

KOSHA GUIDE

A - 170 - 2018

에틸렌이민에 대한 작업환경측정·분석
기술지침

2018. 11.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실
- 제·개정 경과
 - 2018년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의(제정)
- 관련규격 및 자료
 - National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th ed, www.cdc.gov/niosh/nmam
 - Occupational Safety and Health Administration(OSHA): Sampling and analytical Methods, www.osha.gov/dts/sltc/methods/index/html
 - Health and Safety Executive(U.K.), Methods for the Determination of Hazardous Substance (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, 2018.
- 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 소관 분야별 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

에틸렌이민에 대한 작업환경측정 · 분석 기술지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건법 시행규칙 제93조(작업환경측정 대상 작업장 등)의 규정에 의거 작업환경측정 대상인자 중 에틸렌이민에 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 에틸렌이민의 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.
- (가) “회수율”이라 함은 채취한 에틸렌이민의 분석 값을 보정하는데 필요한 것으로,

시료채취 매체와 동일한 매체에 첨가된 양과 분석량의 비로 표현된 것을 말한다.

- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 기준에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 동법 시행령, 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부 고시 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 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 수치의 댁음법은 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 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_2O		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(Celcius) 법에 따라 아라비아숫자 오른쪽에 $^{\circ}\text{C}$ 를 붙인다. 절대온도는 K로 표시하고 절대온도 0 K는 -273°C 로 한다.
- (나) 상온은 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$, 실온은 $1\sim 35^{\circ}\text{C}$, 미온은 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 로 한다. 냉소는 따로 규정이 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/m^3 으로 표시했을 때의 m^3 은 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 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 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 동등이상의 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) 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 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 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 사용한 매체와 동일한 매체를 이용하여 채취한 물질의 분석값을 보정하는데 필요한 것으로 채취에 사용하지 않은 동일한 매체에 첨가된 양과 분석량의 비로 표현된 값을 말한다. 이 실험을 통하여 매체의 오염, 시약의 오염, 매체에 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(ppm)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 흡착관과 공시료 3개를 준비한다.

(나) 분석대상물질의 원액 또는 희석액 일정량을 마이크로피펫 또는 마이크로시린지를 이용하여 매체에 주입한다.

(다) 매체를 밀봉하고 하루 동안 상온에 놓아둔다.

(라) 시료와 동일한 방법으로 전처리 하여 분석 후 검출량을 구한다.

(마) 다음 식에 의해 회수율을 구한다.

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

(바) 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.

에틸렌이민 (Ethylenimine)

분자식: $C_2H_5N_2$	구조식: -	분자량: 43.07	CAS No.: 151-56-4
녹는점: $-74^{\circ}C$	끓는점: $56-57^{\circ}C$	비 중: 0.8321 at $24^{\circ}C$	용 해 도: 용매에 녹음

특징, 발생원 및 용도:

노출기준	고용노동부 (ppm)	TWA 0.5	OSHA (ppm)	Carcinogen
	ACGIH (ppm)	TWA 0.05 (skin) STEL 0.1	NIOSH (ppm)	Carcinogen
동의어:	Aminoethylene, Azirane, Aziridine, Dimethyleneimine, Dimethylenimine, Ethylenimine, Ethylimine			

분석원리 및 적용성: 작업환경중의 에틸렌이민을 폴린시약이 담긴 버블러로 채취하여 클로로포름을 용매로 사용하여 액체크로마토그래프로 정량한다.

시료채취 개요	분석 개요
<ul style="list-style-type: none"> 채취방법 : 버블러 (폴린시약) 유량: 0.2 L/min 공기량 : 최소 1 L at 0.5 ppm 최대 48 L 운반: $5^{\circ}C$에서 직사광선을 피해 운반 시료의 안정성: $5^{\circ}C$의 직사광선 차단된 상태에서 14일 공시료: 총 시료수의 10% 이상 또는 시료 세트 당 2-10개의 현장 공시료 	<ul style="list-style-type: none"> 분석기기: 액체크로마토그래프/자외선검출기 분석대상물질: 에틸렌이민 전처리: 4 mL 클로로포름, 15초 이동상: 59.5% 클로로포름:40% 클로로포름(1% 에탄올 포함):0.5%2-프로판올, 유속1.3 mL/min 컬럼: Lichrosorb DIOL25 cm x 4.6 mm 파장: 자외선검출기 254 nm 검량선: 클로로포름 내 4-(1-aziridinyl)-1,2-naphthoquinone 범위: 1 ~ 795 mg/sample 검출한계: 0.3 μg/sample 정밀도: 0.024
방해작용 및 조치	정확도 및 정밀도
<ul style="list-style-type: none"> 프로필렌이민, 2-브로모에틸렌아민의 방해작용 	<ul style="list-style-type: none"> 연구범위(range studied): 0.16~21 μg/sample (2.6~39 L samples) 편향(bias): -2% 총 정밀도(overall precision): 0.069 정확도(Accuracy) : $\pm 15.5\%$

시약	기구
<ul style="list-style-type: none"> 1% 에탄올이 함유된 클로로포름(UV grade) 헥산(Hexane, UV grade) 2-프로판올(2-propanol, UV grade) 메탄올(Methanol, UV grade) 에틸렌이민 1,2-나프토퀴논-4-술폰산 나트륨염 증류수 또는 탈이온수 0.1M 수산화나트륨(NaOH) 용액: 1g의 NaOH를 증류수에 녹여 250mL가 되게 한다. 인산이수소칼륨(KH₂PO₄) 용액: 3.40g의 KH₂PO₄를 증류수에 녹여 250mL가 되게 한다. 버퍼용액(pH=7.7): 0.1M KH₂PO₄ 10mL와 0.1M NaOH 93.4mL 폴린시약(Folin's reagent): 0.4g의 1,2-나프토퀴논-4-술폰산 나트륨염을 100mL 버퍼용액에 녹인 후 500mL의 증류수로 희석한다. 알루미늄 호일로 플라스크를 밀봉한다(5일동안 안정함). 0.5M 인산플루오르화나트륨(Na₃PO₄) 용액: Na₃PO₄·12H₂O 19g을 증류수에 녹여 100mL가 되게 한다. 4-(1-Aziridiny)-1,2-naphthoquinone: 부록참조 검량선 용액, 500ug/mL: 4-(1-Aziridiny)-1,2-naphthoquinone 125mg을 클로로포름에 녹여 250mL가 되게 한다. 탈착용액, 10mg/mL: 2.50g의 에틸렌이민을 클로로포름에 녹여 250mL가 되게 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: midget 버블러(15mL 풀린용액) 개인시료채취펌프: 유량 0.2 L/min 액체크로마토그래프, 자외선검출기 1mL 실린지, 최소눈금 10μl 100μl 실린지, 최소눈금 1μl 10μl 실린지, 최소눈금 0.1μl 10, 100, 250, 500mL 용량플라스크 2mL 바이알, PTFE-lined crimp caps 25, 100mL 메스실린더 PTFE 코크 분액깔대기 유리깔대기 50mL, 2L 비커 알루미늄호일 pH시험지 피펫벌브
<ul style="list-style-type: none"> 특별 안전보건 예방조치: 에틸렌이민은 발암성이고 매우 유독하며 가연성 물질이다. 또한 눈, 피부, 점막에 심한 자극을 주므로 후드 안에서 실험해야한다. 	

I. 시료채취

1. 시료 채취 시와 동일한 연결 상태에서 각 시료채취펌프를 보정한다.
2. 약 0.2 L/min의 유량으로 1~48 L 정도 시료를 채취한다.
3. 시료채취 후, 피펫벌브를 사용하여 임핀저 스템을 통해 에틸렌이민 파생물을 제거하고 시료채취 용액을 회수한다. 2ml 클로로포름으로 스템을 행구고 버블러에 세척액을 넣는다. 버블러는 PTFE혹은 유리와 같이 반응하지 않는 마개로 막아야하며 고무 사용을 금한다.
4. 빛을 차단시키고, 5 °C에서 운반

II. 시료의 전처리

5. 샘플용액을 60 mL의 분별깔대기로 옮긴다.

6. 버블러를 4 mL 클로로포름으로 행구고, 행균 용액을 분별깔대기에 넣는다.
7. 마개를 닫은 후 15초 동안 깔대기를 흔들어 상이 분리되도록 한다.
8. 클로로포름 추출액을 10 mL 플라스크에 담는다.
9. 전처리 과정 6, 7번을 반복하여 클로로포름 추출액을 동일한 플라스크에 모은다.
10. 추출된 용매를 총 10 mL가 되도록 클로로포름으로 희석한다.

III. 시료 분석

【검량선 작성 및 정도관리】

11. 매 실험마다 4-(1-aziridiny)-1,2-naphthoquinone 1.4 ~ 3681 ug/sample 농도범위 내에서 최소한 6개의 표준물질로 검량선을 작성한다. 4-(1-aziridiny)-1,2-naphthoquinone의 1 ug은 에틸렌이민 0.216 ug에 해당하며, 해당범위는 에틸렌이민 0.3 ~ 795 ug/sample 이다.
 - 1) 에틸렌이민의 농도가 0.3 ~ 795 ug/sample (0.03 ~ 79.5 ug/mL)가 되도록 스타크용액을 희석하여 스펀다드용액을 준비한다.
 - 2) 13, 14 스텝에 맞춰 분석을 진행한다.
 - 3) 검량선을 작성한다(에틸렌이민의 농도에 대한 피크 면적 혹은 높이를 사용)
12. 버블러에서 회수율을 결정한다.
 - 1) 스타크용액을 클로로포름으로 희석하여 회수율용 용액을 준비한다.
 - 2) 15mL의 폴린 용액이 담긴 버블러에 알고있는 농도의 회수율용 용액을 주입한다. 3개의 농도에 서 5개의 시료를 준비한다.
 - 3) 5-10의 스텝에 따라 샘플을 전처리하고 13, 14 스텝에 맞춰 분석을 진행한다.
 - 4) 회수율과 검량선을 계산한다.
 - 5) 다음의 식으로 회수율을 구한다.

【기기분석】

13. 액체크로마토그래프 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고, 이 방법에서 제시하는 조건을 참고하여 기기를 설정한다.
14. 스펀다드와 샘플 시료를 분석한다.

【4-(1-AZIRIDINY)-1,2-NAPHTHOQUINONE의 합성】

1,2-naphthoquinone-4-sulfonic acid 2g과 sodium salt 그리고 250 mL의 물을 1L의 알루미늄 호일로 감싼 깔대기에 둔다. 25 mL의 0.5몰 trisodium phosphate를 넣고 잘 섞이도록 흔들어준다. pH 농도가 10.5에서 11.5 임을 확인한다. 0.3 mL의 ethylenimine을 넣고 10분 간격으로 흔들어준다. 클로로포름 200 mL에서 4-(1-aziridiny)-1,2-naphthoquinone를 추출한다. 알루미늄 호일로 싸여진 2L비커에 추출물을 섞는다. 구멍이 3개 난 알루미늄 호일로 비커를 덮어준 후 질소 퍼지로 클로로포름을 휘발시킨다. 건조된 잔여물을 50 mL 비커에 옮기고 알루미늄 호일로 밀봉한다. 잔여물에 35 mL 메탄올과 1 mL 클로로포름을 추가한다. 잔여물의 일부분은 분해되지 않을 것이다. 필터에 여과한 후 0℃로 식혀준다. 결정화 된 것을 차가운 4 mL 메탄올로 씻어준 후 질소 퍼지로 건조한다. 녹는점은 173-175℃ 이다.

IV. 계산

15. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C = \frac{(W - B)}{V}$$

- C : 분석 물질의 농도 (ppm)
- W : 시료 앞의 양 (ug)
- B : 공시료의 양 (ug)
- V : 공기채취량 (L)

※ 주의: 만일 뒤 층에서 검출된 양이 앞 층에서 검출된 양의 10%를 초과하면($W_b > W_f/10$) 시료 파과가 일어난 것이므로 이 자료는 사용할 수 없다.

V. 비고

- 이 방법은 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2017-27호) 및 NIOSH Manual of Analytical Method 3514에 기초하여 작성하였다.
- 건강영향 및 예방조치 : 시약류의 피부 접촉이나 흡입을 피해야 하며, 실험실에서는 실험복 및 보호장비의 착용이 필요하다.

VI. 참고문헌

1. 고용노동부 고시 제2018-62호, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준
2. 고용노동부 고시 제2017-27호, 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) Documentarion of the Threshold Limit Nalues and Biological Ezposure Indices, 2018
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): Method 3514(1994)