

## 세척제 용매 중독 사례와 국내·외 규제 검토를 통한 할로겐화 용매 세척제 사용의 문제점 고찰

이나루\* · 이해진 · 정수진 · 이도희 · 신아롬

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

### Review of Problems with Use of Halogenated Cleaning Solvents Revealed through Case Studies of Cleaning Solvent Poisoning and Analysis of Domestic and Overseas Regulations

Naroo Lee\* · Hye Jin Lee · Sujin Jeong · Dohee Lee · Arom Shin

*Occupational Safety and Health Research Institute(OSHRI),*

*Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA)*

#### ABSTRACT

**Objectives:** We examine cases of chemical poisoning that occurred in the cleaning of metal parts and the regulations on halogenated solvents in other countries and propose regulations necessary to prevent chemical poisoning from halogenated solvents.

**Methods:** We collected cases of chemical poisoning through the website of the Korea Occupational Safety and Health Agency. A review of the literature was conducted focusing on regulations related to halogenated solvents in the United States and the European Union, particularly for cleaning metal parts. Among the Material Safety Data Sheets submitted to the government, MSDS containing eleven substances were extracted to confirm the composition and product use. We investigated cleaning methods for metal parts used in South Korea. For the hazard classification, the European Chemicals Agency or Japan's NITE's website was used.

**Results:** In the case of poisoning, the cleaning methods involving trichloromethane were dipping and dry, which was not found in the literature. It was confirmed that many halogenated solvents and dimethyl carbonate were used for metal cleaning in South Korea. In vapor degreasing using TCE in the USA, even if the facility is strictly managed, such as by installing cooling coils in open cleaning facilities, the risk of exposure to TCE is considered to be not only carcinogenic but also a concern for acute and chronic effects. In comparison, exposure through Korean work methods such as dipping and drying operations is inevitably much higher.


**Conclusions:** The transition to water-based cleaning with low-hazard chemicals should be a priority in the cleaning process. In the case of metal parts that require precise cleaning, if the use of a halogenated solvent is inevitable, a closed degreasing facility should be used to minimize exposure. The current regulations in the Occupational Safety and Health Act, the Chemical Substances Control Act, and the Air Environment Conservation Act do not require cleaning facilities to minimize emissions. To protect the health of workers using halogenated solvents to clean metal parts, regulations that require a fundamental reduction in exposure will be necessary.


**Key words:** halogenated solvent, cleaning, vapor degreasing, dichloromethane


\*Corresponding author: Naroo Lee, Tel: 042-869-0301, E-mail: [naroollee@kosha.or.kr](mailto:naroollee@kosha.or.kr)

30, Expo-ro 339beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 34122, Republic of Korea

Received: November 30, 2023, Revised: December 20, 2023, Accepted: December 25, 2023

 Naroo Lee <http://orcid.org/0000-0003-1483-6928>

 Hye Jin Lee <http://orcid.org/0000-0002-1028-0611>

 Sujin Jeong <http://orcid.org/0000-0001-6709-0280>

 Dohee Lee <http://orcid.org/0000-0003-3597-5476>

 Arom Shin <http://orcid.org/0009-0007-3302-952X>

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.

## I. 서 론

금속 부품 세척 작업을 하던 근로자와 근처에서 작업을 하던 근로자가 독성 간염 진단을 받은 사례가 최근 연이어 일어났다(KOSHA, 2022). 독성 간염의 원인은 트리클로로메탄(trichloromethane, TCM)이었다. 화학물질 중독의 원인물질이 TCM이고, 금속 부품 세척 작업이었다는 점 외에 중독이 발생하기 전에 세척제를 변경했다는 공통점이 있다. 세척 작업 대상 및 세척 작업 방법의 변화 없이 세척제만 변경했는데 화학물질 중독이 발생한 것이다. 변경 전 세척제나 변경 후 세척제 모두 할로겐화 용매 중 하나였다. 세척제로 광범위하게 사용된 용매 중 하나는 디클로로메탄(dichloromethane; methylene chloride, MC)이고, MC에 의해 사망에 이르는 화학물질 중독 사고는 지속적으로 발생하고 있다(Kim et al., 2020; Jeong et al., 2021).

현장에서 세척제를 자주 변경하는 것은 주로 사용하던 세척제에 대한 규제 때문이다. 국내에서 세척제로 사용된 할로겐화 용매에 대한 규제는 여러 법률에서 지속적으로 강화되어 왔다. Choi et al.(2022)은 세척제 시장에서 규제 회피를 위해 세척제를 변경하여 사용하는 현상이 뚜렷하다고 주장하였다. 세척제 시장에서 규제 회피가 가능한 것은 유사한 구조와 기능을 가지는 화학물질 중에서 목록에 포함된 물질 만을 규제하고 있어 목록에 포함되지 않는 물질을 사용하면 규제를 받지 않기 때문이다.

본 연구에서는 국내에서 금속 부품 세척 작업에서 발생

한 화학물질 중독 사례를 사용된 화학물질 종류, 유해성 및 작업 방법 관점에서 살펴보고자 한다. 또, 국외의 할로겐화 용매에 대한 규제 방식을 국내 규제 방식과 비교하여 살펴보고 국내 할로겐화 용매로 인한 화학물질 중독을 예방하기 위해 필요한 규제를 제안하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

1) 금속부품 세척 작업에서 발생한 최근 화학물질 중독 사례  
한국안전보건공단 홈페이지(<http://www.kosha.or.kr>)에서 “alert” 및 “세척”을 검색하면 10건의 자료가 나오는데 이 중 중복을 제거하면 6건의 사례가 남는다. 즉, 화학물질 중독사고 발생경보 중 세척 작업 동안에 발생한 화학물질 중독 사례를 수집하였다.

2) 미국과 유럽연합의 할로겐화 용매 사용 규제 제도 고찰  
미국과 유럽연합의 할로겐화 용매, 특히 금속 부품 세척 작업과 관련된 규제를 중심으로 문헌을 고찰하였다. 미국에서는 할로겐화 용매 규제에 대한 역사를 고찰하였고, 특히 우리나라 대기환경보전법에 해당하는 공기청정법(Clean Air Act), 우리나라 화학물질관리법에 해당하는 유독물질관리법(Toxic Substance Control Act)를 중심으로 변화를 고찰하였다. 유럽연합에서는 세척설비에 대한 기준을 살펴보고, 화학물질 등록 법률이 할로겐화 용매 사용에 미친 영향을 고찰하였다.

3) 국내 할로겐화 용매 사용 상황 및 유해성 조사  
2022년 TCM으로 인한 독성 간염 발생 후, 정부 점검에

**Table 1.** Substances potentially used as cleaning agents in South Korea

Substance	Other name	Abbreviation	CAS Number	Note
Trichloroethylene		TCE	79-01-6	
Dichloromethane	Methylene chloride	MC	75-09-2	
Tetrachloroethylene	Perchloroethylene	PERC	127-18-4	
Carbon tetrachloride		CTC	56-23-5	Montreal protocol
1,1,1-Trichloroethane		1,1,1-TCA	71-55-6	Montreal protocol
Trichloromethane	Chloroform	TCM	67-66-3	
1-Bromopropane	<i>n</i> -Propyl bromide	<i>n</i> PB	106-94-5	
1,2-Dichloropropane		1,2-DCP	78-87-5	
<i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene		<i>trans</i> -DCE	156-60-5	
Dibromomethane		DBM	74-95-3	
Dimethylcarbonate		DMC	616-38-6	

서 유통 중인 세척제를 확인 한 결과 및 문헌고찰을 통해 할로겐화 용매 세척제로 사용 가능성이 있는 11개 물질을 선정하였다(Table 1). 할로겐화 용매로 전통적으로 사용되던 세 가지 물질(Kanegsberg & Kanegsberg, 2017)인 TCE, MC, 테트라클로로에틸렌(tetrachloroethylene; perchloroethylene, PERC), 유사한 구조로 인해 미국에서 할로겐화 용매 세척제에 대한 동일한 규제를 받았던 세 가지 물질인 사염화탄소(carbon tetrachloride, CTC), 1,1,1,-트리클로로에탄(1,1,1-trichloroethane, TCA), TCM, 그리고 TCE에 대한 대체물질로 사용된 적이 있는 1-브로모프로판(1-bromopropane; n-propyl bromide, nPB)(Kanegsberg & Kanegsberg, 2017), 국내 연구에서 세척제로 사용한다고 보고된 1,2-디클로로프로판(1,2-dichloropropane, 1,2-DCP)(Jeong et al., 2018)이 선정되었다. 또, 정부 점검에서 발견된 물질 트랜스-디클로로에틸렌(*trans*-1,2-dichloroethylene, *trans* DCE), 디브로모메탄(dibromomethane, DBM) 및 다이메틸카보네이트(dimethyl carbonate, DMC)를 11종에 포함시켰다(OSHRI, 2022). DMC는 할로겐화 용매에 포함되지 않으나 미국에서 대체 세척제로 사용된다(Kanegsberg & Kanegsberg, 2017),

국내에서 2021년 1월 16일부터 2022년 4월 30일까지 정부에 제출된 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS) 중 11개 물질 중 최소 1종을 함유하고 있는 MSDS를 추출하여 구성 성분과 용도를 확인하였다. 11개 물질을 함유하고 MSDS를 추출할 때, 제출자가 구성성분을 입력한 MSDS만을 대상으로 하였다. 추출된 MSDS는 총 1,011건이었다. MSDS를 제출할 때에는 고시 「화학물질의 분류·표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준(고용노동부 제2020-130호)」 별표 5에 따라 용도분류체계 중 용도를 선택하여야 한다. 총 1,011건의 용도를 확인하였다. 용도는 중복 선택이 가능하다.

2022년 TCM으로 인한 독성 간염이 발생한 세척 작업은 세척제 용매에 금속 부품을 담근 후에 꺼내어 열풍 건조 혹은 에어건을 이용하여 건조하는 방식이었다. 국내 문헌 고찰을 통해, 국내에서 사용되는 금속부품 세척 작업 방식을 조사하였다. 문헌고찰은 “네이버 학술정보”에서 키워드 “대체 세정 기술”로 검색하였으며, 학술논문 68건 중 할로겐화 용매와 관련이 있는 논문을 고찰하였다.

화학물질의 유해성 분류는 유럽화학물질청 홈페이지

(<http://echa.europa.eu>)의 등록 분류 를 사용하였다. 유럽연합 법률에 의해 화학물질 제조자 혹은 수입자는 1톤 이상 화학물질을 유통할 경우 정부에 등록 서류를 제출하여야 한다. 유럽화학물질청 홈페이지에는 등록 서류에 기재된 화학물질의 유해성 분류 결과를 공개하고 있다. 유럽화학물질청 홈페이지에서 DBM의 유통량은 연간 10톤에서 100톤 사이로 이는 화학물질 유통량이 적어 유해성 자료가 부족할 수 있다는 것을 의미한다. DBM의 유해성 분류는 일본 정부에서 운영하고 있는 유해성 정보 홈페이지인 NITE(Incorporated Administrative Agency National Institute of Technology and Evaluation)의 유해성 분류([Http://nite.go.jp](http://nite.go.jp))를 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 금속부품 세척 작업에서 발생한 최근 화학물질 중독 사례

금속부품을 세척하는 작업 중 다양한 할로겐화 용매에 중독되는 일이 2023년 1개소, 2022년도 3개소, 2015년 1개소, 2014년 2개소로 안전보건공단 화학물질 발생정보에서 나타났다. 화학물질 발생 정보는 화학물질 중독을 안전보건공단이 발생한 시점에 인지한 경우이면서 널리 알릴 필요가 있는 경우에만 발간되므로, 이는 우리나라 전체의 세척제 중독 현황은 아니다. 사망과 같은 경우는 급성중독으로 분류되어 사고성 재해 통계에 포함되고, 암, 독성 간염의 경우는 업무상 질병에 포함되므로 세척제 중독 규모는 정확히 알기 어렵다. Kim et al(2016)은 세척제와 관련한 중독이 여러 건 있었음을 보고하고 있다.

세척 작업의 유형은 세척제를 손으로 형겅에 묻혀 닦아 내는 작업, 세척제에 담근 후 건조하는 작업 및 세척조 청소하는 작업으로 다양하고, 세척제로는 TCE, MC 및 TCM으로 다양해 보이지만 할로겐화 용매라는 공통점이 있다(Table 2). MC에 의해서는 사망사고가 발생하였다.

#### 2. 미국의 염소계 용매 세척제 규제

세척제는 크게 수용액과 용매로 구분된다. 세척제로 수용액을 사용하는 경우는 수계세척이라고 부른다. 용매는 톨루엔, 헥산 등 전형적인 유기용제, 석유계물질, 염소계 용매, 과불화화합물, 플루오르화수소 및 플루오르에테르, 짧은 체인의 알코올과 아세톤과 같은 산소화

**Table 2.** Cases of chemical poisoning from cleaning metal parts

Case	Substance	Overview of the case	Task	KOSHA chemical poisoning accident warning no.
1	Trichloromethane	In order to remove cutting oil after processing electronic parts, a cloth was wetted with the cleaning agent in a container to wipe the surface. Toxic hepatitis occurred in seven workers.	Manual cleaning	2023-1
2	Trichloromethane	Toxic hepatitis occurred in 16 workers who were cleaning copper parts for electronic parts.	Dipping cleaning	2022-1
3	Dichloromethane	One worker died of dichloromethane poisoning while cleaning a cleaning tank where electronic power painting was performed. After the accident, the air concentration inside the cleaning tank was 3,468 ppm. The worker did not wear the supplied air respirator.	Dipping cleaning	2022-2
4	Dichloromethane	Dichloromethane poisoning occurred in two workers while removing sludge inside a dipping cleaning tank at a workplace that removes paint from metal products.	Dipping cleaning	2014-2
5	Trichloroethylene	Two workers died of trichloroethylene poisoning during the cleaning of a cleaning tank at workplaces painting metal medical parts.	Dipping cleaning	2015-5
6	Trichloroethylene	A worker who had been manually cleaning with trichloroethylene for eight years in an automobile production process engine test department and a worker who had been manually engaged for ten years in forging work were diagnosed with kidney cancer.	Manual cleaning	2014-6

용매 등으로 구분된다.

염소계 용매 세척은 금속 세척 및 드라이 크리닝에서 많이 사용되었다. 염소계 용매를 금속 세척 목적으로 사용할 때 주된 세척 방식은 증기 탈지이다(OECD, 2021). 증기 탈지 세척 방식은 독일에서 개발되었지만, 세척 방식이 나라마다 다르지는 않다(Morrison & Murphy., 2013). 증기탈지 세척조는 바닥에는 히터가 있고 꼭대기 근처에 냉각 코일이 한 세트에 있는 스테인레스 스틸 탱크이다. 액체인 용매가 세척조에 놓이고 끓는점까지 가열이 된다. 액체 위에 용매 증기가 있고, 증기는 냉각코일에 의해 세척조에 가뒀지게 된다. 부품은 대개 바구니에 담겨서 증기 탈지조에 들어가는데 따뜻한 용매 증기는 차가운 부품에서 응축되고, 액체에 오염물이 담게 된다(Wolf, 2020).

염소계 용매 중 대표적인 물질은 CTC, PERC, TCE, 1,1,1-TCA이었다. 이들은 빠른 증발 속도, 낮은 인화성 및 반응성, 그리고 다양한 유기 물질을 효율적으로 빠르게 녹이는 특성으로 인해 세척제로 널리 사용되었다. 이 4가지 물질이 동시에 널리 사용되기보다 특정한 시점에서 한 가지 물질이 널리 사용되고, 규제 적용을 받으면 다른 것으로 대체되는 방식이었다(Doherty,

2000a).

미국에서는 대표적 염소계 용매에 대해 수질, 폐기물 규제를 1970년대부터 적용하였다. 1987년 환경보호청(U. S. Environmental Protection Agency, EPA)가 강제적인 최대 오염물질 농도(Maximum Contaminant Level, MCL) 규제를 시행하게 되는데 이 규제는 모니터링, 분석, 그리고 위반 할 시 공중에 공개하는 것으로 CTC, TCE, TCA 등이 포함되었다. 1991년에는 PERC도 포함되었다.

미국 공기청정법에서는 1970년 지상의 오존을 증가시키고, 스모그를 형성한다는 이유로 TCE와 PERC 배출을 규제하였다. 이 때, TCE와 PERC 사용자들은 많이 1,1,1-TCA로 물질을 대체하였다. 그러나 1990년대 클로로플로로카본(chlorofluorocarbons, CFCs)으로 시작된 오존고갈물질을 규제하는 몬트리올 의정서 대상에 1,1,1-TCA가 포함되면서 1,1,1-TCA로 대체되었던 TCE와 PERC가 다시 시장에 나오게 되었다(Doherty, 2000b).

1990년 공기청정법 개정에서, CTC, TCE, PERC 및 1,1,1-TCA가 유해 공기 오염물질(Hazardous Air Pollutants)로 지정이 되었고, 이러한 유해 공기 오염물질

배출에 국가배출표준(National Emission Standards)이란 규제 방식이 도입되었다. NESHAPs(National Emission Standards for Hazardous Air Pollution)는 유해한 공기 오염물질에 대해 배출기준을 정하는 것인데 주로 작업 시설에 대한 기준을 정한다. NESHAPs는 업종별로 규제 내용이 다른데, 첫 번째 대상은 드라이크리닝이었고, 두 번째 대상이 할로겐화 용매 세척 장비였다. NESHAPs 할로겐화 용매 세척 장비의 기준은 배치형의 증기 용매 세척 기계와 인라인 용매 세척 기계는 최대한의 달성 관리 기술(maximum achievable control technology)을 적용하도록 요구하고 있고, 할로겐화 용매 중 CTC, TCE, PERC, 1,1,1-TCA 뿐 아니라 MC, TCM이 이 기준의 적용을 받는다. 1,1,1-TCA 및 CTC는 몬트리올 의정서에 의해 실제 제조 및 수입이 미국에서 금지되었으므로, TCE, PERC, MC, TCM이 적용 대상이고, 이들을 세척 용도로 사용할 때는 공기청정법에 따라 세척 장비에 대한 기준을 준수하여야 한다(EPA, 2015).

또, 미국에서 TCE를 사용할 때에는 유독물질관리법에 따라 제조, 가공 및 사용에 관한 정보를 정부에 보고하여야 한다. 10명 이상 근로자가 있는 특정 산업의 시설에서 TCE를 사용하면 응급계획 및 지역사회 알권리법률(Emergency Planning and Community Right-to-Know Act, EPCRA)에 따라 매년 정부 당국에 보고하여야 한다.

2017년 미국 EPA는 증기 탈지 세척에서 TCE 사용을 금지하는 법안을 제안하였다. 그 이유는 증기탈지 세척에서 TCE를 사용할 경우 비합리적인 위험(unreasonable risk)이 있기 때문이다(Federal Register, 2017). TCE에 대한 증기 탈지 위험성 평가에서는 개방형 탈지조를 대상으로 하였는데, 작업자에 대한 급성 및 만성 영향(발암성 아님)의 위험도가 비합리적으로 높게 나타났다. 신장 및 면역 독성 위험도 높았지만 가장 큰 위험은 발달 영향(태아의 심장 결손)에서 나타났다. 그리고 TCE 노출에 의해 신장암의 위험도도 유의하게 높게 나타났다. 이 법안을 검토하는 과정에서 증기탈지 세척에서 대안으로 사용할 수 있는 대체 화학물질을 평가하였다. 세척 시설을 바꾸지 않고 용매만 바뀌서 사용가능한 드롭인(drop-in) 대체물질로서 MC, nPB 및 PERC가 가능하나 MC는 사망에까지 이르게 하며, 간독성 및 발암성물질이고, nPB 및 PERC 역시 발암성물질이기 때문에 유해성이 큰 물질은 TCE의 대체물질이 될 수 없다고 판단하

여 이 물질을 증기탈지 공정에서 사용할 때의 위험성 평가 자체를 하지 않았다. 다른 대체물질로는 플루오르화탄소(hydrofluorocarbon) 및 수계 세척제가 가능하다고 평가하고, TCE를 사용하는 증기탈지 세척의 대체기술은 수계 세척시스템이 되어야 한다고 평가하였다. 이 법안에 대한 산업계의 의견은 개방형 증기탈지 설비 대신, 현재 폐쇄형(closed) 증기 탈지 설비를 사용하고 있고, 이러한 설비 사용은 TCE에 대한 위험도를 낮추므로 위험성 평가가 다시 이루어져야 한다고 주장하였다(Federal Register, 2017). 이 법안은 결국 통과되지 못했다.

2023년 10월, EPA는 다시 그리고 TCE에 대해 모든 상업적인 용도로 제조, 가공 및 유통을 금지하는 법안을 제안하였다(Federal Register, 2023). 모든 용도로 사용하는 것을 금지하기는 하나 일부 용도의 경우 제조, 가공 및 유통이 꽤 오랫동안 가능하도록 하고 있다. 예를 들어, 플루오르화수소 134a 제조에 대한 중간물로 TCE를 사용할 경우 8.5년의 유예기간이 있고, 연방기관 및 그 산하기관이 TCE를 로켓부스터 노즐 생산을 위해 레이온 원단 정련에서 페루프 회분식 증기 탈지를 위한 용매로서 사용할 때는 10년의 유예기간이 있다.

미국에서 염소계 용매에 대해 여러 법에서 다양한 방식으로 규제를 하고 있다. 특히, 염소계 용매를 세척 설비에서 사용할 때 설비 기준 및 작업 방법을 정하고 있다. 증기 탈지시 증기가 공기 중에서 배출되지 않도록 냉각 코일 위치, 용매 깊이 등 자세하게 규정을 하고 있다. 그럼에도 불구하고 증기 탈지 세척에서 TCE를 사용하면 건강위험도가 비합리적인 수준, 즉 높게 나타나므로 TCE를 금지시키려고 하였다. 2017년 법안이 통과되지 못했지만 2023년 TCE의 건강위험도 때문에 모든 용도로 금지시키려는 법안을 발의하였다.

### 3. 유럽의 할로겐 용매 세척제 규제에 대한 산업계 대응

유럽연합에는 「액체 또는 증기를 사용하는 산업 품목의 표면 세척 및 전처리를 위한 기계-4부 할로겐화 용매를 사용하는 기계의 안전(EN12921-4: 2005+A1:2008 Machines for surface cleaning and pretreatment of industrial items using liquids or vapors-Part 4: Safety of machines using halogenated solvent)」 표준 규격이 있다. 이 규격에서 세척 설비의 폐쇄 시스템(closed system)을 정의하고 있고, 폐쇄 시스템 방식의 세척 장비를 사용하면 할로겐화 용매의 공기 중 농도를 10 ppm 이하로 유지할 수 있다고 설명한다. 이와 관련하여

여, 유럽염소계용매협회(European Chlorinated Solvent Association, ECSA)에서는 자발적으로 2010년 12월 31일 이후에는 개방형 세척 시스템을 사용하는 곳에는

TCE를 판매하지 않기로 2007년에 결의하였다. 산업계에서 주도적으로 폐쇄 시스템 방식의 세척 장비를 개발하였는데 개발 동기는 개방형 세척 시스템에서의 용매 배출에

**Table 3.** Product use of nine substances examined in the submitted material safety data sheets

Substance	Product use code	Cases (%)	Substance	Product use code	Cases (%)	
1,2-DCP (1,2-Dichloropropane)	PU 48	6 (50)	TCM (Trichloromethane)	PU 08_1	15 (41)	
	PU 13	3 (25)		PU 02	10 (27)	
	PU 35	2 (17)		PU 19	4 (10)	
	No coding	1 (8)		PU 01	3 (8)	
	Subtotal	12		PU 48	3 (8)	
<i>trans</i> DCE ( <i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene)	PU 32	38 (58)		PU 8_6	2 (5)	
	PU 48	11 (17)		Subtotal	37	
	PU 42	7 (11)		DMC (Dimethyl carbonate)	PU 8_1	526 (51)
	PU 08	3 (5)			PU 08	179 (17)
	PU 13	2 (3)			PU 8_6	96 (9)
	PU 22	2 (3)	PU 48		54 (5)	
	PU 35	2 (3)	PU 38		51 (5)	
	No coding	1 (2)	PU 32		34 (3)	
Subtotal	66	PU 8_5	25 (2)			
MC (Dichloromethane)	PU 48	8 (23)	PU 8_3		24 (2)	
	PU 13	6 (17)	PU 37		15 (1)	
	PU 32	6 (17)	PU 01		11 (1)	
	PU 02	5 (14)	PU 03	5 (<1)		
	PU 19	4 (11)	PU 02	5 (<1)		
	PU 37	3 (8)	PU 17	4 (<1)		
	PU 8_1	2 (6)	No coding	1 (<1)		
	No coding	1 (3)	Subtotal	1030		
	Subtotal	35	DBM (Dibromomethane)	PU 32	15 (71)	
TCE (Trichloroethylene)	PU 02	6 (33)		PU 13	5 (24)	
	PU 32	3 (17)		No coding	1 (<1)	
	PU 19	3 (17)		Sub total	21	
	PU 37	3 (17)	PERC (Tetrachloroethylene)	PU 13	2 (25)	
	PU 48	2 (11)		PU 37	2 (25)	
	PU 13	1 (6)		PU 48	2 (25)	
	Subtotal	18		PU 32	1 (13)	
<i>n</i> PB (1-Bromopropane)	PU 19	1		No coding	1 (13)	
	Sub total	1		Subtotal	8	

PU01 (Feed materials, Intermediates), PU02 (Adhesives, Sealants), PU03 (Adsorbents), PU08 (Coatings and paints, Thinners, Paint removers), PU08\_01 (Oil paint), PU08\_03 (Thinner), PU08\_05 (Paint remover), PU08\_06 (Other coatings and paints), PU13 (Metal surface treatment products), PU17 (Ink and toners), PU19 (Laboratory chemicals), PU22 (Metal working fluids), PU32 (Washing and cleaning products), PU35 (Welding and soldering products, flux products), PU37 (Solvent and extraction agents), PU38 (Electrolytes for batteries), PU42 (Propellant), PU48 (Other)

대한 건강상의 우려 때문이다(ESCA, 2011).

산업계가 자발적으로 TCE를 개방형 세척 시스템에서 사용하지 않기로 하였으나, 결국 유럽연합에서는 TCE를 2013년 REACH regulation ANNEX XIV 허가 물질 목록에 포함시키고, 2014년 10월까지 허가 신청서를 제출하도록 하였다.

유럽연합에서 TCE가 REACH 법률에 의한 허가물질로 지정된 후에 금속부품 세척 공정에서 TCE가 무엇으로 대체되었는지를 조사한 보고서가 2021년에 발간되었다(Andersson & Slunge, 2021). 이 보고서에 의하면 금속부품 세척을 위해 2014년 TCE 사용 허가를 받았던 사업장의 상당수가 PERC를 사용하였고, 대체한 이유는 TCE 허가 재신청시 지불해야 하는 비용을 피하기 위해서였다. PERC는 REACH 법률에 의해 허가를 받지 않아도 된다. 2014년 TCE가 허가 대상이 되면서, 금속부품을 세척하기 위해 TCE를 사용하던 사업장이 이미 다른 세척 방법이나 세척제로 바꾸고, 2014년에는 단지 38개소만 금속 부품 세척을 위해 TCE 사용 허가를 받았었는데, 허가를 재신청하는 기간에 금속 부품 세척을 위해 TCE를 사용하겠다는 사업장은 1개도 없었다.

유럽연합에서는 할로겐화 용매를 사용하는 세척 설비의 안전에 관한 기준이 있고, 용매 판매 시장에서 자발적으로 세척 작업을 안전하게 하기 위한 노력이 있었다. 세척 설비에 대한 개발이 이루어짐과 동시에 정부에서는 TCE 사용을 엄격히 관리하기 위해 TCE를 허가 제도에 편입시켰다. TCE 사용 자체를 금지하지는 않았지만, 엄격한 사용 규제는 배출을 최소화하는 세척 설비 개발로 이어졌고, 할로겐화 용매를 사용할 수 밖에 없는 경우는 PERC 사용 그리고 할로겐화 용매 세척이 아닌 다른 방식의 세척으로 변화시켰다.

#### 4. 국내 할로겐화 세척제 사용 상황

1) MSDS로 확인한 세척제 용도의 할로겐화 용매 종류 및 유해성

11개의 조사 대상 물질 중 1,1,1-TCA 및 CTC는 MSDS 데이터베이스에서 검출되지 않았다. 11개 물질 중 1,1,1-TCA 및 CTC를 제외한 물질의 용도를 MSDS에서 확인한 결과는 Table 3과 같다. *n*PB는 실험용 화학물질 용도(PU 19)만 보고되었다, 1,2-DCP는 기타 용도(PU 48)가 가장 많았고, 금속표면처리제(PU 13) 및 세정 및 세척제(PU 35) 용도로 사용되고 있었

다. *trans* DCE이 가장 많이 사용되는 용도가 세정 및 세척제 용도(PU 35)였다. MC는 기타 용도(PU 48)가 가장 많았고, 금속표면처리제(PU 13), 및 세정 및 세척제(PU 35) 용도로 사용되고 있었다. 접착제 및 실런트 용도(PU 02)로도 사용되었다. TCE는 접착제 및 실런트 용도(PU 02)가 가장 많았고, 세정 및 세척제 용도(PU 35)도 있었다. TCM은 유성페인트 용도(PU 08\_1)로 가장 많이 사용되고, 접착제 및 실런트(PU 02), 세정 및 세척제(PU 35) 등 다양한 용도가 있었다. DMC는 다양한 화학제품에서 사용되고 있었으며 세정 및 세척제(PU 35) 뿐 아니라 다양한 용도가 있었다. DBM은 세정 및 세척제(PU 35), 금속표면처리제(PU 13)만 있었다. PERC는 금속표면처리제(PU 13), 세정 및 세척제(PU 35), 용제 및 추출제(PU 37)가 있었다(Table 3). 1,2-DCP 및 MC의 경우 기타 용도(PU 48)에 많은 건수가 포함되어 있는데, 이는 현재 분류된 용도 외에 새로운 용도라는 의미인지에 대해서는 정밀 조사가 필요하다. 조사 대상 물질 중 몬트리올 의정서에 의해 국내 생산이 중단된 1,1,1-TCA, CTC와 *n*PB 외에 다른 물질은 세정 및 세척제, 금속표면처리제 용도로 국내에서 생산되고 있는 것을 제출된 MSDS를 통해 확인할 수 있었다.

Table 4는 현재 세척제로 사용되는 확인된 8개의 물질과 제출된 MSDS에서는 확인이 안 되었으나 정부 점검 결과에서 사용이 확인된 *n*PB를 포함한 9개 물질의 유해성과 물질들에 대한 국내 규제 현황을 정리한 것이다. 규제 현황은 산업안전보건법의 관리대상 유해물질 지정 여부, 화학물질관리법의 유독물질 지정여부 및 대기환경보전법의 특정대기유해물질 지정여부를 조사한 것이다. 이 9개의 물질은 모두 금속부품 세척제로 사용되고 있지만, 유해성과 규제 현황은 물질마다 차이가 크다. 특이한 점은 인화성 액체가 세척제로 많이 사용된다는 것이다. 국외에서는 인화성액체를 사용할 경우에 설비 요구 조건이 많을 뿐 아니라, 증기 탈지 세척 특성상 용매를 끓이기 때문에 인화성액체를 사용하지 않는다(Wolf, 2020). 1,2-DCP, *trans* DCE, DMC, *n*PB가 인화성액체이다.

전통적으로 금속부품 세척제로 사용되던 TCE는 여러 가지 유해성이 있고, 발암성물질이다. 이 외에 유사한 구조를 가진 PERC, MC, TCM 역시 발암성 물질이다. 1,2-DCP 역시 최근에 담관암을 일으키는 발암성물질(Group 1)로 밝혀졌다(IARC, 2016). MC는 급성독

**Table 4.** GHS\* hazard classification from the European Chemicals Agency's registration and regulatory status in South Korea of nine substances used as cleaning agents

Substance	GHS Hazard category (H statement)	Hazardous substances subject to management in the Occupational Safety and Health Act	Toxic substance in South Korea/Specific air hazardous substance in South Korea
1,2-DCP (1,2-Dichloropropane)	Flame Liquid 2 (H225), Acute Tox 4 (H302, H332), Carc 1B (H350)	Yes	Yes (25% more, 2017)/No
<i>trans</i> DCE (Trans-1,2-Dichloroethylene)	Flame Liquid 2 (H225), Acute Tox 4 (H332), Eye Irrit 2 (H319), STOT Single Exp 3 (H336) Aquatic Chronic 3 (H412)	Yes	No/No
MC (Dichloromethane)	Carc 2 (H351)	Yes	Yes (0.1 % more, 2019) /Yes
TCE (Trichloroethylene)	Skin Irrit 2 (H315), Eye Irrit 2 (H319), Skin Sens 1B (H317), Muta 2 (H341), Carc 1B (H350), STOT Single Exp 3 (H336), Aquatic Chronic 3 (H412)	Yes	Yes (85% more, 1997 → 0.1 % more, 2021) Yes
TCM (Trichloromethane)	Acute Tox 4 (H302), Acute Tox 3 (H331), Skin Irrit 2 (H315), Eye Irrit 2 (H319), Repr 2 (H361), Carc 2 (H351), STOT Rep Exp 1 (H372)	Yes	Yes (85% more, 1997 → 10 % more, 2021) /Yes
DBC (Dimethyl carbonate)	Flame Liquid 2 (H225)	No	No/No
DBM (Dibromomethane)	※ Acute Tox 4 (H332), Skin Irrit 2 (H315), Eye Irrit 2 (H319), Repr 2 (H361), STOT Single Exp 3 (H336)	No	No/No
PERC (Tetrachloroethylene)	Carc 2 (H351), Aquatic Chronic 2 (H411)	Yes	Yes (85% more, 1997 → 0.1 % more, 2021) /Yes
<i>n</i> PB (1-Bromopropane)	Flame Liquid 2 (H225), Skin Irrit 2 (H315), Eye Irrit 2 (H319), Repr 1B (H360), STOT single Exp 3 (H335), STOT REP Exp 2 (H373)	Yes	Yes (0.3% more, 2020)

\* GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals

- Flammable liquid: Flame Liquid

- Acute toxicity: Acute Tox

- Eye irritation: Eye Irrit

- Skin irritation: Skin Irrit

- Skin sensitization: Skin Sens

- Germ cell mutagenicity: Muta

- Reproductive toxicity: Repr

- Specific target organ toxicity after single exposure: STOT Sing Exp

- Specific target organ toxicity after repeated exposure: STOT REP Exp

- Carcinogenicity: Carc

- Hazardous to the aquatic environment- long-term aquatic hazard: Aquatic Chronic

※ Japanese NITE (Incorporated Administrative Agency National Institute of Technology and Evaluation) GHS classification

성물질은 아니지만, 고농도로 노출될 경우 인간 생체 내에서 일산화탄소로 분해되기 때문에 사망에 이르게 한다(HSE, 2021). MC는 생체 내에서 일산화탄소로 분해되는 특징적인 건강 영향을 가지고 있고, 또, 방독마스크 카트리지로 사용되는 활성탄에 흡착을 잘 하지 않기 때문에 방독마스크가 노출을 예방하는 시간은 매우 짧아 방독마스크를 사용한다고 해서 노출을 감소시키기

어렵다. DBM은 유럽연합에서 유통량이 많지 않아 유해성 자료가 많지 않은데, 일본에서는 생식독성 물질로 보고 있다(NITE, 2023).

산업안전보건법에서는 DBM과 DMC를 제외 한 모든 물질이 관리대상 유해물질로 지정되어있다. 관리대상 유해물질로 지정되면 사업주는 취급 장소에 국소 배기 시설 설치 등을 하여 노출을 감소시켜야 한다.



화학물질관리법에는 유독물질에 대해 영업허가 및 시설 설치 등을 요구하고 있는데 최근에 할로겐화 용매에 대한 유독물질 기준이 많이 개정되고 있는 상황이다 (Table 4). TCE, PERC 및 TCM은 1997년부터 유독물질로 지정되었으나 함량 기준이 80 %였다. 2021년 유독물질의 함량 기준이 TCE, PERC은 0.1%, TCM은 10%로 변경되었다. 2017년 1,2-DCP가 유독물질로 지정되었고, 함량 기준은 25% 이상이다. MC는 2019년에 0.1% 이상으로 유독물질로 지정되었다. 2022년 TCM 중독 사건은 기존에 MC를 사용하다가 세척제를 변경하는 과정에서 일어났다. 대기환경보전법상 특정대기유해물질은 전통적인 할로겐화 용매인 TCE, PERC, MC, TCM에 대해 지정되어 있다.

## 2) 국내 금속 부품 세척 작업 방식에 대한 문헌 고찰

금속부품 세척제로 국내에서 많이 사용되던 CFC-113 (trichlorotrifluoroethane-113, CFC-113) 및 1,1,1-TCA이 몬트리올 의정서에 의해 국내에서 CFC-113은 2009년, 1,1,1-TCA는 2014년 이후에는 사용할 수 없게 됨에 따라(Bae, 2005), 1990년 중반부터 CFC-113 및 1,1,1-TCA 대체 세정제와 대체 세정기술에 대한 연구가 국내에서 이루어져왔다.

Chung & Ku(1997)는 염소계 세정제 사용의 문제점을 지적하면서 금속세정을 위한 자동화된 수계 회전 세정기, 초음파 세정을 대안으로 제시하고 있다. 초음파 세정을 위하여 사용되는 화학약품을 세정제와 황산이다. 기존의 증기탈지에 대한 개선 공정으로 초음파 세정 혹은 자동화 수계세정을 제안하고 있다.

Jung et al.(1999)은 1,1,1-TCA에 대한 대체세정제의 최적 세정공정을 연구하였다. 기존에 담금 및 열풍 건조로 이루어지던 공정에 대해 최적 세정공정을 검증하기 위해 탄화수소계 용매에 대해서는 초음파 세척 및 열풍건조의 세척 방식, 염소계 용매에 대해서 역시 유사한 초음파 세척 및 열풍 건조를 사용하였다. 실험 세정장치에는 담금, 행굼, 통(barrel), 스프레이, 진동 및 들기 형태를 선택적으로 사용가능하도록 하고, 온도·시간 조절기, 재순환 펌프, 및 냉각코일을 부착하고, 탄화수소계 세정공정 실험에는 방폭 장치를 설치하였다.

Bae(2005)는 국내에서 CFC-113, 1,1,1-TCA, MC, TCE가 세정제로 많이 사용되어 왔으나 앞으로 대체세정제 개발의 필요성을 이야기하고 있다. 대체세정제로서 수계세정제, 준수계세정제, 알코올계 세정제, 에틸/

에스텔 세정제, 탄화수소계 세정제, 염소계 세정제, HCFC계 세정제, HFC/HFE계 세정제, 실리콘 세정제의 장점과 단점을 분석하였다. 대체세정기술로는 저압 분무세정, 고압 분무 세정, 침지 세정, 초음파 세정, 진동 세정 또는 회전 세정, 증기탈지 세정의 특성 및 유의점을 기술하였다. 1,1,1-TCA의 대체품으로 수계 세정제와 탄화수소계 세정제가 검토되고 있다고 기술하였다. 그러나 탄화수소계 세정제는 인화성과 건조에 관한 문제와 기존의 세정 장치를 사용할 수 없는 단점이 있고 염소계 세정제로는 TCE와 MC의 사용이 고려되는데 인체 독성의 문제가 있다고 기술하였다. 또, 미국, 중국 및 일본 등에서는 세정의 중요성을 인식하고 여러 활동이 전개되고 있으나 국내에서는 세정기술이 제조공정에서 그리 대수롭지 않은 공정으로 취급되고 있다고 지적하였다.

문헌 고찰 결과, 오존 고갈 물질의 생산과 사용을 금지하는 몬트리올 의정서 때문에 국내에서도 대체세정제 및 대체세정기술 개발이 1990년대부터 이루어졌다. 1990년대 여러 논문에서 이미 염소계 세정제를 사용하는 경우 인체 독성이 문제가 된다는 것을 알고 있었다. 특이한 점은 초음파세정은 대체세정기술로서 제시되었는데 현재 산업현장에서는 금속 부품 세척을 위해 인체 독성이 강한 할로겐화 용매를 초음파 세정 기술과 혼합하여 사용하고 있는 점이다. 초음파 수계 배치 장치는 초음파 세척, 최소 2개의 초음파 분리 행굼 탱크, 건조를 위한 가열된 재순환 청정 공기의 4단계로 이루어지는데 현재 산업현장에서 사용되는 4조식 세척 장비와 매우 유사하다. 다만, 원래의 초음파 세척은 수계 세척인데, 산업현장에서는 할로겐용매 세척이라는 점이 다르다.

## IV. 결 론

세척은 대상 제품을 변형시키지 않고 제품의 표면에서 원하지 않는 물질을 제거하는 것으로 세척제와 특정장비를 포함한 전체 세척 과정을 살펴보는 것이 중요하다(Kanegsberg & Kanegsberg, 2017). 즉, 세척제에 따라 세척 장비가 달라진다. 2022년 국내에서 발생한 트리클로로메탄에 의한 독성 간염은 금속부품 세척 공정에서 트리클로로메탄이 함유된 세척제를 담금으로 세척한 후 열풍 건조 혹은 에어건으로 작업하는 과정에서 발생하였다. 금속 부품 세척을 위해 트리클로로메탄을

사용하는 담금 세척이란 세척 방법은 국외 문헌에서 발견할 수 없다. 문헌 고찰 결과 금속 부품을 할로겐화 용매로 세척 할 때 일반적인 방법은 증기탈지 세척이고, TCE, PERC가 여전히 사용되고 있다. TCE에 대한 설비를 바꾸지 않고 사용 가능한 대체물질로 *n*PB, MC가 있으나, 발암성물질이며, MC에 의해 심지어 사망에 이를 수 있기 때문에 추천하지 않는다.

국내에서 금속 부품 세척제로 1,2-DCP, *trans* DCE, MC, TCM, DBM, TCE, PERC 및 DMC 사용되고 있다는 것을 MSDS를 통해 확인할 수 있었다. DMC는 할로겐화 용매는 아니지만 세척제로 사용되고 있는데 단일물질이 아닌 다른 할로겐화 용매와 혼합물 형태로 사용되고 있었다. 1,2-DCP는 현재 유독물질 지정기준인 25% 이하로 다른 물질과 혼합되어 사용되고 있었다. 우려스러운 것은 DBM은 산업안전보건법이나 화학물질관리법에서 현재 규제가 되지 않으나 그 유해성이 매우 우려스러운 물질인데 광범위하게 사용되고 있다는 점이다.

금속 부품에 대해 할로겐화 용매를 사용하여 담금 및 건조를 하는 세정기술은 국외 문헌에서 찾아볼 수 없다. 국외에서 TCE를 사용하여 증기 탈지 세정을 할 때 개방형 세척 설비에 이중으로 냉각 코일을 설치하는 등 공기 중으로 배출되지 않도록 엄격하게 설비를 관리하여도 TCE에 대한 노출이 발암성 뿐 아니라 급성, 만성적인 영향에 대한 위험이 우려스러운 수준이라고 판단한다. 이와 비교하여 국내의 작업 방식인 담금(초음파 및 가열) 및 건조 작업에서의 노출은 훨씬 더 높을 수 밖에 없다. 과거의 화학물질 중독 발생 사례도 이러한 사실을 뒷받침하고 있다.

문헌 고찰 결과, 미국 및 유럽에서는 할로겐화 용매를 사용하는 금속 부품 세척은 폐쇄 시스템의 증기 탈지 설비를 사용하고, 미국에서는 TCE가 사용되고 있으나 현재 사용 금지에 대한 법률이 발의되어 있고, 유럽에서는 PERC를 폐쇄 시스템에서 사용되고 있다. 그러나 더 우선적으로 할로겐화 용매의 인체 유해성, 오존 고갈 특성 때문에 할로겐화 용매를 사용하기보다 수계 등 다른 세척제를 사용하는 세척 방식으로 많이 전환하였다.

할로겐화 용매를 사용하여 금속부품을 세척하는 작업에서 화학물질의 위험성은 화학물질의 유해성 및 노출, 2가지 요인 모두에 의해 높아진다. 세척 작업의 관리는 우선적으로 화학물질 유해성이 낮은 수계(aqueous) 및

준수계(semi-aqueous) 세척제로의 전환이 우선되어야 할 것이다. 정밀한 세척력을 요구하는 금속부품의 경우 할로겐화 용매 사용이 불가피할 경우는 폐쇄 방식의 증기탈지 설비를 사용해야 노출을 최소화할 수 있다. 현재의 산업안전보건법, 화학물질관리법 및 대기환경보전법의 규제는 사업주에게 배출을 최소화하는 세척 설비를 요구하고 있지 않다. 금속부품 세척 작업시 할로겐화 용매에 의한 근로자의 건강 보호를 위해서는 노출을 근원적으로 저감시키는 요구를 하는 규제가 필요할 것이다.

## References

- Andersson I, Slunge D. Substitution of trichloroethylene in metal parts cleaning in the European Union : A survey-based study on the effects of the authorization requirements in REACH. University of Gothenburg; 2021
- Bae JH. Alternative cleaning agents and alternative cleaning technologies for replacing CFC. *Prospective Ind Chem* 2006;8(2):25-40
- Choi YE, Kim SB, Kim W, Cho JH, Lee KT et al. Impact analysis and improvement plan arrangement of regulation changes for industrial cleaning substances: Focused on halogenated solvent cleaners. *Occupational Safety and Health Research Institute*; 2022
- Chung CK, Koo HJ. Application of the clean technology in the metal cleaning process. *Clean technology*. 1997;3(2):57-73
- Doherty RE. A history of the production and use of carbon tetrachloride, tetrachloroethylene, trichloroethylene and 1,1,1,-trichloroethane in the United States: Part 1 - Historical background: carbon tetrachloride and tetrachloroethylene, *Environmental Forensics* 2000a;1(2):69-81, DOI:10.1006/enfo.2000.0010
- Doherty RE. A history of the production and use of carbon tetrachloride, tetrachloroethylene, trichloroethylene and 1,1,1,-trichloroethane in the United States: Part 2 - Trichloroethylene and 1,1,1,-trichloroethane. *Environmental Forensics* 2000b;1(2):83-93, DOI: 10.1006/enfo.2000.0011
- European Chlorinated Solvent Association(ECSA). Guidance on storage and handling of chlorinated solvents; 2011
- European Committee for Standardization(CEN). BS

- EN12921-4:2005+A1:2008-Machines for surface cleaning and pretreatment of industrial items using liquids or vapors-Part 4: Safety of machines using halogenated solvent
- Environmental Protection Agency(EPA). Fact sheet : Halogenated solvent cleaning machine NESHAP; 2015 Available from: URL: <https://epa.gov/>
- Federal Register. Environmental Protection Agency. 40 CFR part 751. [EPA-HQ-OPRT-2016-0387;FRL-9950-08] Trichloroethylene; Regulation of use in vapor degreasing under TSCA section 6(a). 2017;82(12):7432-7460
- Federal Register. Environmental Protection Agency. 40 CFR part 751. [EPA-HQ-OPRT-2020-0642;FRL-8317-01-OCSP] Trichloroethylene; Regulation of use in vapor degreasing under TSCA section 6(a). 2023;88(209):74712-74794
- Health and Safety Executive(HSE). Dichloromethane (DCM0-Advice for managers); 2021. Available from: URL: <https://hse.gov.uk/>
- International Agency for Research on Cancer(IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans Volume 110; Some chemicals used as solvents and in polymer manufacture; 2016
- Jeong KS, Ahn YS, Kim HS, J YS, Cho SS et al. Cleaner handling condition and health hazard investigation-focus on unregulated cleaners by Occupational Safety and Health Act. Occupational Safety and Health Research Institute; 2018
- Jeong SJ, Bae GW, Lee NR. Comparative study of korean workers' expoure to dichloromethane by process category between work environment monitoring and ECETOC TRA. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2021;31(4):317-330
- Jung DC, Lee CH, Kong SD, M GY, Lee SW. The optimum clean process of non-aquous alternative solvents for 1,1,1-TCE. J of Korean Oil Chemists Soc. 1999; 16(3):1-4
- Kanegsberg B, Kanegsberg E. Handbook for critical cleaning, 2<sup>nd</sup> edition. CRC press; 2017
- Kim W, Kim SB, Jo JH, Choi IJ, K TS. Institutionalization strategy for restriction of hazardous chemicals in Occupational Safety and Health Act. Occupational Safety and Health Research Institute; 2020
- Kim HA, Kim SG, Uh WS, Lee CG, Kim SB et al. Research study on the current status of distribution and management of chemicals that cause acute poisoning in workplaces. Occupational Safety and Health Research Institute; 2016
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Alert on occurrence of acute poisoning in cleaning process; 2022
- Morrison RD, Murphy BL. Chlorinated solvents: A forensic evaluation. RSC Publishing; 2013
- NITE(Incorporated Administrative Agency National Institute of Technology and Evaluation); 2023 Available from <http://nite.go.jp>
- Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). MSDS summary review results related acute chemical poisoning investigation(Internal report); 2022
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Emission scenario document on the use of vapour degreasers. series on emission scenario document No.41. ENV/CBC/MONO(2021) 40; 2021
- Wolf K. Safer alternatives to vapor degreasing; 2020 Available from: URL: <https://epa.gov/>

<저자정보>

이나루(실장), 이혜진(연구위원), 정수진(과장), 이도희(과장), 신아름(대리)