

KOSHA GUIDE

A - 169 - 2018

수산화테트라메틸암모늄에 대한
작업환경측정 · 분석 기술지침

2018. 11.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 이광용
- 제·개정 경과
 - 2018년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의
- 관련규격 및 자료
 - National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Technical Report : Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation. 1995.
 - Occupational Safety and Health Administration(OSHA): Sampling and analytical Methods 121, 1998.
 - National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM), Method 1404
 - 산업안전보건연구원: 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 측정 및 분석방법 개발연구, 2016
- 관련법규·규칙·고시 등
 - 산업안전보건법 시행규칙 제93조 (작업환경측정 대상 작업장 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 : 2018년 11월 27일
- 제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

수산화테트라메틸암모늄에 대한 작업환경측정·분석 기술지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건법 시행규칙 제93조(작업환경측정 대상 작업장 등)의 규정에 의거 작업환경측정 대상인자 중 수산화테트라메틸암모늄에 대한 측정 및 분석을 수행할 때 정확도 및 정밀도를 유지하기 위하여 필요한 제반 사항에 대하여 규정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침의 적용대상은 산업안전보건법 시행규칙에서 정한 작업환경측정대상 유해인자 중 수산화테트라메틸암모늄의 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 보관상태에서 고형(固形)의 이물(異物)이 들어가지 않도록 한 상태를 말한다.
- (나) “밀봉”이라 함은 취급 또는 보관상태에서 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”이란 채취한 금속 등의 분석 값을 보정하는데 필요한 것으로, 시료채취 매체와 동일한 재질의 여과지에 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(고용노동부고시 제 2017-27호)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 분석 화학적으로 반드시 최고의 정밀도와 정확도를 갖는다고는 할 수 없으며, 이 시험방법 이외의 방법이라도 동등이상의 정확도와 정밀도가 있다고 인정될 때에는 그 방법을 사용할 수 있다.
- (4) 이 시험방법에 표시한 사항 중 탈착율, 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 수치의 댄음법은 따로 규정이 없는 한 한국산업의 규격 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 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	$\mu\text{g/mL}$
	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 규정 이 없는 한 15°C 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/m³으로 표시했을 때의 m³은 정상상태(NTP, Normal Temperature and Pressure : 25°C, 1기압)의 기체용적을 뜻한다. 따라서 노출 기준과 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 농도합량을 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 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 초순수는 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, 화학분석 용 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 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 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 보

유하고 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) 채취시료 노출기준의 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 보정할 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 사용하여야 한다.
- ③ 검량선은 시료 분석조건과 주입방법에 따라 작성하고 검량선이 적정하다고 판정하면 시료를 분석한다. 검량선은 분석할 시료의 농도를 포함해야 하며, 검량선에 사용된 표준용액의 농도보다 높은 시료의 경우는 희석하여 재분석 하거나 시료농도를 포함할 수 있는 표준용액을 추가로 제조하여 검량선을 다시 작성한다. 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.

수산화테트라메틸암모늄 (Tetramethyl ammonium hydroxide)

분자식:	구조식: $C_4H_{13}NO$	분자량: 91.15	CAS No.: 75-59-2
녹는점: 67℃	끓는점:	비 중: ~1.015 (20~25% 수용액)	용 해 도: 물에 대한 용해도 높음

특징, 발생원 및 용도:

- TMAH 자체로 존재하지 않으며, 5수화물로 존재할 경우 비교적 안정한 고체형태를 유지(분자식 : $N(CH_3)_4OH \cdot 5H_2O$, Cas No. 10424-65-4)
- 고체 물질로 용액 제조시 순수한 경우에는 무색을 띄고 불순물을 함유하는 경우에는 황색으로 강한 비린내가 남
- 실리콘의 비등방성 식각액(산성 포토레지스터의 현상에 기초 용매)

노출기준	고용노동부 (mg/m ³)	1	OSHA (mg/m ³)	-
	ACGIH (mg/m ³)	-	NIOSH (mg/m ³)	-

동의어: tetramethylazanium hydroxide, N,N,N,-trimethylmethanaminium hydroxide

분석원리 및 적용성: 작업환경중의 분석대상 물질을 Quartz 필터로 채취하여 수산화테트라메틸암모늄(tetramethylammonium hydroxide, TMAH)을 탈이온수로 회수한 후 일정량을 이온크로마토그래프에 주입하여 정량한다.

시료채취 개요	분석 개요
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 채취방법 : 여과포집법 ▪ 시료채취매체: Quartz 여과지 ▪ 유량: 2.0 L/min ▪ 공기량 : 최대 960 L 최소 480 L ▪ 운반: 여과지의 시료포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반 ▪ 시료의 안정성: 안정함 ▪ 공시료: 시료 세트 당 2-10개의 현장 공시료 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분석기기: 이온크로마토그래프(IC) 전도도검출기(Conductivity Detector) ▪ 분석대상물질: 수산화테트라메틸암모늄 ▪ 전처리: 10 mL 탈이온수(deionized water) ▪ 컬럼: IonPac CS19(4*250mm) ▪ Eluent: 20 mM MSA(Methane sulfonic acid) ▪ 검량선: TMAH 시약을 탈이온수로 희석 ▪ 범위: 0.02 ~ 2 µg/ppm ▪ 정밀도 : 0.054 ▪ 검출한계: 0.013 µg/ml ▪ 탈착효율: 0.88 ~ 0.916
방해작용 및 조치	정확도 및 정밀도
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 알려진 것이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 총 정밀도(overall precision): - ▪ 정확도(Accuracy) : -

시약	기구
<ul style="list-style-type: none"> 탈착액 : 탈이온수(deionized water) 이동상 : 20 mM MSA(Methane sulfonic acid) 또는 해당기기회사에서 지정하는 용액을 사용할 수 있음 Tetramethylammonium hydroxide 표준시약 <ul style="list-style-type: none"> Tetramethylammonium hydroxide solution : 25 wt. % in H₂O or 10 wt. % in H₂O Tetramethylammonium hydroxide solution : 10 wt. % in H₂O Tetramethylammonium hydroxide solution : ACS시약등급 표준용액 : Tetramethylammonium hydroxide solution의 함유 농도에 따라 탈이온수로 희석하여 사용 	<ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: Quartz 여과지(직경 37mm), 3단 카세트 홀더 개인시료채취펌프(유연한 튜브관 연결됨), 유량 1~3 L/min 이온크로마토그래프, 전도도검출기 (Ion chromatograph, Conductivity Detector) 칼럼 : IonPac CS19(4*250mm), Guard: CG19 (4*50mm) 또는 동등이상의 컬럼 125 mL 또는 50 mL 비이커, 시계접시 뚜껑 또는 15 mL 뚜껑이 있는 플라스틱 용기 피펫 플라스틱 주사기(10 mL) 수용성 필터(Syringe filter) 초음파기 ※ 모든 유리기구는 사용 전에 질산으로 씻고 증류수로 행구어 준다.

I. 시료채취

1. 각 시료채취 펌프를 보정한다(시료채취시와 동일한 연결 상태에서).
2. 시료채취 바로 전에 quartz 여과지가 장착된 3단 카세트와 유연성 튜브를 이용하여 펌프에 연결한다.
3. 2 L/min의 유량으로 480~960 L의 공기를 채취한다.
4. 채취가 끝난 여과지는 밀봉하여 먼지 등이 떨어지지 않도록 카세트를 바로 세워서 운반한다.

II. 시료의 전처리

5. 카세트필터 홀더를 열고 시료와 공시료를 깨끗한 비이커 또는 밀폐용기로 옮긴다.
6. 비이커 또는 밀폐용기에 탈이온수(증류수) 10 mL를 넣고 초음파를 이용하여 60분간 처리한다.
7. 플라스틱 주사기와 수용성 필터를 이용하여 초음파 처리된 여과지의 불순물을 제거한다.
※초음파 과정에서 quartz 여과지에 있는 섬유가 분리되기 때문에 반드시 필터를 이용하여 불순물을 제거해야 한다.
8. 불순물을 제거한 시료를 용기에 담는다.

III. 시료 분석

[검량선 작성 및 정도관리]

9. 시료농도(노출기준의 0.1배~2배 정도)가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소한 5개 이상의 표준 물질로 검량선을 작성한다.
10. 시료 및 공시료를 함께 분석한다.
11. 표준용액 농도($\mu\text{g/mL}$)에 따른 검량선 그래프를 작성한다.
12. 시료채취매체(quartz 여과지)에 알고 있는 양의 분석대상물질을 첨가한 시료(spike 시료)로 아래와 같이 회수율(recovery) 시험을 실시하여 현장 시료 분석값을 보정한다.

<회수율 시험>

가) 25% 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 시약을 10,000 $\mu\text{g/ml}$ 로 만든다.

나) quartz 여과지에 (가)에서 조제한 표준용액을 이용하여 예상 시료량이 포함되도록 3가지 이상의 수준 및 각 수준별로 3개 이상의 시료를 만든다.

다) 하룻밤 방치한 후 'II. 시료전처리' 과정과 동일하게 전처리하고 현장 시료와 동일하게 분석한 후 회수율을 다음과 같이 구한다.

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

라) 다)에서 구한 회수율로 시료의 분석값을 다음과 같이 보정한다. 수준별로 회수율의 차이가 뚜렷하면 수준별로 보정한다.

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

[분석과정]

13. 이온크로마토그래프 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고 조건을 설정한 후 표준용액, 회수율시료, 현장시료를 분석한다.
14. 시료를 정량적으로 정확히 주입한다. 시료주입방법은 자동주입기를 이용하는 방법이 있다.

IV. 계산

15. 이온크로마토그래프에서 측정된 면적값을 이용하여 그에 상응하는 시료의 수산화테트라메틸암모늄(TMHA) 농도(C_s)와 공시료의 평균값(C_b)을 계산한다.
16. 시료의 용액 부피(V_s)와 공시료 부피(V_b)를 이용하여 채취된 공기 중(V) 채취물질의 농도(C)를 계산한다.
17. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{C_s V_s - C_b V_b}{V}, \text{mg}/\text{m}^3$$

- C_s : 시료에서의 분석물질의 농도($\mu\text{g}/\text{mL}$)
- C_b : 공시료에서의 분석물질의 농도($\mu\text{g}/\text{mL}$)
- V_s : 시료에서 희석한 최종용량(mL)
- V_b : 공시료에서 희석한 최종용량(mL)
- V : 공기채취량(L)

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

V. 비고

- 이 방법은 산업안전보건연구원의 연구결과를 바탕으로 작성하였다. 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 연구에서 참고한 자료는 NIOSH method 7401, OSHA ID-1211 그리고 작업환경측정분석방법의 이온크로마토그래피를 이용한 양이온 분석방법이다.
- 고농도의 수산화테트라메틸암모늄(TMAH)은 피부노출이 일어날 경우 강력한 염기성으로 심각한 화학적 화상을 유발하기도 하지만, 신경절 효과로 인해 사망에 까지 이를 수 있다. 사용전 글러브, 마스크, 실험복 등의 보호구를 착용해야한다.

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. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH manual of analytical methods 5th. ed. 7401 Issue2(1994).
 4. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH pocket guide to chemical hazards and other databases.
 5. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Technical Report : Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation. 1995.
 6. Occupational Safety and Health Administration(OSHA): Sampling and analytical Methods 121, 1998.
 7. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM), Method 1404
-