

소화약제 잔류물질에 대한 공기 중 노출평가 사례

임대성*

한성보건안전기술원(주), 용인대학교 산업환경보건학과

Example of Air Exposure Assessment for Fire Extinguishing Agent Residues

Daesung Lim*

Hansung Health and Safety Technology Co., Ltd.

Department of Occupational and Environmental Health, Yong In University

ABSTRACT

Objectives: This is a case of air exposure assessment conducted after researchers complained of headaches and odor due to residual substances from fire extinguishing agents spread throughout the laboratory due to a malfunction of the fire extinguishing facility.

Methods: A component analysis was conducted on the residual substances of a fire extinguishing agent spread in a laboratory using Py-GC-MS (pyrolysis gas chromatography mass spectrometry) at the research institute's own central equipment research center. As a result of the component analysis, several types of substances were detected. Among these, five types of substances subject to work environment measurement in the aromatic hydrocarbon series, which can affect headaches and odor, were selected as substances subject to exposure assessment in the air, and the measurement and analysis methods of the target substances were conducted in accordance with the KOSHA Guide for each substance.

Conclusions: The measurement results showed that all 5 types of substances were not detected at locations A, B, and C. This is believed to be the result of the residual substances in the fire extinguishing agent being measured when approximately two months had elapsed after being exposed to the test bench, and the substances already exposed had volatilized and disappeared. In this survey, it is believed that the measurement process is more important than the measurement results.

Key words: exposure assessment, emergency response, area sampling


I. 조사개요

우리나라의 작업환경 노출평가는 일반적으로 산업안전보건법에 따라 정기적으로 반기(6개월)별로 진행되고 있는 작업환경측정제도에 의해 사업주가 실시하고 있다 (MoEL, 2023). 이러한 작업환경측정제도는 약 20년 전인 2005년 진행된 설문조사에서 작업환경측정실시에 대한 규제의 경우 사업주는 412명중에 367명(89%)이 인지하고 있다고 응답할 만큼 측정을 실시해야 하는 사업주는 대부분 인지하고 있다(Byeon, 2009). 하지만,

예상치 못한 갑작스러운 화학물질의 노출에 대해서는 단순한 사고로 치부하거나, 임시간, 단시간 작업이라는 이유로 정기적인 작업환경측정에서 제외하고 있는 것이 현실이다.

작업환경 노출평가는 사업주가 법적 의무를 준수하기 위해 필요하지만, 기본적으로 근로자에게 노출되는 유해인자의 노출평가로서 다양한 용도로 활용될 필요가 있다. 본 조사는 법적으로 정해진 작업환경측정이 아닌 예상치 못하게 발생된 화학물질 노출에 대한 공기중 노출평가 사례를 공유하고자 한다.

*Corresponding author: Daesung Lim, Tel: 042-716-2168, E-mail: dsoklim@gmail.com
803, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon, Korea 34165
Received: March 2, 2024, Revised: March 14, 2024, Accepted: March 26, 2024

 Daesung Lim <https://orcid.org/0000-0003-4190-0390>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 사례는 한 연구기관의 실험실에서 발생했던 사례로서 소화시설의 오작동으로 실험실에 퍼진 소화약제의 잔류물질로 인해 연구자들이 두통과 냄새를 호소하여 진행된 공기 중 노출평가 사례이다.

II. 조사방법(측정 및 분석방법)

실험실에 퍼진 소화약제 잔류물질에 대하여 노출평가를 의뢰한 연구기관 소속의 자체 중앙기기연구센터에서 Py-GC-MS (pyrolysis-gas chromatography / mass spectrometer, 열분해 기체크로마토그래피 질량분석기)를 이용하여 성분분석을 진행하였고(세부 분석조건은 알 수 없음), 성분분석결과 여러종류의 물질이 검출되었으나, 이 중 두통과 냄새에 영향을 줄 수 있는 방향족 탄화수소 계열의 작업환경측정대상 물질 5종을 공기 중 노출평가 대상 물질로 선정하였고, 대상물질의 측정 및 분석방법은 물질별 KOSHA Guide 를 준수하여 실시하였고(Table 1), 분석장비는 GC/FID (gas chromatography / flame ionization detector, GC-2010Plus, Shimadzu, Japan)을 이용하여 분석하였다.

5종 중 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 스티렌은 활성탄관(6×75mm, 100/50mg, 20/40, Sigma-Aldrich, 20267-U)을 사용하였으며, 크레졸은 XAD-7 고체흡착관(XAD-7

specially treated, 6×90mm, 100/50mg, Sigma-Aldrich, 20349)을 사용하여 투명한 튜브 홀더 하우스링 (tube holder housing, Sensidyne, USA)에 넣은 후 폴리우레탄재질의 직경이 4.76mm인 유연한 튜브로 시료 채취펌프(Gilian LFS-113, Sensidyne, USA)와 연결한 후 실험대 위에서 지역시료 채취방법(area sampling)으로 시료를 채취하였다. 시간가중평균노출기준(TWA)

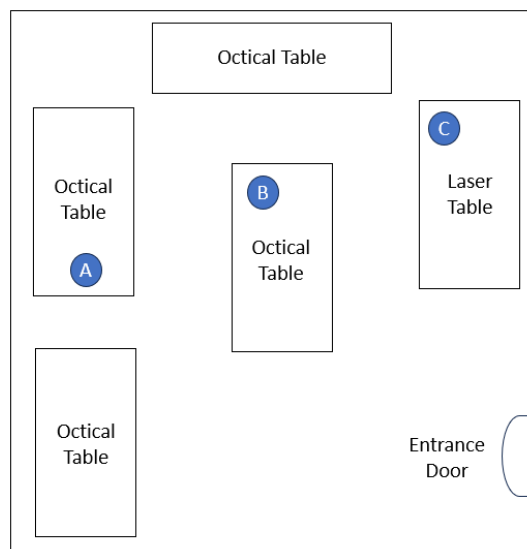



Fig 1. Area sampling measurement location within the laboratory

Table 1. Aromatic hydrocarbon-based substances subject to work environment measurement among fire extinguishing agent residues

Extinguishing agent residues, picture	Detected substance*	Substances subject to work environment measurement	Sampling media	Measurement and analysis methods (KOSHA-Guide)
	Propylene Benzene	Benzene		A-69-2019
	Toulene			
	m-Xylene	Toluene	Small activated coconut charcoal	A-72-2019
	Styrene			
	Cumene			
	Isopropylbenzene	m-Xylene	6×75mm, 100/50mg, 20/40, Sigma-Aldrich, 20267-U	A-73-2019
	m-Methylstyrene			
	p-Sopropyltoulence			
	Dipentene	Styrene		A-70-2019
	Indene			
o-Cresol				
Isopropenyltoluence				
1-Methylindene	o-Cresol	XAD-7 specially treated, 6×90mm, 100/50mg, Sigma-Aldrich, 20349	A-74-2018	
Bisphenol A				

*Detected by Py-GC-MS (pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometer)

평가를 위해 0.02 l/min의 유량으로 6시간 동안 채취하였고, 채취유량은 유량보정기기 (KMF-20, Kemik, Korea)를 사용하여 보정하였고 정확한 공기량 계산을 위해 시료채취 전·후 평균 유량을 사용하였다. 측정위치는 실험실의 내에서 가장 노출이 많이 된 것으로 파악된 3곳(A, B, C)을 지정하여 각 실험대 위에서 측정하였다(Fig 1).

III. 조사결과

1) 측정결과

측정결과는 A, B, C 장소에서의 5종 물질 모두 불검출되었다(Table 2). 이는 소화약제의 잔류물질이 실험대위에 노출이 된 후 약 2개월 이상의 시간이 흐른 뒤 측정이 되어 이미 노출된 물질들이 휘발되고 없어진 결과라고 판단된다.

2) 노출평가 절차

본 조사는 측정결과보다도 측정이 진행되었던 과정이 중요한 의미가 있다고 판단된다. 최초 소화시설이 오작동되어 실험실에 소화약제가 뿌려졌고, 이에 연구자들이 두통과 냄새를 호소하여 실험을 중단시키고, 내부환기를 실시하여 1차로 연구자들을 보호하였고, 2차로 소화약제 잔류물질의 성분을 분석하여 두통과 냄새의 원인 의심물질을 찾아내고 이 물질에 대해 공기 중 노출평가 실시하여 이상이 없음을 확인하고 안전한 상태를 확인한 후 실험을 진행하는 과정이 의미 있었음을 보여준다(Fig 2).

IV. 고찰 및 결론

본 조사는 소화약제가 오작동으로 분출된 후 실험실

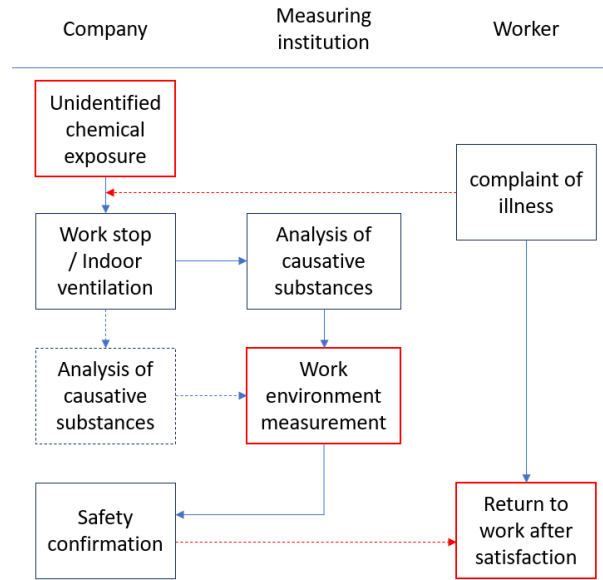


Fig 2. Work environment safety assessment through exposure assessment, schematic diagram

내에 있는 잔류물질로 인해 연구자들이 두통과 냄새를 호소하여 그 원인을 파악하고 연구자들의 근무 환경이 안전함을 확인하고자 진행되었다. 작업환경측정을 산업안전보건법의 준수의 목적으로 일반적으로 활용되고 있으나, 본 조사와 같이 일반적이지 않은 특이적 상황에서 발생하는 유해인자의 노출평가로서 작업환경측정이 활용되는 사례를 보여주고 있으며, 이는 작업환경측정기관들이 해당 지역에 연계 되어있는 사업장에서 발생할 수 있는 특이적 발생상황에 대해 긴급하게 대응할 수 있는 프로세스를 구축함으로써 작업환경측정이 단순한 법적준수 여부를 판단하기 위함이 아닌, 유사시 근로자들의 작업환경 안전성 평가에 적극적으로 활용될 수 있음을 보여주는 좋은 사례라고 판단된다.

또한, 작업환경측정이 법적 노출기준의 초과 여부를 판단하는 용도와 개인시료 채취방법만을 사용해야

Table 2. Work environment measurement results

Substances subject to work environment measurement	Measurement location	Measurement result	OEL(TWA) of MoEL*
Benzene	A, B, C	Not detected	0.5 ppm
Toluene	A, B, C	Not detected	50 ppm
m-Xylene	A, B, C	Not detected	100 ppm
Styrene	A, B, C	Not detected	20 ppm
o-Cresol	A, B, C	Not detected	22 mg/m ³

*OEL(TWA) of MoEL : Occupational Exposure Limit (time-weighted average) of Ministry of Employment and Labor, Korea

한다는 틀에서 벗어나 본 사례와 같이 특이적으로 오염된 작업환경의 안정성 평가를 위한 측정과 지역시료 채취방법을 적극 활용하여 비상대응 및 일상에서의 작업환경을 관리하는 방법으로 활용되기를 기대한다.

다만, 이번 조사의 보완점으로 두통과 냄새를 호소하는 실험실 종사자가 있다고 하여 고농도의 노출이 예상되어 시료 채취 유량을 0.02 L/min 로 다소 낮게 설정하는 것이 아니라, 최초 노출 시점부터 상당히 시간이 지난 점을 고려하여 시료 채취 유량을 높게 설정하는 것이 실제 측정결과의 신뢰도를 높이는데 효과적이었을 것이라 판단된다.

아울러, 소화약제 누출과 관련하여 이번 사례의 경우는 자체적으로 성분분석 장비를 갖추고 있는 기관으로서, 의심되는 물질을 직접 분석해 볼 수 있는 경우이며, 자체 분석이 불가능한 경우에는 소화약제의 MSDS (material safety data sheet)를 활용하여 최초 누출시 해당 물질의 주요 성분을 확인하고, 해당 MSDS 및 관련된 물질의 정보를 작업환경측정기관에 제공함으로써 좀 더 신속한 노출평가가 될 수 있게 하는 것이 필요하며, 이번 사례와 같이 두통이나 냄새를 호소하는 경우라면 portable TVOC 측정장비를 이용하여 신속하

게 간이측정을 한 뒤 정밀 노출평가를 실시하는 것도 좋은 방법이라고 판단된다.

References

- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Occupational Safety and Health Act. Act No. 19611, 2023
- Byeon SH, Yi KH, Yu GM, Phee YG. Regulatory compliance for the working environment measurement system in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2009;19(3): 233-239
- Korea Occupational Safety and Health Agency. Working Environment Measurement and Analysis Technical Guidelines (KOSHA GUIDE A-69, 70, 72, 73-2019). 2019
- Korea Occupational Safety and Health Agency. Working Environment Measurement and Analysis Technical Guidelines (KOSHA GUIDE A-74-2018). 2018

<저자정보>

임대성(대표, 초빙교수)