

KOSHA GUIDE

A - 78 - 2018

1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트에
대한 작업환경측정·분석 기술지침

2018. 11.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 이광용
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 직업환경연구실

- 제·개정 경과
 - 2013년 6월 산업위생분야 제정위원회 심의(제정)
 - 2015년 4월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
 - 2018년 10월 산업위생분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

- 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, 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 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

1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트에 대한 작업환경측정 · 분석 기술지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건법 시행규칙 제93조(작업환경측정 대상 작업장 등)의 규정에 의거 작업환경측정 대상인자 중 1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트에 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 1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트의 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 맺음법은 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.

1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트 (1,6-Hexamethylene Diisocyanate, 1,6-HDI)

분자식: C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O ₂	구조식: OCN[CH ₂] ₆ NCO	분자량: 168.2	CAS No.: 822-06-0	
녹는점: -55℃	끓는점: 212.8℃	비 중: 1.04	용 해 도: 불용성	
특징, 발생원 및 용도:		무색 액체로 자극성의 냄새가 나며 호흡기와 점막, 눈, 코 등에 자극을 일으킴. 폴리우레탄 페인트 제조 공정 등에서 사용됨.		
노출기준	고용노동부 (ppm)	0.005	OSHA (ppm)	-
	ACGIH (ppm)	0.005	NIOSH (ppm)	0.005, 0.02(C)
동의어:		1,6-Diisocyanatohexane, HDI, Hexamethylene-1,6-diisocyanate, HMDI		
분석원리 및 적용성: 1-(2-pyridyl)piperazine으로 코팅된 유리섬유필터로 여과포집 한 후 고성능액체크로마토그래피(HPLC) 형광검출기 또는 자외선검출기로 분석				

시료채취 개요	분석 개요
<ul style="list-style-type: none"> ■ 시료채취매체: 1-(2-pyridyl)piperazine(1-2PP)으로 코팅된 유리섬유여과지 ■ 유량: 1~2 L/min ■ 공기량 -최대: 480 L -최소: 15 L ■ 운반: 측정 후 밀폐된 상태로 운반 후 냉장보관 ■ 시료의 안정성: - ■ 공시료: 시료 세트 당 2~10개의 현장 공시료 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 분석기술: 고성능액체크로마토그래피(HPLC) 자외선(Ultra Violet) 또는 형광(Fluorescence) 검출기 ■ 파장: 자외선검출기 254 또는 313 nm 형광검출기 240 nm(exitation) 370 nm(emission) ■ 컬럼: Altech C₈, 25 cm×4.6 mm, 10 μm ■ 주입량 및 유속: 10~25 μL, 1 mL/min ■ 이동상: 37.5/62.5 아세트니트릴/탈이온수(v/v)에 0.01M 암모늄아세테이트 넣은 후 초산으로 pH6.2로 조정 ■ 전처리: 아세트니트릴/디메틸설폭사이드 : 90/10(v/v) 용액 2 mL, 1시간 방치 ■ 검량선: 1,6-HDI와 1-2PP의 유도체화 표준용액 구입 또는 제조하여 사용 ■ 검출한계: 0.033 μg/sample
방해작용 및 조치	정확도 및 정밀도
<ul style="list-style-type: none"> ■ 화학적 방해(Chemical interferences): 작업장 공기 중에 무수물, 아민류, 알콜류, 카르복시산류 등 1-2PP와 반응할 수 있는 물질이 존재하면 1,6-HDI와 경쟁하게 되므로 간섭물질로 작용할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 총 정밀도(overall precision): 15.2

시약	기구
<ul style="list-style-type: none"> 메틸렌클로라이드(Methylene chloride, HPLC grade) 헥산(Hexane, HPLC grade) 아세토니트릴(Acetonitrile, HPLC grade) 디메틸설폭사이드(Dimethyl sulfoxide, HPLC grade) 1-2-피리딜 피페라진(1-(2-Pyridyl)piperazine) 1,6-헥사메틸렌다이소시아네이트(1,6-HDI) 암모늄아세테이트(Ammonium acetate) 초산(Glacial acetic acid) 증류수 또는 탈이온수 <p>※ 모든 시약은 가능한 한 순도가 좋을 것 (95%이상)을 사용한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 시료채취매체: 1-2PP로 코팅된 유리섬유 여과지(1-2PP coated glass fiber filter), 직경 37 mm 3단 카세트 홀더 개인시료채취펌프: 유량 1~2 L/min 고성능액체크로마토그래피 자외선검출기 또는 형광검출기(HPLC/UV or Fluorescence detector) 컬럼 : 이소시아네이트 1-2PP 유도체 분리가능한 HPLC 스테인레스스틸 컬럼(예: Altech C₈, 25 cm×4.6 mm, 10 μm) 50, 100 mL 비이커 10, 20 또는 25 mL 및 1 L 용량 플라스크 2, 4 mL 바이알 피펫 시린지 마이크로밸런스
<p>■ 특별 안전보건 예방조치: 모든 전처리 등의 실험은 흡후드에서 이루어져야 한다.</p>	

I. 시료채취

- 각 개인 시료채취펌프를 하나의 대표적인 시료채취매체(0.1 mg 1-2PP로 코팅한 유리섬유 여과지를 넣은 37mm 3단 카세트)로 보정한다.
 ※ 1-2PP가 코팅된 유리섬유 여과지는 메틸렌클로라이드에 1-2PP를 첨가하여 0.2 mg/mL 농도의 용액을 제조한 후 각 유리섬유 여과지에 0.5mL씩 도포하여 준비하거나 1-2PP가 도포된 유리섬유여과지를 구입하여 사용할 수 있다. 코팅된 여과지는 냉장보관 한다.
- 1~2 L/min의 정확한 유량으로 총 15~480 L의 공기를 채취하며, 채취 시 카세트의 맨 위쪽 커버를 제거한 후 오픈 페이스(open-face)로 측정한다.
- 채취가 끝난 카세트는 커버를 닫고 밀봉하여 운반한다.

II. 표준용액 제조

- 표준용액 제조는 상업적으로 구매한 표준원액(1,6-HDI와 1-2PP의 유도체 용액)을 사용하거나 다음의 방법으로 제조하여 사용한다. 표준용액은 시료분석 때마다 제조하여 사용한다.
 - 25 mL 용량플라스크에 3.5g의 1,6-HDI를 첨가한 후 디클로로메탄을 가해 녹인 후 부피가 25 mL가 되도록 디클로로메탄을 채운다.
 - 100 mL 용량플라스크에 7.25 g의 1-2PP를 첨가한 후 디클로로메탄을 가해 녹인 후 부피가 100 mL가 되도록 디클로로메탄을 채운다.
 - (가)의 용액을 (나) 용액에 저어주면서 서서히 첨가한 후, 35℃에서 10분간 가열한다.
 - 가열이 끝난 후 용액의 부피가 10 mL 정도 될 때까지 질소가스를 퍼지(purging) 시킨다.
 - 퍼지가 끝나면 용액에 노말헥산을 첨가하여 침전시킨다(노말헥산이 첨가되기 전에 약간의 침전이 일어날 수 있다).
 - 침전물을 여과시킨 후 여과된 침전물에 소량의 디클로로메탄을 가하여 녹인 후 다시 노말헥산을 가하여 재 침전시킨다.

(사) 침전물을 다시 여과시킨 후 노말헥산으로 세척하고 진공건조 시킨다. 위 과정을 통해 약 9 g의 1,6-HDI 유도체를 얻을 수 있다.

5. 4번에서 제조한 1,6-HDI 유도체를 디메틸설폭사이드(DMSO)로 녹여 표준원액(stock solution)을 만든다. 1,6-HDI의 무게는 1,6-HDI 분자량과 1,6-HDI 유도체 분자량의 비를 1,6-HDI 유도체의 무게에 곱하여 구한다.

$$\frac{1,6-HDI \text{ 분자량}}{\text{유도체 분자량}} = \frac{168.20}{494.64} = 0.3400$$

6. 5번에서 제조한 표준원액을 아세토니트릴로 용매로 희석하여 원하는 농도의 표준용액을 제조한다.

III. 시료 전처리

7. 3단 카세트를 열어 유리섬유여과지를 4 mL 바이알 등에 옮긴다. 이 때 유리섬유여과지가 접히거나 구겨지지 않도록 바이알 안쪽 표면에 평평하게 넣는다.
8. 추출용액(90/10(v/v) 아세토니트릴/디메틸설폭사이드(ACN/DMSO)) 2 mL를 바이알에 주입한다.
9. 바이알 캡을 닫고 여과지와 필터사이에 공기층이 생기지 않도록 잘 흔들어준 후 1시간 방치한다.

IV. 시료분석

【검량선 작성 및 회수율 계산】

10. 시료농도가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소한 5개의 표준용액을 제조한다.
11. 시료와 공시료를 함께 분석한다.
12. 다음 과정을 통해 회수율을 구한다.
- (가) 각 시료군 배치 당 최소한 한번 씩은 행하여야 하며 3개 농도 수준에서 각각 3개씩과 공시료 3개를 준비한다.
 - (나) 회수율 분석용 1-2PP로 코팅된 유리섬유 여과지를 37mm 3단 카세트의 중간 링에 올려 놓는다.
 - (다) 분석물질의 원액 또는 희석액을 마이크로피펫 또는 시린지를 이용하여 정확히 여과지에 주입한다.
 - (라) 여과지를 밀봉하여 하루 동안 상온에 놓아둔다.
 - (마) 시료 전처리 방법과 동일하게 전처리 한 후 분석한다.
 - (바) 다음의 식으로 회수율을 구한다.
- 회수율(Recovery) = 검출량 / 주입량

【기기분석】

13. 고성능액체크로마토그래피 제조회사가 권고하는 대로 기기를 작동시키고 조건을 설정한 후 표준용액, 회수율시료, 현장시료를 분석한다.
- ※ 분석기기, 컬럼 등에 따라 적절한 분석조건을 설정하며, 아래의 조건은 참고사항임.
- 컬럼 : Altech C8, 25 cm×4.6 mm, 10 μm
- 주입량 : 10~25 μL
- 유속 : 1 mL/min
- 파장 : 자외선검출기 254 또는 313 nm, 형광검출기 240 nm(excitation) 370 nm(emission)
- 이동상 : 아세토니트릴과 초순수를 부피비로 37.5:62.5로 혼합한 용액 500 mL에 암모늄아세테이트 0.77 g을 넣어 녹인 후 혼합용매를 추가하여 최종용액의 부피가 1 L가 되도록 한 다음, 초산을 가하여 pH가 6.2가 되게 한다.

V. 계산

14. 다음 식에 의하여 해당물질의 농도를 구한다.

$$C, mg/m^3 = \frac{W - B}{V \times RE} \times V_E$$

- W : 시료에서의 분석물질의 농도(ug/mL)
- B : 공시료에서의 분석물질의 농도(ug/mL)
- V : 채취 공기량(L)
- RE : 평균 회수율
- V_E : 추출용액의 양(mL)

VI. 비고

- 이 방법은 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2017-27호) 및 OSHA Sampling and Analytical Method #42에 기초하여 작성하였다.
- 이소시아네이트류를 측정·분석하는 다른 방법은 NIOSH NMAM 5521, 5522, MDHS 25/3 등이 있다.
- 건강영향 및 예방조치 : 시약류의 피부 접촉이나 흡입을 피해야 하며, 실험실에서는 실험복 및 보호장비의 착용이 필요하다.

VII. 참고문헌

1. 고용노동부 고시 제2017-27호, 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시, 2017.
2. 고용노동부 고시 제2018-62호, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 2018.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Edition, 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): NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM), Method 5521, 5522.
6. Occupational Safety and Health Administration(OSHA): Index of Sampling & Analytical Methods, Method 43.
7. Health and Safety Executive(HSE): Methods for the Determination of Hazardous Substances(MDHS), Method 25/3.