

화학물질 운송작업자의 유해물질 노출수준 평가 사례

박해동* · 김세동

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Evaluation of Hazardous Substance Exposure Levels among Chemical Transport Workers

Hae Dong Park* · Se-Dong Kim

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

ABSTRACT

Objectives: To evaluate the levels of exposure to organic compounds during tank lorry loading/unloading operations, and identify the causes of exposure.

Methods: Personal sample evaluations were conducted for workers transporting tar and light oil at a coking plant of a steel mill in 2021 and 2023 using activated carbon tubes and GC/FID analysis. VOC monitoring was also performed using direct-reading equipment for transporting light oil.

Results: The median concentrations that were collected in 2021 for about 30 min for loading operations were 0.327 ppm and 0.035 ppm for benzene and toluene. The geomean concentrations that were collected for a full time work were 0.101 ppm and 0.034 ppm for benzene and toluene in 2023. Exposure levels were significantly higher for transporters compared to safety managers. Light oil operations showed higher exposure levels than tar operations. The peaks of VOCs were detected during pipe connection and disconnection by direct-reading monitor. The amount of exposure during unloading was approximately four times higher than during loading. However, there was no significant correlation between workload and exposure levels.

Conclusions: This study highlights the need for exposure management for transport workers, who often fall outside the scope of traditional workplace-level management. Potential improvement measures include upgrading vapor recovery equipment, ensuring adherence to safe work procedures, and considering work environment factors such as wind direction.

Key words: benzene, chemical transport, direct-reading monitoring, tank lorry, work environment assessment

I. 조사개요

다양한 산업에서 많은 화학물질이 사용되고 있으며, 고용노동부, 환경부, 산업통상자원부 등 여러 부처에서 관리를 위한 규정들을 두고 있다. 그 중에서도 화학물질의 운송과 관련된 안전관련 규정은 다음과 같다. 화학물질안전원은 “유해화학물질 차량 운송시설 설치 및 관리에 관한 고시”를 시행하고 있고, 한국산업안전보건


공단은 “유해화학물질 저장 운반 및 취급에 관한 기술 지침”을 제시하고 있다. 반면, 화학물질 운송과정에서 발생한 화학사고를 통계분석하기도 하였다(Lee et al., 2016; Jeon & Kim, 2018). 이러한 대부분의 자료는 안전관련 규정과 사고에 대한 것이었다.

제철소의 작업환경을 정밀 평가하는 과정 중, 부산물로 생산되는 조경유(light oil) 및 타르를 탱크로리로 운송하는 작업이 있음을 확인하였다. 조경유의 주성분 중

*Corresponding author: Hae Dong Park, Tel: 052-703-0883, E-mail: workenv@kosha.or.kr
400 Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44429

Received: March 7, 2025, Revised: March 15, 2025, Accepted: March 26, 2025

 Hae Dong Park <https://orcid.org/0000-0002-3497-0369>

 Se-Dong Kim <https://orcid.org/0000-0001-8691-3545>

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.

벤젠이 포함되어 있었고, 작업 시 노출 가능성이 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 화학물질 운송 작업은 취급 물질에 따른 안전 이슈뿐만 아니라 다양한 건강 영향이 발생할 수 있을 것으로 추정되었다. 이에, 조경유 및 타르를 운송하는 작업을 대상으로 유기화합물의 노출수준을 확인하고자 하였다. 탱크로리를 운전하는 출하 작업자와 이를 감독하는 작업자를 대상으로 하였으며, 두 차례의 개인 시료 평가와 더불어 직독식 모니터링을 실시하여 노출 원인을 파악하고자 하였다.

II. 조사방법

1. 조사대상

출하 작업 중 상차 시 작업자는 제품 이송 배관과 증기회수 배관(음압) 2개를 차량에 연결한다. 차량 구조에 따라서 일부 차량은 측면에 연결구가 둘 다 있으며, 일부는 상부에 증기회수 배관이 있다. 타르의 이송 시 온도는 약 60~70℃이며, 조경유는 약 30℃였다. 일정량(약 28톤)을 상차한 후, 스팀으로 제품 이송 배관 내의 잔량을 차량으로 밀어 넣는다. 이후 탱크로리측 댐퍼를

닫고 배관 내부의 압력을 제거하고, 2개의 배관을 탈착시킨다. 주변 정리 후, 운전하여 이송하고, 하차작업은 상차작업과 유사하였다.

'21년 9~10월과 '23년 5월에 제철소에서 타르와 조경유를 공장 내 또는 공장 외부로 운반하는 작업자를 대상으로 평가하였다(Table 1). '21년 평가 시 출하 작업자는 1회 출하 작업시간인 약 30분간 시료를 채취하였고, 출하 작업시 공정운전자 또는 안전지킴이가 작업 관리를 위하여 현장에 상주하는 경우(이하 안전관리자)에도 출하 작업 동안(1~6회, 29~405분) 시료를 채취하였다. '23년 평가 시 전체 작업시간 동안(330~434분) 시료를 채취하였으나, 1명의 작업자는 휴가로 인하여 오전 작업시간 동안(143분) 시료를 채취하였다. 화학물질의 상차와 하차가 한 번의 사이클이므로 이를 작업량(workload) 1로 보았고, 시료 채취 시간 동안 작업 상황을 파악하여 상차작업만 한 경우는 작업량을 0.5로 계산하였다. 안전관리자는 상차만 감독하였으므로 감독 횟수에 0.5를 곱하여 작업량을 산정하였다.

조경유 출하작업을 대상으로 직독식 장비(MultiRAE Pro, Honeywell, USA)를 이용하여(Table 2), '23년

Table 1. Samples and working conditions

	N*	Job	Workload [†]	Sampling	
				Time (min)	Flow (mL/min)
2021	12	Light oil transport	0.5	26-44	0.2
	11	Tar transport	0.5	23-30	0.2
	5	Safety manager	0.5-3	29-405	0.1
2023	6	Light oil transport	0.5-4	143-434	0.1
	15	Tar transport	2-7	330-421	0.1
	9	Safety manager	1-4	358-434	0.1

*N: number of samples, [†]Workload: the number of loading and unloading tasks performed with the chemical tank lorry (each loading or unloading =0.5)

Table 2. Main specifications or settings of direct-reading instrument (MultiRAE pro)

Variables	Specifications or settings
Size	193 × 96.5 × 66 mm
Weight	880 g (pumped model)
Sensor	PID (10.6eV) Range 10 ppb - 2,000 ppm Resolution 10 ppb
Sampling flow rate	250 cc/min
Data logging	1 min interval
Operating temperature humidity	-20℃ - 50℃ 0%-95%(RH, non condensing)

11월에 2일간 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)을 모니터링하였다. 작업자는 제철소에서 생산된 조경유를 보관하는 저장탱크에서 탱크로리로 이송(상차, charging)한 후, 차량을 운전하여 외부업체로 이동하고, 탱크로리내의 조경유를 해당업체의 저장탱크로 이송하는 작업(하차, discharging)을 반복해서 하였다. 2명의 작업장소는 상/하차지점이 모두 동일하였으며, 순차적으로 작업이 이루어졌다.

2. 평가 방법

유기화합물 평가방법은 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 방법(Method 1501)을 따랐으며, 주요 내용은 다음과 같았다. 시료채취매체는 활성탄관(SK226-01GWS (100 mg/50 mg))을 사용하였고, 저유량 시료채취기(Pocket pump, SKC, USA)를 타이콘 튜빙으로 연결하여 사용하였다. 모든 시료는 작업자의 호흡영역에서 개인시료형태로 채취하였다. 시료채취유량은 대부분 약 0.1 LPM으로 하였으나, 30분 내외의 짧은 시간동안 시료채취를 하는 경우에는 가능한 낮은 농도까지 분석하기 위하여 0.2 LPM으로 하였다(Table 1).

채취된 활성탄관은 분석 전까지 냉장 보관하였다. 활성탄관의 앞측과 뒷측을 분리하여 각각 분석용 바이알(2 mL)에 담고, 이황화탄소 1 mL를 넣고 상온에서 30분간 탈착하여 전처리하였다. 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기(gas chromatograph/ flame ionization detector, GC/FID)에서 아래의 조건으로 분석하였다(Table 3). 일부 시료를 대상으로 가스크로마토그래프/질량분석기(gas chromatography/mass spectrometer, GC/MSD)를 사용하여 정성 분석하여 물질을 재확인하였다.

저농도 검량선의 표준오차에 3을 곱하고, 기율기로 나누어 물질별 검출한계를 산출하였다. 검출한계는 벤젠

0.00081 $\mu\text{g}/\text{시료}$, 톨루엔 0.00045 $\mu\text{g}/\text{시료}$, 크실렌 0.00037 $\mu\text{g}/\text{시료}$ 수준이었다.

직독식 모니터링을 위하여, 장비(MultiRAE pro, Honeywell, USA)를 안전대에 착용시키고, 타이콘 튜빙을 이용하여 작업자 호흡 영역에서 공기를 흡입하도록 하였다. 1분 간격으로 데이터를 저장하였다. 1일 측정에서는 2명 모두 중간에 기류 막힘으로 인하여 측정이 중단되었는데, 데이터가 수집된 시간은 97분 또는 281분이었다. 2일 차에는 측정 장비가 에러 없이 측정되었으며, 348분 및 388분간 측정되었다. 동 장비는 이소부틸렌으로 보정되었으며, 여기에 서술된 값은 별도의 보정 없이 장비에서 표시되는 값을 사용하였다. 제조사의 보정계수 정보에 의하면, 조경유 주요성분의 보정계수는 벤젠 0.48, 톨루엔 0.53, 크실렌 0.39~0.46이다.

3. 통계처리

통계처리는 SPSS Statistics 29.0(IBM, USA) 프로그램을 사용하였으며, 95% 신뢰수준에서 분석하였다. 통계처리를 위하여 불검출된 시료는 해당 물질의 검출한계를 2로 나눈 후, 각 시료별 채취 유량을 적용하여 대체 값을 산출한 후 적용하였다. '21년 평가자료는 로그 변환 시에도 정규분포를 따르지 않아서, 비모수 검정(독립표본 Kruskal-Wallis)을 통하여 집단 간 노출수준을 비교하였다. '23년 평가 결과는 로그 변환 시 정규분포를 보였으며, 독립표본 t-검정으로 노출수준을 비교하였다. 작업량과 벤젠 노출수준은 피어슨 상관분석을 하였다.

직독식 모니터링 값은 대부분 "0"이었으며, 단시간 피크 값에 노출되는 경향을 보여, 자료의 분포는 변환 시에도 정규성을 만족하지 않았다. 측정값이 "0"인 경우에는 최소단위(10 ppb)를 2로 나누어 자료정리에 사용하였다.

III. 조사결과

(1) '21년 평가결과

측정 시료 28건 중에서, 불검출된 시료의 수는 벤젠 5건(18%), 톨루엔 9건(32%)이었으며, 물질별 노출수준은 Table 4와 같았다. 벤젠의 중위수 노출수준은 조경유 출하 작업자 0.606 ppm, 타르 출하 작업자 0.435 ppm, 안전관리자는 0.046 ppm이었다. 3개 직종 비교

Table 3. Analytical conditions for GC/FID

Variables	Conditions
Instrument	Agilent 8890
Column	DB-624 (30 m×0.25 mm×1.4 μm)
Injection	volume 1 μL , split ratio 10:1
Carrier gas	N ₂ , constant flow 1 mL/min
Oven temp.	initial 40°C(3 min), rate 10°C/min, 200°C
Retention time (min)	Benzene 5.09, Toluene 6.61, Xylene 8.13&8.44

Table 4. Exposure levels for benzene and toluene by occupational category (unit: ppm)

Chem.	Job	N*	Median	GM [†]	GSD [‡]	AM [§]	SD	Min	Max
Benzene	Total	28	0.327	0.157	14.183	0.707	0.845	ND [¶]	2.896
	LT ^{**}	12	0.606 ^{a)}	0.382	9.892	1.100	1.047	ND	2.896
	TT ⁺⁺	11	0.435	0.152	13.942	0.550	0.569	ND	1.752
	SM ^{††}	5	0.046	0.020	16.570	0.112	0.139	ND	0.313
Toluene	Total	28	0.035	0.017	8.254	0.066	0.100	ND	0.426
	LT	12	0.040	0.015	7.782	0.045	0.047	ND	0.153
	TT	11	0.064	0.028	9.838	0.109	0.144	ND	0.426
	SM	5	0.013	0.007	6.882	0.023	0.033	ND	0.080

*N: number of samples, [†]GM: geometric mean, [‡]GSD: geometric standard deviation, [§]AM : arithmetic mean, ^{||}SD: standard deviation, [¶]ND: not detected, ^{**}LT: Light oil transport, ⁺⁺TT: tar transport, ^{††}SM: safety manager, ^{a)}: p-value<0.05 compared to SM (by Kruskal-Wallis)

시 통계적으로 유의한 차이는 없었으나(p=0.050), 각 대응 별 비교 시에는 조경유 출하 작업자의 노출수준이 안전관리자에 비해서 유의하게 높았다(p=0.046). 톨루엔의 전체 중위수 노출수준은 0.035 ppm이었으며, 3개 직종 비교 시 유의한 차이는 없었고(p=0.302), 각 대응 별로도 유의한 차이가 없었다.

크실렌은 19건(68%)이 불검출로 분석되었으며, 검출된 값은 0.009~0.123 ppm 수준이었다. 크실렌의 평가값은 불검출이 많았고, 노출 기준(100 ppm)에 비해서 노출수준이 1% 미만으로 낮아서 표에 기재하지는 않았다.

출하 작업은 타르와 조경유에 대한 차량이 구분되어 운행되며, 출하 기사 1명이 하루에 4~6회 출하 작업을 하는 것으로 파악되었다. 평가 당시에는 약 30분간의 상차작업만을 평가대상으로 하였으며, 하차작업은 다른 공간에서 이루어져서 평가되지 못하였다. 작업절차가 유사한 것으로 파악되어 가정을 통하여 일별 노출량을

추정하였고, 추정식(Equation 1) 및 가정된 조건은 아래와 같았다.

$$estimated\ 8-hr\ TWA\ (ppm) = \frac{C_j \times T_j + C_r \times T_r}{T_j + T_r}$$

.....(Equation 1)

C_j : concentration of benzene for active job (ppm)
 T_j : time for active job (min)
 C_r : concentration of benzene for rest or drive (0 ppm)
 T_r : time for rest or drive (480- T_j)

- 벤젠의 농도 : 작업별 약 30분 측정한 값의 기하평균 적용, 상·하차 시 동일 수준으로 가정
- 1일 운반작업 : 4~6회 (상·하차 총회수 : 8~12회)
- 상·하차 시 소요 시간 : 각 30분, 1일 근무 시간 8시간
- 상·하차 작업 외에는 노출이 없는 것으로 가정

Table 5. Estimated TWA levels of benzene exposure by job category

Job	N*	Exposure time [†] (min)	Concentration (GM, ppm)	Non-exposure time [‡] (min)	8-hr TWA [§] (ppm)
Light oil transport	4	240	0.382	240	0.191
	5	300		180	0.239
	6	360		120	0.287
Tar transport	4	240	0.152	240	0.076
	5	300		180	0.095
	6	360		120	0.114

*N: number of transport cycles, [†]exposure time=N×2×30, [‡]non-exposure time=480-exposure time, [§]8-hr TWA: estimated 8-hour time weighted average concentration

추정된 TWA 노출수준은 Table 5와 같았다. 1일 작업량(운반 회수)에 따라서, 조경유 출하 작업에서 벤젠의 노출수준은 0.191~0.287 ppm으로 추정되었다. 타르 출하 작업은 0.076~0.114 ppm 수준의 벤젠에 노출될 것으로 추정되었다.

(2) '23년 평가결과

벤젠과 톨루엔은 각각 3개 시료에서 검출되지 않았으며 노출수준은 Table 6과 같았다. 기하평균은 벤젠과 톨루엔이 각각 0.101 ppm 및 0.034 ppm이었다. 벤젠의 노출 기준(0.5 ppm)을 초과하는 값은 3개였으며, 조경유 출하 기사에서 3.416, 3.438 ppm이 측정되었고, 타르 출하 기사에서 0.535 ppm이 측정되었다. 관리 수준(action level) 단계인 0.25 ppm에서 0.5 ppm 사이의 값은 5개였으며 모두 출하 기사에서 측정된 값이었다.

작업구분별로 살펴보면, 안전관리자의 벤젠 노출 기하평균 농도는 0.021 ppm이었으며, 출하 기사는 0.197 ppm이었다. 출하 기사의 노출수준이 안전지킴이보다 유의하게 높았다($p < 0.001$). 출하작업자에서 취급물질 구분에 따라서 벤젠의 노출수준을 살펴보았다. 조경유 출하작업시 노출수준의 기하평균은 0.590 ppm 이었으며, 타르 출하작업시 노출수준의 기하평균은 0.127 ppm이었다. 조경유 출하작업이 타르 출하작업보다 노출수준이 유의하게 높았다($p = 0.045$).

총 30개의 시료 중 크실렌은 6개의 시료에서 검출되었으며, 검출된 시료의 농도 범위는 0.08~1.98 ppm이었다. 에틸벤젠은 3개 시료에서 검출되었고, 농도 범위는 0.03~0.08 ppm 수준이었다. 타르 출하 작업에서

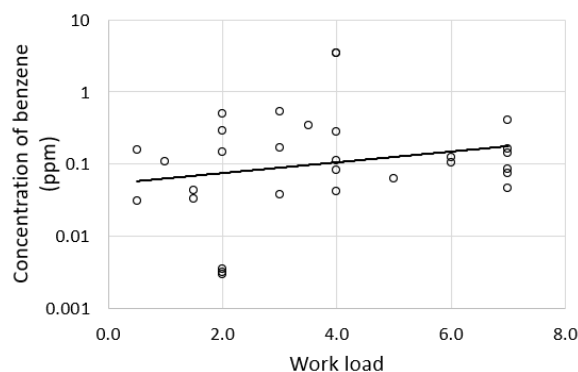


Figure 1. Correlation between the workload and the benzene exposure in 2023

채취된 시료 중 나프탈렌이 10개 시료에서 소량 검출되었다(규정된 측정분석방법이 아니므로 농도는 기술하지 않음).

작업량과 노출수준과의 관계를 비교해 보면 Figure 1과 같았다. 작업량이 증가할수록 노출수준이 증가하는 것으로 보이나, 결정계수가 매우 낮았다($R^2 = 0.0002$). 또한, 상관분석 결과 유의한 관계는 없었다($p = 0.840$).

(3) 직독식 모니터링

'23년 11월 평가한 이틀 중, 2일차 작업자별 VOC 모니터링 결과는 Figure 2와 같았다. 상차 및 하차시, 차량에 조경유 이송배관을 연결하는 시점과 이송이 끝나고 배관을 탈착하는 과정에서 VOC 농도 피크를 보였다. 배관을 연결 및 탈착하는 시간 이외의 운전 또는 대기(현장사무실)하는 동안은 노출이 거의 없었다.

일자별, 작업자별 및 작업 구분에 따른 농도 수준은 Table 7과 같았다. 상차보다 하차 시 농도가 높았고,

Table 6. Exposure levels for benzene and toluene by occupational category (unit: ppm)

Compound	Job	N [*]	Median	GM [†]	GSD [‡]	AM [§]	SD	Min	Max
Benzene	Total	30	0.110	0.101	5.195	0.365	0.844	ND [¶]	3.438
	LT ^{**}	6	0.383	0.590	4.148	1.324	1.633	0.159	3.438
	TT ⁺⁺	15	0.111	0.127	2.211	0.172	0.148	0.038	0.535
	SM ^{††}	9	0.033	0.021	4.688	0.046	0.049	ND	0.144
Toluene	Total	30	0.029	0.034	2.884	0.060	0.075	ND	0.330
	LT	6	0.040	0.063	3.165	0.111	0.128	0.019	0.330
	TT	15	0.033	0.037	2.295	0.052	0.049	0.013	0.185
	SM	9	0.015	0.019	3.272	0.040	0.059	ND	0.179

^{*}N: number of samples, [†]GM: geometric mean, [‡]GSD: geometric standard deviation, [§]AM: arithmetic mean, ^{||}SD: standard deviation, [¶]ND: not detected, ^{**}LT: light oil transport, ⁺⁺TT: tar transport, ^{††}SM: safety manager

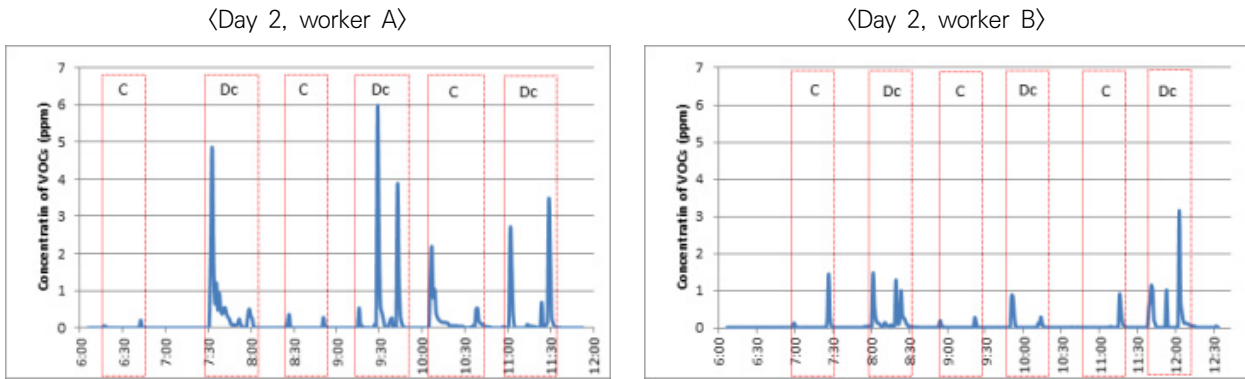


Figure 2. Graphs of real-time VOCs exposure (C: charging, Dc: discharging)

Table 7. Exposure levels of VOCs by job category (ppm)

Category	N [*]	Median	GM [†]	GSD [‡]	AM [§]	SD	Min	Max	Prop ^{**} (%)
Charging	305	ND	0.013	4.774	0.084	0.274	ND	2.230	18.2 ± 1.9
Discharging	317	0.040	0.045	7.613	0.327	0.829	ND	5.950	80.9 ± 1.0
Driving and other	459	ND	0.005	1.175	0.005	0.002	ND	0.040	1.2 ± 1.7

^{*}N: number of samples, [†]GM: geometric mean, [‡]GSD: geometric standard deviation, [§]AM : arithmetic mean, ^{||}SD: standard deviation, ^{||}ND: not detected, ^{**}Prop: proportion of exposure

운전하는 동안은 거의 노출이 없었다. 3개의 세부 작업 (상차, 하차, 운전) 동안 측정된 값이 전체 측정값에 미치는 영향을 비율로 구하여 노출량에 기여하는 정도를 살펴보았다. 전체 노출량에서 상차는 평균 18.2% (17.8~20.0%)였으며, 하차는 평균 80.9% (80.0~82.2%)였다. 하차작업 동안의 노출량이 상차작업 동안 노출량의 약 4배에 해당하였다.

IV. 고찰 및 결론

탱크로리 출하 작업을 대상으로 유기화합물의 노출수준을 평가하였다. 측정값 중 일부는 벤젠의 노출 기준을 초과하고 있었고, 일부는 벤젠 등이 검출되지 않는 경우도 있었다. 또한 '23년 평가한 자료에서, 작업량이 많을수록 노출수준이 높기는 하였으나, 통계적으로 유의한 상관관계는 없었다. 이러한 결과는, 출하 작업이 실외에서 이루어지므로 바람의 방향에 의해서 크게 영향을 받았을 것으로 판단된다. 고농도에 노출되는 짧은 시간 동안의 오염원과 작업자의 위치 및 바람의 방향에 의해서 불검출에서부터 노출 기준을 초과하는 값으로까지 넓은 범위의 농도를 보였을 것으로 생각된다. 작업자의 행동특성도 일부 영향을 주었을 것으로 생각되나, 작업절차가 매우 단순하여 큰 영향을 미치지 않았을

것으로 생각된다.

제철소에서 발생하는 조경유는 코크스공정에서 발생하는 가스 중에서 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등의 방향족 화합물을 포집하는 설비에서 회수된 것이다. 제철소의 내부자료에 의하면 조경유의 주성분은 벤젠(약 80%), 톨루엔(약 10%), 크실렌(약 3%), 나프탈렌(약 4%)였다. 석유 및 석유대체연료 사업법의 국내 연료 품질기준에 따르면(한국석유관리원), 휘발유의 기준은 방향족화합물 부피함량이 22% 이하, 벤젠 부피함량이 0.7% 이하이다. 경유의 기준은 방향족화합물의 무게 함량이 30% 이하이고, 등유에는 별도의 기준이 없다.

직독식 모니터링 결과에 따르면, 출하 작업 시 노출은 배관의 연결과 탈착 과정에서 고농도에 짧은 시간동안 노출되는 것으로 나타났다. 작업 시 20리터 바스켓을 하부에 두고 배관을 탈착시켰고, 이때 소량의 액체가 바스켓으로 떨어지고, 여기에서 증기가 발생하는 것이 관찰되었다. 바스켓으로 회수된 액체는 별도의 밀봉이나 처리없이 차량의 측면에 탑재한 채 운행되고 있었다. 배관의 가장자리에 묻어있는 타르 등을 천으로 닦아내고, 천을 차량 옆에 묶어두는 경우도 있었다. 이러한 부분에서도 유기화합물이 휘발되어 작업자에게 노출될 가능성은 있어 보였다.

증기회수 시스템의 압력(음압)은 압력게이지에서 관

찰이 가능하였는데, +5~-90 mmH₂O로 변동이 있었다. 이는 여러 공정의 증기 포집 배관을 묶어서 흡입함으로써, 특정설비에서 증기 발생이 증가하면 다른 쪽에서 흡입압력이 감소할 수 있다. 증기에 포함된 나프탈렌 등의 물질이 배관에 누적되어 막히면 흡입압력이 줄어드는 경우가 발생할 수도 있다. 이에 '21년 평가 이후 사업장은 출하 작업장 증기 포집 배관을 단독으로 설치하여 다른 라인에서 발생하는 증기로 인한 영향을 배제하고, 막힐 시 열안수 또는 스팀으로 퍼지가 가능하도록 개선한 바 있다.

하차 작업장소는 제철소 외부에 있어서 현장을 직접적으로 관찰하지는 못하였다. 출하기사에 따르면 하차장소 주변에는 여러 개의 저장탱크가 근접하여 있고, 평가차량 이외에도 여러 대의 차량이 운행되고 있었다. 해당업체에서 생산된 제품을 외부로 반출하는 차량들도 있었다고 한다. 또한 하차장소에는 드레인(상차 및 하차시 배관에 남아 있는 미량의 액체를 받아둔 것)을 회수하는 용기가 있어서 그곳에 드레인을 붓기 위하여 용기를 개방할 때 악취를 많이 느낀다고 하였다.

전체 노출량에 미치는 영향은 하차작업이 상차작업에 비해서 약 4배 수준이었다. 이는 위와 같은 작업장의 상황에 의한 차이이거나, 상하차 작업 간 작업 방법 중 미세한 차이가 원인일 수 있다고 생각된다.

출하 작업자와 안전관리자는 모두 호흡보호구(방독마스크) 및 보호복을 착용하고 작업하였으므로, 실제로 인체에 흡수된 유기화합물은 평가 결과보다 낮을 것으로 생각된다. 그러나, 대표적인 발암성 물질로 알려진 벤젠에서 국내 노출 기준(0.5 ppm)을 초과하는 경우가 있었다. '23년 미국 국립산업위생사협회(ACGIH)에서 벤젠의 노출 기준(8시간 가중평균)을 0.02 ppm으로 강화한 바 있다. 또한, '23년 평가한 값의 90%는 0.02 ppm을 초과하므로, 철저한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

출하작업자는 운송을 수탁받은 회사의 소속직원이거나, 개인사업자의 지위도 있었다. 업무를 수탁받은 이들의 입장에서 노출저감을 위해서 저장관련 설비를 변경하거나 개선하는 작업을 직접하거나 요구하기에는 어려움이 있을 것으로 생각된다. 운송을 위탁한 사업장에서 환경관리에 관심을 두고 개선 등을 추진하여야 할 것이다. 작업자는 안전작업절차를 준수하고, 증기회수설비의 정상작동 여부 확인 및 바람의 방향 등을 고려하여 작업하여야 한다.

본 조사는 다음과 같은 제한점이 있었다. '21년 및

'23년에 나뉘어서 진행되면서, 평가의 연속성 및 평가 방법의 차이에 의해서 결과값을 직접 비교하기는 어렵다. 다만, '21년 작업시간 동안 농도와 작업 횟수로 추정된 8시간 TWA 농도가 조경유 및 타르 출하 작업 시 각각 0.191~0.287 ppm, 0.076~0.114 ppm이었고, '23년 평가된 TWA 중위수 농도는 각각 0.383 ppm 및 0.111 ppm으로 나타나, 연도 간 노출수준은 큰 차이가 없는 것으로 생각된다. 상차작업은 현장에서 확인하였으나, 하차작업은 직접 확인되지 않았고, 작업자의 진술로만 조사되었다. '23년 평가한 개인 시료와 직독식 모니터링은 동시에 진행된 것이 아니고 순차적으로 수행되어 종합적인 분석에 한계가 있었다.

이러한 한계점에도 불구하고, 화학물질 운송 작업 시 짧은 시간 동안 고농도에 노출될 수 있음을 확인하였고, 사업장 단위로 관리되는 전통적인 시각에서 출하 작업자는 해당 사업장의 작업자가 아니므로 산업보건의 사각지대에 해당될 수 있는데 노출 작업을 확인한 의의가 있다. 본 조사는 제철소의 특정 공장에서 평가한 사례이므로, 향후 전반적인 화학물질 운송 작업에 대한 현황을 파악하고 적절한 작업관리를 위한 초석이 되기를 바란다.

References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Value(TLVs) and biological exposure indices(BEIs). 2024
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical Agents (MoEL Public Notice No. 2020-48). 2020
- Park HD, Kim SD, Yi GY, Kim JB. Survey to improve working environment at steel mill. Research report. 2023-OSHRI-724. (ISBN: 979-11-92782-95-9) 2023
- Lee TH, Lee SJ, Shin CH. Statistical analysis of chemical substance transporting accidents. Fire Sci. Eng., 2016;30(6):23-30 (doi: 10.7731/KIFSE.2016.30.6.023)
- Jeon BH, Kim HS. Improvement of accident statistic analysis and response of hazardous chemical transport vehicle. J Soc Disaster Inform, 2018;14(1): 59-64 (doi: 10.15683/kosdi.2018.03.31.59)

<저자정보>

박해동(연구위원), 김세동(과장)