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목 적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 일반사항 ····· 2

5. 시료채취 및 분석 시 고려사항 ····· 5

6. 무수 말레산 측정·분석방법 ····· 8

무수 말레산에 대한 작업환경측정·분석 기술지원규정

1. 목적

이 규정은 산업안전보건법 시행규칙 제186조(작업환경측정 대상 작업장 등)의 규정에 따른 작업환경측정 대상 유해인자 중 무수 말레산에 대한 측정 및 분석을 수행할 때 정확성 및 정밀성을 유지하기 위하여 필요한 제반 사항에 대하여 규정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 규정의 적용대상은 산업안전보건법 시행규칙에서 정한 작업환경측정 대상 유해인자 중 무수 말레산의 측정, 분석 및 이와 관련된 사항에 한한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음의 각 호와 같다.

(가) “밀폐”라 함은 취급 또는 보관상태에서 고형(固形)의 이물(異物)이 들어가지 않도록 한 상태를 말한다.

(2) “밀봉”이라 함은 취급 또는 보관 상태에서 기체 또는 미생물이 침입할 염려가 없는 상태를 말한다.

(가) 중량을 “정확하게 단다.”라 함은 지시된 수치의 중량을 그 자릿수까지 단다는 것을 의미한다.

(나) “약”이란 그 무게 또는 부피에 대하여 ± 10% 이상의 차가 있어서는 안 된다.

(다) 시험조작 중 “즉시”라는 용어는 30초 이내에 표시된 조작을 하는 것을 말한다.

(라) “검출한계”라 함은 주어진 분석절차에 따라 합리적인 확실성을 가지고 검출할 수 있는 가장 적은 농도나 양을 의미한다.

(마) “정량한계”라 함은 주어진 신뢰수준에서 정량할 수 있는 분석대상물질의 가장 최소의 양으로, 단지 검출이 아니라 정밀도를 가지고 정량할 수 있는 가장 낮은 농

도를 말한다. 일반적으로 검출한계의 3배 수준을 의미한다.

(바) “회수율”이라 함은 채취한 분석대상물질의 분석 값을 보정하는데 필요한 것으로, 시료채취 매체와 동일한 재질의 흡착관에 첨가된 양과 분석량의 비로 표현된 것을 말한다.

(2) 그 밖에 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 이 기준에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 작업환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시(고용노동부 고시 제2020-44호)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	㎝		노르말농도	N
	밀리미터	㎜		밀리그램/리터	㎎/ℓ
	마이크로미터	㎛		마이크로그램/밀리리터	㎍/㎖
	나노미터	㎚		퍼센트	%
압력	기압	atm	부피	세제곱미터	m^3
	수은주밀리미터	㎜Hg		세제곱센티미터	cm^3
	수주밀리미터	㎜H_2O		세제곱밀리미터	mm^3
넓이	제곱미터	m^2	무게	킬로그램	kg
	제곱센티미터	cm^2		그램	g
	제곱밀리미터	mm^2		밀리그램	㎎
				마이크로그램	㎍
용량	리터	ℓ			
	밀리리터	㎖			
	마이크로리터	㎕			

(9) 온도

(가) 온도의 표시는 셀시우스(Celcius) 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 단위부피중의 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 ㎎/m^3으로 표시했을 때의 m^3은 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 일급 이상의 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) 계량기구 중 측정값을 분석결과의 계산에 사용할 목적으로 사용되는 것은 모두 보정하는 것을 원칙으로 한다.

(나) 분석 용 저울은 적어도 10^{-5} g(0.01 ㎎)까지 달수 있어야 하며, 화학분석 용 저울은 적어도 10^{-4} g(0.1 ㎎)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 동등 이상의 규격에 적합한 것으로 국가에서 지정한 기관에서 검정을 필한 것을 사용하여야 한다.

(라) 여과용 기구 및 기기는 특별한 언급이 없이 “여과한다.”라고 하는 것은 한국산업

규격 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 특성파악

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 작성 시 주의점

① 표준원액으로 사용될 원액의 순도, 제조일자, 유효기간 등을 잘 파악해야 한다.

② 표준용액, 회수율 검정 등에 사용되는 시약은 같은 롯트(Lot)번호를 가진 것을 사용

하여야 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) 내부표준물질의 사용방법 및 보정방법

(가) 내부표준물질의 선정 시 다음의 특성을 가지는 물질로 선정한다.

① 머무름 시간이 분석대상물질과 너무 멀리 떨어져 있지 않아야 한다.

② 피크가 용매나 분석대상물질의 피크와 중첩되지 않아야 한다.

③ 내부표준물질의 양이 분석대상 물질의 양보다 너무 많거나 적지 않아야 한다.

④ 사용하는 분석기기의 검출기에서 반응이 양호해야 한다.

(나) 내부표준물질은 표준용액 등으로 사용하기 전에 추출용액에 일정량을 넣는다.

(다) 보정방법

① 검량선 작성 시 각 표준용액을 분석한 크로마토그램 면적을 내부표준물질의 크로마토그램 면적으로 나눈 면적비로 회귀식을 구한다.

② 분석시료의 크로마토그램 면적을 내부표준물질의 크로마토그램 면적으로 나누어 면적비를 구한다.

③ ②에서 구한 면적비를 ①에서 구한 회귀식에 대입하여 농도를 구한다.

(4) 회수율 검정을 위한 시료제조 및 회수율 계산방법

화수율은 여과지를 이용하여 채취한 물질의 분석값을 보정하는데 필요한 것으로 채취에 사용되지 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 번씩을 행해야 한다.

(가) 회수율 실험을 위한 첨가량을 결정한다. 작업장의 농도를 포함하도록 예상되는 농도

(㎎/㎥)와 공기채취량(ℓ)에 따라 첨가량을 계산한다. 만일 작업장의 예상 농도를 모를 경우 첨가량은 노출기준과 공기채취량 10 L를 기준으로 계산한다. 계산된 첨가량 3개 농도 수준(0.5~2배)의 양을 반복적으로 3개(3수준 × 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.

회수율 = 분석량 / 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.

무수 말레산
(Maleic Anhydride)

분자식:	$C_4H_2O_3$	**구조식:**	$(CHCO)_2O$	**분자량:**	98.06	**CAS No.:**	108-31-6
녹는점:	52.8℃	**끓는점:**	202℃	**비 중:**	1.43	**용 해 도:**	Soluble in water

특징, 발생원 및 용도:
- 무수 말레산은 디일스-알더(Diels-Alder) 합성 및 공중합 반응을 통해 알키드형 수지, 염료의 중간체, 의약품, 농약, 말레인산 히드라지드, 말라티온 등의 제조에 사용된다.
- 비금속 광물 제조, 타일 및 모자이크 작업, 인쇄 잉크 및 페인트 관련 작업 시 무수 말레산에 노출 될 수 있다.

노출기준				
고용노동부 (㎎/㎥)	0.4	OSHA (㎎/㎥)	1
ACGIH (㎎/㎥)	0.01	NIOSH (㎎/㎥)	1

동의어: 2,5-furandione, cis-butenedioic anhydride; dihydro-2,5-dioxofuran; maleic acid anhydride; toxilic anhydride

분석원리 및 적용성: 작업환경 중의 분석대상물질을 3,4-dimethoxybensylamine(veratrylamine)이 코팅된 유리섬유필터로 포집 한 후 아세토니트릴/디메틸설폭사이드(9:1)로 탈착한 후 고성능액체크로마토그래피(HPLC) 자외선검출기로 분석

시료채취 개요	분석 개요
▪ **시료채취매체:** 베라트릴아민(veratrylamine)이 코팅된 유리섬유여과지 2장 (그림 1) ▪ **유량:** 0.5 ℓ/min ▪ **공기량:** 60 ℓ ▪ **운반:** 냉장상태에서 보관 및 운반하고 가능한 빠른 시일 내 분석 ▪ **시료의 안정성:** 0℃에서 15일 ▪ **공시료:** 시료 세트 당 2-10개의 현장 공시료	▪ **분석기기:** 고성능액체크로마토그래프, 자외선검출기 ▪ **분석대상물질:** 베라트릴아민으로 유도체화 된 무수 말레산 ▪ **전처리:** 아세토니트릴/디메틸설폭사이드, 90:10(v/v) 용액 4 ㎖, 교반기 1시간 ▪ **컬럼:** C8 (4.6 ㎜ × 25 ㎝, 10 ㎛) ▪ **파장:** 자외선검출기 254 nm ▪ **주입량 및 유속:** 15 ㎕, 1.2 ㎖/min ▪ **이동상:** 아세토니트릴/증류수/인산(v/v/v) 30:70:0.1 ▪ **범위:** 0.01 - 0.8 mg/시료 ▪ **검출한계:** 1.99 ㎍/sample

방해작용 및 조치	정확도 및 정밀도
▪ 공기 중 베라트릴아민과 반응할 수 있는 이소시아네이트, 산염화물 및 기타 무수물이 다량 존재할 경우 샘플링 용량을 감소시킬 수 있음.	▪ **연구범위**(range studied): - ▪ **편향**(bias): - ▪ **총정밀도**(overall precision): ± 17.4% ▪ **정확도**(accuracy): -

시약	기구
▪ 무수 말레산-베라트릴아민 유도체(Maleic anhydride-veratrylamine derivative, MAVA) ▪ 디메틸설폭사이드(Dimethyl sulfoxide, DMSO) ▪ 아세토니트릴(Acetonitrile) ▪ 인산(Phosphoric acid) ▪ 증류수 ※ 모든 시약은 가능한 높은 순도(95%이상) 사용 ※ MAVA 합성(Ⅱ. 표준용액 제조 참고) - 베라트릴아민(Veratrylamine) - 무수 말레산(Maleic anhydrice) - 톨루엔(Toluene) - 이소옥탄(Isooctane) - 클로로포름(Chloroform)	▪ 시료채취매체: 베라트릴아민으로 코팅된 유리섬유여과지가 2단으로 장착된 37㎜ 3단 카세트 홀더 ▪ 여과지 코팅: 4 ㎎/㎖ 농도의 베라트릴아민이 용해된 디클로로메탄 용액 0.5 ㎖를 유리섬유여과지에 도포한 후 후드 안에서 건조시킨다. 제조된 여과지는 밀폐된 용기에 담아 냉장보관하며, 한달 이내에 사용한다. ▪ 개인시료채취펌프: 유량 0.5 ℓ/min 조절가능 ▪ 고성능액체크로마토그래프, 자외선검출기 ▪ 컬럼 : 4.6 mm × 25 cm, 10-μ particle size-C8 또는 동등 컬럼 ▪ 마이크로 실린지 ▪ 용량플라스크 ▪ 피펫 ▪ 4 ㎖ 바이알, 테플론 마개 뚜껑 ▪ 전자 교반기
▪ 특별 안전보건 예방조치: 모든 전처리 등의 실험은 흄후드에서 이루어져야 한다.	

I. 시료채취

1. 각 개인 시료채취펌프를 하나의 대표적인 시료채취매체로 보정한다.
2. 베라트릴아민으로 코팅된 2장의 유리섬유여과지는 아래 그림 1과 같이 3단 카세트의 중간 링 앞·뒤에 장착한다.

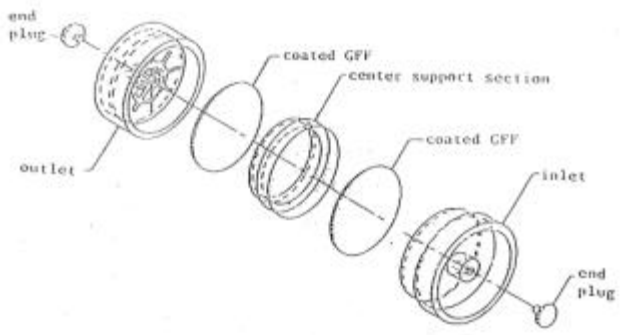


그림 1. 무수 말레산 포집을 위한 시료채취매체

3. 카세트의 양쪽 마개를 열고 유연성 튜브를 사용하여 시료채취 펌프에 연결한다.
4. 0.5 ℓ/min의 유량으로 약 60 ℓ 정도의 시료를 채취한다.
5. 시료채취가 끝나면 플라스틱 마개로 막아 밀봉한 후 운반한다.
6. 채취된 시료는 가능한 빨리 분석해야 하며, 분석이 연기될 경우 냉장보관(0℃) 한다.

Ⅱ. 표준용액 제조

7. 무수 말레산-베라트릴아민 유도체(MAVA) 합성
   a. 톨루엔에서 무수 말레산을 재결정화 한다.
   b. 1.67 g(0.01 mole)의 베라트릴아민이 용해된 10 ㎖ 클로로포름에 0.98 g(0.01 mole)의 무수 말레산을 첨가한다.
   c. 10분간 혼합물을 저어준 뒤 후드 내에서 클로로포름을 증발시킨다.
   d. 남은 잔여물을 최소량의 클로로포름에 녹인다.
   e. 핫플레이트 위에서 가열하면서, 용액이 약간 뿌옇게 될 때까지 이소옥탄을 천천히 첨가한다.
   f. 클로로포름을 한방울 첨가하여 용액을 투명하게 만든 후 핫플레이트에서 꺼낸다.
   g. 상온에서 용액을 식힌 후 냉동고에 하룻밤 동안 넣어 결정체를 만든다.
   h. 합성된 유도체(MAVA) 결정체를 회수한다.
      ※ 녹는점 146.0~146.5℃, 결정체는 이론적으로 얻을 수 있는 최대량에 가까워야 한다.
8. 표준원액 제조를 위해 10~20 ㎎의 MAVA를 10 ㎖ 용량플라스크에 넣고 추출용매로 부피를 맞춘다.
9. MAVA의 무게에 0.3697의 계수를 적용하여 무수 말레산의 양으로 변환한다.
   (무수 말레산 분자량)/(MAVA 분자량) = 98.06/265.27 = 0.3697
10. 10 ㎎의 MAVA를 10 ㎖에 용해하면 0.3697 ㎎/㎖의 무수 말레산이 제조된다.

Ⅲ. 시료 전처리

11. 여과지 앞·뒤 장을 각각 다른 바이알에 넣는다.
12. 필터는 구겨지지 않도록 서로 마주보게 한번 접는 것을 권고한다.
13. 각 바이알에 4 ㎖의 추출용매(아세토니트릴/디메틸설폭사이드, 90:10(v/v))를 넣고 즉시 마개를 막아 밀봉한다.
14. 교반기에서 1시간 동안 흔들어준다.

Ⅳ. 시료분석

【검량선 작성 및 정도관리】

15. 시료농도가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소한 5개의 표준물질로 검량선을 작성한다.
16. 현장시료 및 공시료를 함께 분석한다.
17. 다음 과정을 통해 회수율을 구한다.

<회수율 시험>

   a. 마이크로피펫 혹은 실린지를 사용하여 알고 있는 농도의 분석물질의 원액 또는 희석액을 베라트릴아민이 코팅된 유리섬유여과지에 첨가(spike)한다.
      ※ 예상 시료량이 포함되도록 3개의 농도 수준에서 각각 3개씩과 공시료 3개를 준비한다.
   b. 여과지를 밀봉하여 하룻밤 상온에 방치한 후 'Ⅲ. 시료 전처리' 과정에 따라 전처리 후 현장시료와 동일하게 분석한다.
   c. 다음 식에 의해 회수율을 구한다.
      회수율(Recovery) = 분석량 / 첨가량

【분석과정】

18. 고성능액체크로마토그래피 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고 조건을 설정한다.

※ 분석기기, 컬럼 등에 따라 적정한 분석조건을 설정하며, 아래의 조건은 참고사항임.

컬럼	C8, 4.6 ㎜ × 25 ㎝, 10 ㎛ particle size
주입량	15 ㎕
유속	1.2 ㎖/min
파장	자외선검출기(UV detector): 254 ㎚
이동상	아세토니트릴(acetomitrile)/증류수(water)/인산(phosphoric acide), 30:70:0.1 (v/v/v)

19. 피크의 면적을 측정한다.

Ⅴ. 계산

20. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{W - B}{V \times RE}$$

C : 분석물질의 최종 농도(㎎/㎥)
W : 시료의 농도(㎍)
B : 공시료의 농도(㎍)
V : 공기채취량(ℓ)
RE : 회수율

Ⅵ. 비고

- 이 방법은 OSHA Method 86에 기초하여 작성하였다.
- 다른 방법으로는 NIOSH NMAM 3512가 있다.
- 건강영향 및 예방조치 : 시약류의 피부 접촉이나 흡입을 피해야 하며, 실험실에서는 반드시 보호장비를 착용하여야 한다.

Ⅶ. 참고문헌

1. 고용노동부 고시 제2020-44호, 작업환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시, 2020.
2. 고용노동부 고시 제2020-48호, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 2020.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 2024.
4. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 3512.
5. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): NIOSH pocket guide to chemical hazards and other databases.
6. Occupational Safety and Health Administration(OSHA): Index of Sampling & Analytical Methods, Method 86.

기술지원규정 제·개정 이력

□ 개정일 : 2025. 2. 3.

○ 개정자 : 안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실

○ 개정사유 : OSHA 25 측정·분석방법 삭제로 인한 개정

○ 주요 개정내용

- OSHA 25 이 삭제됨에 따라 OSHA 86에 기초하여 전체 측정·분석방법 변경

□ 재공표 : 2025. 3. 26.

○ 기술지원규정 영문 명칭 복원(KSH-GUIDANCE→KOSHA GUIDE)으로 재공표

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : E-H-3-2025
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2025. 3. 26.