

항공기의 소독작업 및 좌석커버 교체작업에서 1-브로모프로판 노출평가 사례

박해동* · 노지원 · 장미연 · 김성호 · 김세동 · 조현민

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Case Study of 1-bromopropane Exposure Assessment During Aircraft Disinfection and Seat Cover Replacement Work

Hae Dong Park* · Jiwon Ro · Miyeon Jang · Sungho Kim · Se-Dong Kim · Hyounmin Cho

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

ABSTRACT

Objectives: To evaluate the levels of exposure to organic compounds during aircraft disinfection and seat cover replacement operations.

Methods: According to the working schedule, organic compounds were collected using activated carbon tubes and then analyzed by GC/FID and GC/MSD.

Results: In the disinfection task, the main substances listed in the material safety data sheet (MSDS) of the disinfectant were not detected. However, 1-bromopropane, which had been used in the previous task of replacing seat covers, was detected at a level of 2.37 ppm at the measurement time. During seat cover replacement, bonding workers were exposed to 2.48 ppm on an eight-hour time-weighted average, and seat cover replacement workers were exposed to 0.22 ppm.

Conclusions: It is necessary to ensure the reliability of MSDS. A work environment management system is necessary when different companies alternate working in the same place.

Key words: 1-bromopropane, aircraft, cleaning, disinfection, exposure

I. 조사개요


'17년 7월 항공기 소독 후 기내 청소를 위하여 투입된 작업자들이 구토 등의 증상을 보이면서 사회적 이슈가 발생하였다. 이에 항공기 내 소독작업과 기내 청소작업에 사용된 소독 약제에 대한 작업환경평가를 수행하게 되었다.


항공기의 기내 청소는 크게 비행간 청소와 주기적 청소의 2가지로 분류해 볼 수 있었다. 비행간 청소는 각 비행 사이에 쓰레기 수거, 좌석별 비치자료 정리,


좌석 및 테이블 닦기, 화장실 청소 등을 빠르게 수행하는 작업이며, 주기적 청소는 좌석 커버 교체, 카펫 교체, 오버헤드 빈 청소, 소독 등을 수행하는 작업이다. 소독작업에 대한 평가는 물질안전보건자료에 기재된 화학물질 중심으로 진행하였으나, 시료 정성 분석 시 소독 약제에 포함되지 않은 화학물질 1-브로모프로판(1-bromopropane, 1-BP)이 추가적으로 검출되었다. 1-BP는 소독작업 시작 전에 좌석 커버를 교체하는 과정에서 사용된 접착제에 포함된 물질이었으며, 이후 진행되는 소독작업 시에도 영향을 미친다고 판단되어 함

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


Received: February 19, 2024, Revised: March 7, 2024, Accepted: March 25, 2024


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

 Miyeon Jang <https://orcid.org/0000-0002-3534-3279>

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

 Jiwon Ro <https://orcid.org/0000-0002-5946-0429>

 Sungho Kim <https://orcid.org/0000-0002-0158-1244>

 Hyounmin Cho <https://orcid.org/0000-0003-4529-9846>

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.

게 노출 수준을 살펴보았다.

II. 조사방법

1. 조사대상

1) 소독작업

‘18년 3월 항공기 분무소독 2개 작업에 대하여 소독제 성분의 노출 수준을 평가하였으며 항공기 2개 기종(A330 및 747, Boeing, USA)에 대한 작업을 평가대상으로 하였다. 제조사 정보에 의하면 소독약제에는 시클로헥산이 약 90% 함유되어 있었다. 작업자들은 소독약제와 물을 1:60으로 혼합하였으며 항공기의 크기에 따라 소독약제 120 mL 또는 135 mL를 물 7~8리터에 희석하여 사용하였다. 분무소독은 2명의 작업자가 실시하였는데 1명은 분무기를 등에 메고 항공기 안쪽부터 출입구 쪽으로 이동하면서 바닥을 향하여 약제 혼합액을 분사하면서 소독하였고 다른 1명은 장애물을 치우거나 소독을 원활하게 진행하기 위한 보조업무를 수행하였다. 항공기 기내소독에는 20분, 화물칸 소독에는 10분 가량이 소요되었다. 첫 번째 기종은 화물칸이 정비중이어서 기내 소독만 실시하였으며, 두 번째 기종은 화물칸 안으로 작업자가 진입하여 기내와 동일하게 바닥면을 중심으로 소독하였다.

2) 좌석커버 교체작업

‘18년 5월 보잉 747 기종의 작업을 대상으로 평가하였다. 평가당시 좌석커버는 약 2개월 주기로 교체한다고 하였다. 좌석커버 교체작업은 기존의 커버를 제거하고 새 커버를 부착하는 일인데, 작업 중 커버를 고정하는 벨크로테이프가 좌석본체에서 일부 떨어지는 경우 접착제를 사용하여 재부착시키는 “본딩” 작업을 한다. 평가당시 교체작업에는 총 31명이 투입되었고, 이 중

본딩작업은 4명이 실시하였다(Table 1). 일반적으로 작업 시 출입문의 70%(10개 중 7개)를 개방하고 추락방지망을 설치한 다음 작업을 실시한다. 평가 당시 오전에는 출입문의 개방과 함께 기내 에어컨이 가동되었으며 오후에는 에어컨 가동이 중지된 상태였다.

이코노미좌석 총 368석의 시트교체가 이루어졌고, 접착제(NS230-W- SCH-PT)는 약 680 g이 사용되었다. 접착제의 물질안전보건자료에 따르면, 1-BP(50~75%)이 주성분이었으며, 이외에 노출기준이 설정되어 있는 물질로는 1-프로필알콜(1~10%)과 삼차부틸알콜(1~10%)이 있었다. 기타 성분은 레진, 폴리머 등이 있었다.

2. 평가 방법

시료채취매체는 활성탄관(SKC 226-01GWS (100 mg/50 mg))을 사용하였고, 저유량 시료채취기(SG350ex, GSA, Germany)에 타이콘 튜빙으로 연결하여 포집하였다. 개인시료는 호흡영역에서 채취하였고, 지역시료는 항공기의 좌석 머리받이 위치(4~6곳) 또는 화장실의 세면대 위(2곳)에서 채취하였다(Figure 1).

소독작업에서는 작업자 2명을 대상으로 개인시료를 채취하고, 항공기 기내를 4등분하여 4개 좌석에서 지역시료를 채취하였다. 시료채취는 작업시간 동안(20~30분) 진행하였다. 소독약제에 포함된 시클로헥산 농도를 평가하고자 하였으며, 이외의 검출된 물질의 정성확인을 위하여 가스크로마토그래프/질량분석기(Gas Chromatography/Mass spectrometer, GC/MSD, 7890A/5975C, USA)를 사용하였다. 정성분석으로 확인된 물질은 다시 불꽃이온화검출기가 장착된 가스크로마토그래프(Gas Chromatograph/Flame Ionization Detector, GC/FID, Agilent 7890B, USA)로 정량분석을 하였다(Table 2). 또한, 소독작업에 사용된 약제 원액을 확보하여 GC/MSD로 분석하였다.

Table 1. Working conditions and workload

	Morning	Afternoon
Working time	10:00~11:30	13:40~15:00
Temp. /Humidity	23.4°C / 41.9%	28.6°C / 39.1%
Bonding	234 seats (zones B,C, and D)	134 seats (zone E)
Replacing of seat cover	zone C and D remove/cover(174 seat) zone B remove(60 seat)	zone B cover(60 seat) zone E remove/cover(134 seat)
Ventilation	natural + air-conditioner	natural

※ natural : 70% of the aircraft's doors were opened

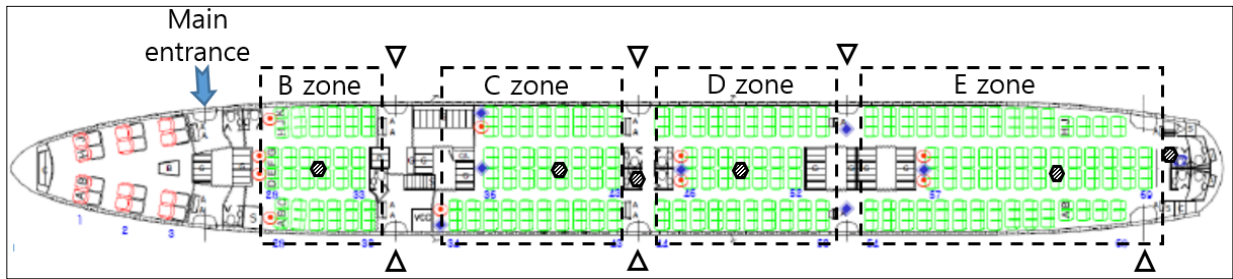


Figure 1. Working area of aircraft (Boeing 747), sampling point (●), and opened door (Δ)

좌석커버 교체작업에서는 작업 시작 전 배경농도를 확인하기 위하여 15~16분간 약 0.3 L/min으로 지역 시료를 채취하였다. 작업은 오전/오후로 나누어 진행되었으며, 개인시료 채취는 각 작업시간 동안(약 85분씩) 0.05 L/min 또는 0.1 L/min으로 실시하였다. 점심시간에는 항공기의 모든 출입문을 닫아두어 시료 채취는 진행되지 않았으며 오후 작업종료 후에는 약 90분 동안 정지시켜두면서 0.3 L/min의 유량으로 지역시료를 채취하였다. 정지 후 기내는 15분간 에어컨으로 환기를 하였으며, 이 이후로 약 40분간 지역시료를 0.3 L/min 유량으로 채취하였다.

좌석커버 교체작업에서 작업자들을 대상으로 평가한 값에서 8시간 시간가중평균농도는 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$8\text{-hr TWA} = \frac{(C_m \times T_m) + (C_a \times T_a) + (0 \times (8 - T_m - T_a))}{8}$$

8-hr TWA : 8시간 시간가중평균농도(ppm)

C_m : 오전 작업 중 1-BP의 농도(ppm)

T_m : 오전 작업시간(=시료채취시간)(hr)

C_a : 오후 작업 중 1-BP의 농도(ppm)

T_a : 오후 작업시간(=시료채취시간)(hr)

채취한 황성탄관은 1% 디메틸포름아미드(dimethylformamide, DMF)를 포함한 이황화탄소(carbon disulfide,

CS₂) 1 mL를 넣고 상온에서 30분간 탈착하여, GC/FID로 분석하였다. 소독작업에서 채취된 시료에서 검출된 물질의 정성확인인 GC/MSD를 사용하였다.

3. 통계분석

측정값의 분포를 확인한 결과 95% 신뢰수준에서 대부분 대수정규분포를 따르는 것을 확인하고, 기하평균, 기하표준편차 및 범위를 제시하였다. 독립표본 t-검정을 통하여 작업별 노출수준, 환기 전후의 농도수준 및 분무소독과 좌석커버 교체작업 정지시의 농도수준을 비교하였다. 통계 프로그램은 IBM SPSS 29.0을 사용하였다.

III. 조사결과

1. 소독작업 중 유기화합물의 노출

항공기 2대의 소독작업에서 채취된 총 12개의 시료에서 소독약제의 구성성분으로 제시된 시클로헥산은 모두 검출되지 않았다. 그러나 모든 시료에서 한 개의 물질씩만 검출되었으며 이를 GC/MSD로 분석한 결과, 1대의 항공기에서 채취한 시료에서는 HCFC-141b, 다른 1대에서 채취한 시료에서는 1-BP이 검출되었다. HCFC-141b는 검출된 피크의 크기는 작았으며, 표준용액이 없어 정량적 분석을 수행하지 못하였다(노출기

Table 2. Analytical conditions for GC/FID & GC/MSD

	GC/FID	GC/MSD
Instrument	Agilent 7890B	Agilent 7890A/5975C
Column	DB-WAX UI (30 m×0.25 mm×0.5 μm)	HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.5 μm)
Injection	Volume 1 μL, split ratio 50:1 Constant flow 1 mL/min	Volume 1 μL, split ratio 150:1 Constant flow 1 mL/min
Oven	Initial 40°C, rate 8°C/min, 240°C(10 min)	Initial 50°C(2 min), rate 10°C/min, 300°C(15 min)
Etc.	Retention time : 3.73 min	Scan range: 20 ~ 550 m/z

Table 3. Exposure levels of organic compounds in aircraft disinfection job (Unit : ppm)

	Aircraft A (HCFC-141b)			Aircraft B (1-bromopropane)			
	N*	T†	Result	N	T	AM‡ (SD§)	Min~Max
Worker	2	20	NQ	2	30	2.37(0.05)	2.34~2.41
Area	4	20	NQ	4	30	4.23(0.77)	3.43~5.12
Total	6	20	NQ	6	30	3.61(1.13)	2.34~5.12

*N: number of samples, †T: sampling time(min), ‡AM: arithmetic mean, §SD: standard deviation, ^{||}NQ: not quantified

Table 4. Comparison of composition based on manufacturer information and composition from GC/MSD analysis

Compounds by manufacturer inform (contents at MSDS, %)	Compounds by GC/MSD analysis (area% [*] by GC/MSD)
Cyclohexane (89.85)	Aromatic hydrocarbons (95.7)
Polysorbate80 (8)	N-Methyl-2-pyrrolidone (2.6)
Deltamethrin (1.5)	Deltamethrin (0.3)
Butylated hydroxytoluene (0.2)	Butylated hydroxytoluene (0.3)
Acetic acid (0.45)	

*area%: ratio of the area of the specific substance peak to the area of all detected peaks within GC/MSD analysis

준 500 ppm). 1-BP은 GC/FID에서 검량선을 작성한 후 정량분석 하였다. 작업시간(약 30분)동안 분무작업자의 1-BP 개인노출수준은 2.41 ppm이었고, 보조작업자의 개인노출수준은 2.34 ppm이었다. 항공기내 4개 지점에서 채취한 시료의 작업시간동안 평균농도는 4.23 ppm이었으며, 농도범위는 3.43~5.12 ppm 이었다(Table 3).

제조사에서 제시한 자료에 의하면 소독약제 원액의 구성성분은 시클로헥산(90%)과 폴리소르베이트(트윈 80, 8%)로 구성되어 있었다. 하지만 현장에서 채취된 약제 원액을 GC/MSD로 분석한 결과, 시클로헥산과 폴리소르베이트는 확인되지 않았으며 방향족탄화수소가 대부분인 것으로 확인되었다. 제조사에서 제공한

정보 중 델타메트린(소독약제의 유효성분)과 부틸레이티드 하이드록시톨루엔은 GC/MSD 분석에서 확인이 되었다(Table 4).

2. 좌석커버 교체작업의 평가결과

작업 전 항공기 내부에서 1-BP은 검출되지 않았다. 오전 본딩 작업자 중 1명의 시료는 펌프 에러로 농도를 확인할 수 없었다. 오전 작업에서 작업시간동안 1-BP의 기하평균 노출수준은 본딩작업자에서 9.09 ppm이었고, 좌석커버 교체 작업자에서 0.69 ppm 이었다. 오후 작업에서 본딩 작업자의 1-BP 노출수준(기하평균)은 6.74 ppm이었고, 좌석커버 교체 작업자는 0.54 ppm이었다(Table 5). 오전 및 오후 작업에서 본딩 작

Table 5. The concentrations of 1-bromopropane by task and ventilation (unit : ppm)

Timeline	N*	Type†	Time‡	GM§(GSD)	Min~Max	Job
Before the task	6	a	15~16	ND [¶]	ND	-
Morning task	3	p	85	9.09(1.81)	5.98~17.94	Bonding
	6	p	85	0.69(1.37)	0.44~1.04	Replacing of seat cover
Afternoon task	4	p	84	6.74(1.94)	3.78~17.22	Bonding
	6	p	84	0.54(1.47)	0.32~0.86	Replacing of seat cover
After the task	8	a	90	0.67(1.88)	0.28~1.74	-
After ventilation	8	a	37~41	0.09(1.98)	0.02~0.16	-

*N: number of samples, †Type: a (area sample), p (personnel sample), ‡Time: sampling time (min), §GM: geometric mean, ^{||}GSD: geometric standard deviation, [¶]ND: not detected (<0.04)

업자의 노출수준이 좌석커버 교체 작업자에 비해서 유의하게 높았다($p < 0.001$).

좌석커버 교체작업이 종료 된 후, 항공기의 모든 출입구를 닫은 상태에서 90분의 정지시간동안 항공기내의 1-BP 기하평균농도는 0.67ppm(범위: 0.28~1.74 ppm)이었다. 이후 15분간 에어컨을 이용하여 환기한 후, 40분 동안 채취한 시료의 기하평균농도는 0.09 ppm(범위: 0.02~0.16 ppm)이었다. 환기 전(정지시)과 후의 농도는 유의한 차이가 있었고(독립표본 t-검정, $p < 0.001$), 환기 후 농도는 환기 전의 13% 수준으로 낮아졌다.

IV. 고찰 및 결론

분무소독작업에서 소독제의 주성분으로 알려진 화학물질(시클로hex산)은 검출되지 않았고, 다른 물질이 검출되었다. 소독작업에서 검출된 1-BP의 원인을 추적하기 위하여, 소독작업 전 항공기 내에서 이루어진 작업 이력을 파악하였다. 항공사에 따르면 해당 항공기는 8:30~12:30까지 좌석커버 교체작업을 한 후 1시간 가량 정지해 두고 13:35분부터 14:08분까지 소독작업이 이루어졌다. 좌석커버 교체작업에서 사용된 화학물질은 접착제였으며, 물질안전보건자료에 따르면 접착제의 주성분은 1-BP(50~75%)이고 1-프로필알콜과 삼차 부틸알콜 등이 함께 표기되어 있었다.

소독작업에서 개인시료(분무작업자 및 보조작업자)의 1-BP 농도가 항공기내 지역시료 농도보다 낮았다. 이는 항공기 기내소독(약 20분) 후에 화물칸 소독(약 10분)을 했는데 화물칸에는 좌석커버 교체작업이 없기 때문에 1-BP이 없고, 이로 인해 개인시료의 노출수준이 지역시료보다 낮았을 것으로 판단된다.

좌석커버 교체작업을 대상으로 접착제 성분들의 노출수준을 평가하였다. 모든 시료에서 1-BP만 검출되었고, 다른 물질은 검출되지 않았다. 오전 및 오후 작업시간 동안 채취된 유량별(약 0.05 또는 0.1 L/min) 평균 시료채취량은 4.3리터 또는 8.6리터였다. 1-프로필알콜의 검출한계는 0.19 ug/sample이었으며, 평균 시료채취량을 고려하면 검출한계는 0.018 ppm 또는 0.009 ppm이었다. 삼차 부틸알콜의 검출한계는 0.18 ug/sample이었으며, 평균 시료채취량을 고려하면 검출한계는 0.013 ppm 또는 0.007 ppm이었다. 접착제 벌크시료는 별도로 분석하지는 않았다. 물질안전보건자료

에 따르면 검출되지 않은 두 물질(1-프로필알콜, 삼차 부틸알콜)은 1-BP에 비해서 함량이 적었고, 증기압도 상대적으로 낮았기 때문에 검출되지 않았을 것으로 판단된다(20°C에서 14.9 mmHg(1-프로필알콜), 31 mmHg(삼차 부틸알콜), 146 mmHg(1-BP)).

좌석커버 교체작업에서 항공기 정지시 및 환기 후 농도를 평가한 것은 소독작업에서 노출된 수준과 비교하기 위함이었다. 1-BP의 소독작업 평가결과(평균 3.61 ppm)는 좌석커버 교체작업에서 정지 시의 농도수준(0.67 ppm)에 비해서 유의하게 높았다($p < 0.001$). 소독작업 전 항공기에서의 작업에 대한 세부적인 상황은 확인할 수 없었으나, 작업량(접착제의 사용량)이 많았거나 환기상태가 더 불량했을 것으로 추정된다.

오전 및 오후작업 동안의 농도와 시간을 적용하고, 측정시간 이외에는 노출이 없는 것으로 추정하여 8시간 시간가중평균 농도를 환산하였다. 1-BP의 노출수준(기하평균)은 본딩작업자는 2.48 ppm(범위: 1.33~6.19 ppm), 좌석커버 교체 작업자는 0.22 ppm(범위: 0.15~0.31 ppm)이었다. 이 값들은 국내 노출기준에 비해서는 낮으나 미국(ACGIH, 0.1 ppm) 및 일본(0.5 ppm)의 노출기준에 비해서는 일부 높았으므로 작업자들의 노출수준에 대한 관리가 필요하다(ACGIH, 2023; JSOH, 2023).

1-BP은 세정제, 접착제, 드라이클리닝, 스프레이 용제 등에 주로 사용되는 물질이며(ACGIH, 2014) 국내 노출기준은 8시간 시간가중평균으로 25 ppm이다(MOEL, 2020). 그러나 미국 정부산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 10 ppm(2004년 적용)의 노출기준에서 2014년 0.1 ppm으로 변경하여 적용하고 있다. 0.1 ppm은 잠재적인 신경독성, 간독성 및 생식발달독성으로부터 보호하기 위한 수준이다. 일본의 현재 노출기준은 0.5 ppm이며, 비슷한 구조인 2-브로모프로판의 국내 노출기준은 1 ppm 이다. 1-BP에 대한 독성, 역학조사결과 및 국내 작업환경측정결과 등을 분석한 연구에서도 노출기준의 강화를 제안하고 있으므로(Ha et al., 2020), 1-BP의 노출기준에 대해서도 검토가 필요할 것으로 생각된다.

소독약제 벌크시료를 GC/MSD로 분석해 본 결과, 제조사에서 약 90% 포함되어 있다고 했던 시클로hex산은 검출되지 않았고, 방향족탄화수소류가 주성분인 것으로 확인되었다. 이를 통해 물질안전보건자료의 신뢰성에 대한 검토 작업이 수행되는 계기가 되었다. 항공

기의 특성상 기내에서 사용되는 접착제 등 대부분의 재료들은 항공기 제조사에서 권고된 것만을 사용한다고 하였다. 그러나 국내 타 항공사에 문의한 결과, 동일한 접착제를 사용하다가 2015년 대체제를 도입·사용 중이었으며 평가가 진행된 항공사에서도 본 조사 이후 접착제를 교체하였다.

청소업체 등 협력업체에는 산업보건분야 전문인력이 없으며, 사용물품을 임의로 변경할 수 없다. 또한, 소속이 다른 근로자가 동일장소에서 다른 작업을 수행하는 경우도 있다. 이전에 어떤 작업이 있었는지, 어떠한 유해물질을 사용했는지 모르는 상태에서 투입될 수 있었다. 그러므로, 항공사에서 전문인력을 활용하여 작업일 정관리, 관련 물품 및 작업 등에 대한 유해·위험성 검토와 개선활동 지원을 총괄적으로 관리하는 것이 효율적일 것으로 생각된다.

본 조사는 사업장에서 제시한 매뉴얼에 따라 작업하면서 평가가 이루어졌고, 소독작업에서 유기화합물의 노출이 확인된 이후, 좌석커버 교체작업에서는 작업자가 방독마스크를 착용한 상태에서 평가가 이루어졌다.

본 조사에는 다음과 같은 제한점이 있었다. 소독작업 전의 작업상황에 대해서는 사업장에서 제공한 정보를 기준으로 판단하여 실제 작업 상황의 확인이 불가하였다. 좌석커버 교체작업 평가는 1회만 진행되어 해당 작업에 대한 노출 수준을 일반화하기는 어렵다. 또한 노출수준은 작업량과 환기상태(자연환기, 풍향 등)에 따라서 크게 변할 수 있었다. 특히 문을 열어둔 상태에서 작업하는 경우가 많으므로, 외기의 풍향과 풍속 등에 따라서 평가 시마다 차이가 날 수 있다.

협력업체의 경우 유해인자 노출을 종합적으로 관리하기 위해, 유해인자의 통제, 정보공유, 작업일정관리 등 원청의 노력이 동반되어야 할 것으로 생각된다. 또한 작업공간을 공유하는 경우 이전 작업에서 사용된 물질에 노출될 수 있음을 확인하였다. 본 조사에서 시클로헥산이 아닌 1-BP의 피크가 크로마토그램에서 나타났을 때, 정성분석을 통하여 추가적인 조사를 진행하였다.

민간의 측정기관이 이와 유사한 상황에 적극적으로 대응하기 위해서는 법정장비 이외의 장비를 활용하는 등 추가적인 노력이 필요하며, 이를 뒷받침하기 위해서 법적인 근거나 정책적인 지원이 필요할 것으로 생각된다.

References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentations of Threshold limit values(TLVs) : 1-bromopropane. 2014
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values(TLVs) and biological exposure indices(BEIs). 2023
- Ha KC, Kim SW, Phee YG, Lee NR. Strengthening the occupational exposure limit for 1-bromopropane according to the results of epidemiological studies and exposure status. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2020;30(3):270-279 (<http://doi.org/10.15269/JKSOEH.2020.30.3.270>)
- The Japan Society for Occupational Health(JSOH). Recommendation of occupational exposure limits. Environ Occup Health Practice 2023;5 (<http://doi.org/10.1539/eohp.ROEL2023>)
- Merck. Sigmaaldrich product information. 1-bromopropane, 1-propanol, 2-methyl-2-propanol. Available from <http://sigmaaldrich.com/KR/ko/product/aldrich>
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical Agents (MoEL Public Notice No. 2020-48). 2020
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Manual of analytical methods. NMAM No.1025. 1- and 2-bromopropane. 2003
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Manual of analytical methods. NMAM No.1500. Hydrocarbons. 2003

<저자정보>

박해동(연구위원), 노지원(연구위원), 장미연(연구위원), 김성호(연구위원), 김세동(연구위원), 조현민(연구위원)