

세척공정의 트리클로로에틸렌 TWA 및 STEL 평가 사례

김현수*

(사)건설화학안전협회, 서울과학기술대학교 안전공학과

TCE Exposure Assessment of Cleaning Workers

Hyun Soo Kim*

*Korean Construction And Chemical Safety Association,
Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology*

ABSTRACT

Objective: This study introduces exposure concentrations of time-weighted average standard (TWA) evaluation and short-time exposure standard (STEL) evaluation for trichloroethylene in the cleaning process.

Methods: Trichloroethylene measurement was conducted according to the KOSHA Guide (A-24-2019) method. It was carried out twice.

Results: As a result of the first measurement, TWA concentration exceeded 4 times the exposure standard and STEL concentration exceeded 16 times, but the inaccuracy and breakthrough of the collection time could not be considered, so the second measurement was conducted. The second measurement result was lower than the first measurement result, but exceeded the exposure standards (TWA, STEL).

Conclusions: We were able to confirm that the exposure level of workers in the cleaning process using trichloroethylene exceeded the exposure standard. And it is also considered necessary to grasp the approximate concentration using a detector tube in the preliminary survey.

Key words: trichloroethylene, time-weighted average standard, short-time exposure standard

I. 조사개요


트리클로로에틸렌(Trichloroethylene, TCE, CAS No; 79-01-6)은 무색의 불연성, 비부식성 액체로서 클로로포름과 비슷한 달콤한 냄새가 나며 탁월한 탈지 효과 때문에 주로 금속산업장에서 금속기계제품의 세척제로 널리 사용되어 왔다(Kim, 2019). 트리클로로에틸렌은 고용노동부 고시에서 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average, TWA) 10 ppm, 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL) 25 ppm으로 설정되어 있으며 측정시간을 각각 6시간 이상, 15분으로 규정하고 있다(MoEL, 2020).

본 조사는 세척공정에서 실시한 트리클로로에틸렌의 시간가중평균노출기준(TWA) 평가와 단시간노출기준(STEL) 평가의 사례를 소개하고 평가과정에서 산업위생전문가로서 고민하였던 사항을 공유하고자 한다.

II. 조사방법(측정 및 분석방법)

트리클로로에틸렌 측정과 분석은 KOSHA Guide (A-24-2019) 방법에 따라 실시하였다(KOSHA, 2019). 활성탄관(6×70mm, 50/100mg, 20/40mesh, SKC사, part No.226-01)을 투명한 튜브 홀더 하우징(tube holder housing, SENSIDYNE사, USA)에 넣은 후 폴

*Corresponding author: Hyun Soo Kim, Tel: 02-2268-6141, E-mail: sejin0127@naver.com
12, Yeongsin-ro 20-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07307
Received: March 9, 2023, Revised: March 17, 2023, Accepted: March 30, 2023

 Hyun Soo Kim <http://orcid.org/0000-0002-4997-8574>

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.

리우레탄 재질의 직경이 4.76mm인 유연한 튜브로 시료 채취펌프(Gilian LFS-113, SENSIDYNE사, USA)와 연결한 후 근로자에게 부착하여 개인시료 채취방법으로 시료를 채취하였다. 시간가중평균노출기준(TWA) 평가를 위해 0.016 L/min의 유량으로 6시간 동안 채취하였고, 단시간노출기준(STEL) 평가를 위해 0.19 L/min 유량으로 15분간 채취하였다. 채취유량은 유량보정기기(Defender 510-L, MesaLabs, USA)를 사용하여 보정하였고 정확한 공기량 계산을 위해 시료채취 전·후 평균유량을 사용하였다.

1차 측정에서는 활성탄관의 앞·뒷층을 분리하지 않고 분석하였고 2차 측정에서는 활성탄관의 앞·뒷층을 분리하여 각각 유리재질의 2 ml 바이알에 옮긴 후, 이황화탄소(CS₂, Kanto Chemical, Japan) 1ml를 넣어 30분간 방치하여 추출하였다. 시료분석은 불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker, UK)로 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은 DB-WAX (30m × 0.25mm × 0.25um, Agilent사, USA)이었으며, 이동상 가스는 질소(N₂)를 사용하였다. 측정 및 분석은 총 2회 실시하였으며 1차 측정 1개월 이후 2차 측정을 실시하였다.

III. 조사결과

1) 공정설명

통신용 기계부품을 제조하는 사업장으로 전체 공정은 자동선반과 복합기를 이용하여 가공→세척→도금(외주)→조립→검사를 거쳐 출하공정으로 구성되어 있다. 세척공정은 TCE를 이용한 세척으로 기계가공 근로자 1명이 전담하고 있었고, 세척은 불규칙적인 작업으로 하루에 1회 정도 진행하고 있었다. 세척공정을 세분하여 설명하면 먼저 피세정물을 TCE가 담긴 용기에 5~6회 반복하여 담금 세척 후 탈수기를 이용하여 피세정물에



Figure 1. TCE cleaning process

남아 있는 TCE를 제거한 후 소분한다(Figure 1). 소분한 피세정물은 TCE가 담긴 플라스틱 용기에 넣어 2차 세척 이후 다시 탈수기를 이용하여 TCE를 제거한다. 세척공정은 기계가공 공정의 구석에서 이루어지고 있었는데, 별도의 국소배기설비가 없었으며, 근로자는 개인 보호구를 착용하지 않고 작업하고 있었다. TCE 월 평균 사용량은 50 L이었고, 전체 세척시간은 30분~40분 진행되었고 본 조사 시 STEL 평가는 노출이 가장 높을 것으로 예상되는 2차 세척과정 중 15분간 측정하였다.

근로자의 근무시간은 09:00~18:00, 식사시간은 12:30~13:30, 잔업시간은 18:00~19:00로 잔업을 포함하여 총 10시간이며 식사시간을 제외한 근무시간은 9시간이었다, TWA 평가는 근무시간 9시간 중 6시간 동안 측정을 실시하였고 총 근무시간에 대한 시간가중평균값(9hr-TWA)으로 계산하였다. 시간가중평균노출기준(TWA)은 근무시간 9시간에 대한 보정노출기준으로 평가하였다.

2) 측정결과

1차 측정결과 TWA는 37.5 ppm으로 근무시간을 보

Table 1. Results of exposure assessment for TCE cleaning process

Process	Hazard	Type of OEL	Concentration(ppm)		OEL(ppm)
TCE cleaning	Trichloroethylene	TWA*	First	37.5	8.89**
			Second	9.1	
		STEL	First	411.7	25
			Second	38.0	

*Time-Weighted Average for 9 hours(9hr-TWA)

**Occupational Exposure Limit(OEL) adjusted for 9 hours

정한 노출기준 8.89 ppm을 4배 이상 초과하였고 STEL은 411.7 ppm으로 노출기준 25 ppm을 16배 이상 초과하였다. 2차 측정결과 TWA는 9.1 ppm으로 근무시간을 보정한 노출기준 8.89 ppm을 초과하였고 STEL은 38.0 ppm으로 노출기준 25 ppm을 1.5배 초과하였다(Table 1).

IV. 고찰 및 결론

과거에는 STEL이 설정된 물질에 대한 작업환경측정을 실시하지 않는 경우가 종종 있었으나 최근에는 대부분의 작업환경측정기관에서 STEL에 대한 평가를 실시하고 있으며 예비조사를 통하여 STEL을 평가해야 하는 작업을 측정 전에 파악하고 이에 대한 평가를 실시하고 있다. 본 조사에서도 예비조사를 통하여 사전에 조사하였고 시간을 지켜서 세척작업을 해야 되는 상황이 아니어서 측정 당일 STEL을 평가할 수 있도록 세척작업 시간 조정을 요청하여 실시하였다.

예비조사에서는 근로자 구두 설명으로만 세척작업을 이해하였고 1차 측정결과처럼 노출기준을 초과하는 상황을 예측하지 못하였다. 1차 측정결과를 그대로 노동부에 보고하기에는 산업위생전문가로서 많은 고민이 있었다. 먼저 올바른 측정 및 분석방법이었다. 일반적으로 노출 농도가 높은 사업장이 많지 않기 때문에 점심시간 동안 펌프 가동을 멈추고 재가동하기 보다는 점심시간에 그대로 근로자에게 착용시키거나 한쪽에 떼어 두고 펌프는 그대로 가동하게 두고 측정시간만 점심시간을 제외하는 경우가 많다. 세척공정이 별도의 공간에 있지 않았기 때문에 공정 전체에 확산되었고 이로 인하여 TWA 결과값에도 영향을 있었을 것으로 판단하였다. 둘째로 1차 측정에서는 시료의 앞층과 뒷층을 분리하여 분석하지 못해 파과여부를 파악하지 못하였다. 모든 측정 시료에 대해 파과를 파악하는 것은 산업위생 노출평가에서는 기본이라고 할 수 있지만 현실적으로 수입대비 시간과 비용이 많이 소용되는 작업이다. 작업환경측정기관에서도 위와 같은 상황을 경험 하였을 것으로 생각한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 원칙을 지키는 것이 우선이겠지만 예비조사 단계에서 검지관 등을 이용하여 대략적인 농도를 파악하는 것도 필요하다고

판단된다.

사업장에 측정결과 초과했다는 결과를 통보하고 재측정을 하자고 제안하였고 근로자에게 TCE의 유해성을 주지시키고 2차 측정을 실시하였다. 세척 제품의 양과 시간은 1차 측정과 유사하였고 2차 측정 시에는 상주하며 점심시간에 펌프를 떼어 주고 이후에 재가동 하였다. 앞층과 뒷층을 분리하여 분석하였고 파과가 일어나지 않은 것을 확인하였다. 2차 측정결과 1차보다는 감소하였으나 노출기준(TWA, STEL)을 모두 초과하였다.

2차 측정결과를 기초로 보고서를 작성하였고 개선대책으로 국소배기설비 설치, 안전보건표지 부착, 취급일지 작성 및 개인보호구 착용 등을 제시하였다. 2차 측정 이후 작업장 개선이 아닌 세척공정을 외주로 변경했다고 하였다.

우리는 이번 평가를 통해서 비록 하루에 1회 정도 30~40분 정도 이루어지는 세척작업이었지만 작업방법 및 환기시설 설치유무에 따라 작업자의 TCE 노출수준은 노출기준을 초과 할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었고, 또한 보다 정확한 TCE 노출수준 파악을 위해서는 예비조사 시 검지관 등을 활용하여 개략적인 농도를 파악하여 해당 결과를 본 조사 시 시료채취전략 수립에 활용할 필요성이 있었다는 점이다. 또한, 노출기준이 초과되는 위험 공정들의 경우 외주화를 통해 측정대상에서 누락될 가능성이 있으니 외주 업체들에 대한 특별한 관리가 필요하다.

References

- Kim KY. Survey on Annual Excess Trend for Permissible Exposure Limit of Trichloroethylene. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2019;29(1):21-26
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Working Environment Measurement and Analysis Technical Guidelines for Trichloroethylene(KOSHA GUIDE A-24-2019). 2019
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. 2020

<저자정보>

김현수(국장, 외래교수)