

세척 작업자의 1,2-디클로로프로판 노출평가 및 관리방안 연구

A Study on the Exposure Assessment and Management of 1,2-Dichloropropane Workers in Degreasing Processes

차영진*, 이동호**

Young Jin Cha*, Dong Ho Rie**

ABSTRACT

In this study, the exposure assessment of 1,2-dichloropropane was evaluated using the method of NIOSH 1013, a process testing corporation of the National Institute for Occupational Safety and Health. Evaluation of personal impression in air is a low flow pump (Gilian, USA) corrected with a flow rate of 0.1-0.2 L / min using flow compensation (Defender 510-M, Bios International Corp., USA). A sample was taken with an adsorption tube (Anasorb 747 Tube Cat. No. 226-81A, SKC Inc., USA). Gas chromatography and electron capture detector were used for sample analysis.

As a safety measure through exposure assessment, general ventilation is presented to deal with not only 1,2-dichloropropane poisoning accidents that occur during work, but also risk factors that can cause a large amount of atypical outflow. It can be used to ensure the safety of air quality in the workplace as much as possible.

Key Words : 1,2-Dichloropropane, total ventilation

1. 서론

국내에서 2016년 메탄올 중독 사례 발생 이후 급성 중독성질환의 관리에 대한 사회적 우려가 증가하여 세척제로 사용하는 화학물질에 대한 관리감독이 강화됨에 따라 대표적인 세척제인 트리클로로에틸렌에 대한 노출기준이 50ppm에서 10ppm으로 강화되면서 작업환경측정이나 건강진단 등 규제를 받지 않고 있는 1,2-디클

로프로판으로 대체하여 사용하는 사업장수가 증가하였다.

일부 사업장에서는 1,2-디클로로프로판을 친환경 산업용 세제라고 잘못 인식하고 사용하고 있으나 간 및 신장 기능장애, 중추신경계 장애를 유발하는 물질로 알려져 있다⁽¹⁻⁴⁾.

1,2-디클로로프로판은 무색의 휘발성 액체로 산업용에서 화학 중간체⁽⁵⁾, 텍스타

* 인천대학교 공학대학원 안전환경시스템공학전공(cha9975@hanmail.net)

** 인천대학교 소방방재연구소 안전공학과 교수 - 1 -

일 얼룩 제거제, 솔벤트, 노크 방지 유체, 오일 및 파라핀 추출제, 페인트 및 고무 마감 제거제, 금속 탈지제에서 납 제거제 등 다양한 용도로 널리 사용되고 있다 (6,7).

1,2-디클로로프로판은 단기간 노출된 뒤에서 흡입에 의해 간 손상을 유발하는 것으로 확인 (8) 되었다.

일본 오사카의 인쇄업체에서 1,2-디클로로프로판을 이용하여 환기장치는 성능이 좋지 못해 충분한 환기가 이루어지지 않는 상태에서 방독 마스크 등 호흡보호구를 착용하지는 않은 채 전사고무롤러(blanket)에서 잉크를 제거하는 읍셋 컬러 고정인쇄 분야에 종사하는 근로자들 중 17명에서 담관암이 발생하고 이들 중 7명이 사망하는 사고가 2012년에 발생하여 담관암 발생 원인물질로 확인 (9) 된바 있다. 국제암연구소(IARC)에서 2014년에 1급 발암물질로 지정 (10) 한 유해·위험물질이다.

우리나라는 1,2-디클로로프로판을 산업안전보건법에서 노출기준 설정 대상 유해인자로만 관리하다가 2018년 노동자에게 중대한 건강장해를 일으킬 우려가 있는 특별관리물질로 지정하였다.

2020년부터 작업환경측정 및 특수건강진단 대상 유해인자로 2021년부터 시행된다. 간 및 담관암을 유발하는 발암성 물질인 1,2-디클로로프로판에 대해서 노동자에게 상당한 건강장해 우려가 있는 ‘관리대상 유해물질’로 지정하여 취급 시 환기장치 설치, 누출방지 조치 등 각종 보건조치를 하도록 하였다.

상기의 보건조치 이외 유해성 고지 및 취급일지 작성 등 추가조치를 하도록 개정되었다.

1,2-디클로로프로판을 사용한 세척작업자의 노출평가에 대한 연구는 전무한 상태에서 실제 작업과정에서 작업자가 어떻게 노출되고, 무엇이 문제이며 어떻게 관리해야하는지에 대한

기초적 작업안전관리 메뉴얼 및 실태자료 또한 전무한 상태이다.

본 연구에서는 1,2-디클로로프로판 취급 작업자의 노출수준, 세척작업 시 작업장에서 1,2-디클로로프로판의 노출분포 특성을 평가하여 관리방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상

본 연구는 경기도에 소재한 전자제품 제조 사업장 2개소로 1,2-디클로로프로판을 브러쉬를 이용하여 인쇄회로기판(PCB)을 세척하는 작업과 인쇄회로기판(PCB) 납땜 후 1,2-디클로로프로판으로 플럭스를 제거하는 작업을 연구대상으로 하였다.

브러쉬를 이용한 세척작업은 개인 시료 10개를 채취하였고, 인쇄회로기판(PCB)을 납땜 후 플럭스를 제거하는 작업은 개인 시료 11개, 지역 시료 22개 채취하여 총 33개의 시료를 채취하였다.

1,2-디클로로프로판의 사용량은 월 40L 이고 전체 공정은 <Fig. 1>과 같다.

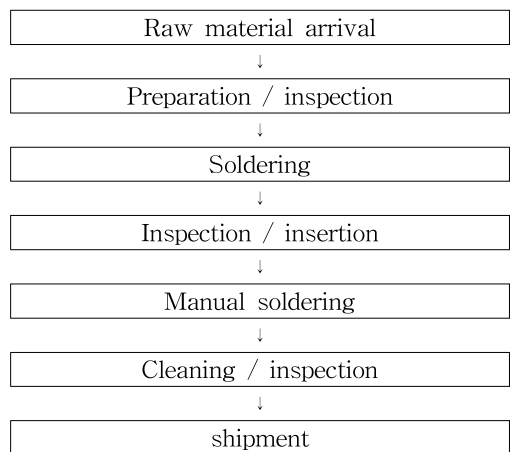


Fig. 1 Research target process

2.2 시료채취 및 분석

공기 중 1,2-디클로로프로판 농도를 평가하기 위해서 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 NIOSH manual of analytical methods(NMAM no. 1013)<Table 1>를 활용하였다. 시료채취 액체는 100/50 mg Petroleum Charcoal(SKI Inc, USA) 흡착튜브를 사용하였으며 개인시료 채취기를 이용하여 0.1에서 0.2 L/분 유량으로 개인 및 지역 시료를 채취하였다.

시료과피가 일어나지 않도록 총 유량 3.5 L를 넘지 않도록 시료채취 시간을 조절하였다. 시료의 분석은 가스크로마토그래피(6890N, Agilent Technologies, USA)의 전자포획검출기(ECD, electrolytic conductivity detector)를 사용하여 분석하였다.

Table 1 NIOSH methods 1013 1,2-DCP sampling and analysis methods

Sampling	
1. Collection 1) Method :	Solid collection
2) Mechanism and collection No. :	Adsorption tube
3) Sampling flow rate :	0.01-0.2 L/min
4) Amount of air :	minimum - 0.1 L maximum - 8.5 L
2. Transportation:	general method
3. Sample stability:	26 days at 25 ° C
4. Notification fee:	2 to 10 on-site notification fees are required for each set of samples

Analysis overview	
1. Principle and equipment 1) Principle:	Separation using GC and then analyzed by ECD
2) Equipment :	GC with ECD detector
2. Detachment method:	Add 1 mL of hexane to 15% acetone / cyclo and stir with an ultrasonic cleaner for 30 minutes.
3. Injection amount :	5 μ l
4. column :	nickel, 3 m \times 2-mm ID, 3% Carbowax 1500 on 60/80 mesh Chromosorb WHP
5. range :	0.5 ~ 400 μ g/sample
6. Detection limit :	0.1 μ g/sample
7. accuracy :	0.031

3. 연구 결과

3.1 브러쉬를 이용한 세척작업 노출평가

브러쉬를 이용한 세척작업 중 근로자 노출농도를 평가한 결과 8시간 가중평균농도 최고치가 13.561 ppm으로 우리나라 고용노동부의 기준인 10 ppm을 초과하였다.

1,2-DCP의 노출시간, 작업량 및 작업 내용에 따라 개인노출량 차이가 있다. 브러쉬를 이용한 세척작업이 국소배기장치의 후드에서 벗어나 작업자의 호흡기에 근접하여 이루어지고 있어 노출량이 많은 것으로 나타났다.<Table 2><Fig. 2>

Table 2 1,2-DCP concentration during cleaning with a brush

(Unit : ppm)

Classification	No of Samples	GM	GSD	Range
Personal	10	5.051	1.952	1.332 - 13.561

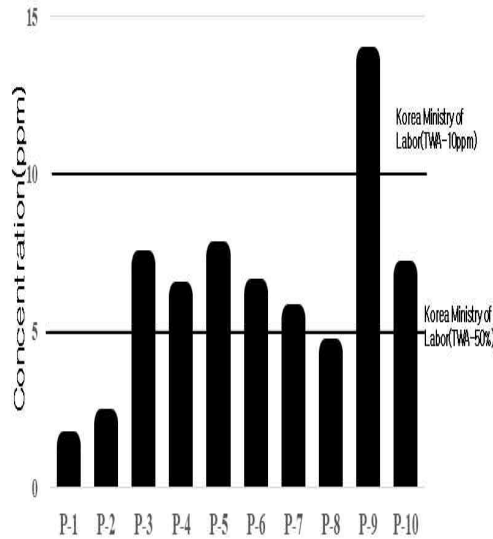


Fig. 2 Comparison of 1,2-DCP concentration by cleaning operation using brush

3.2 플럭스 제거 및 세척작업 노출평가

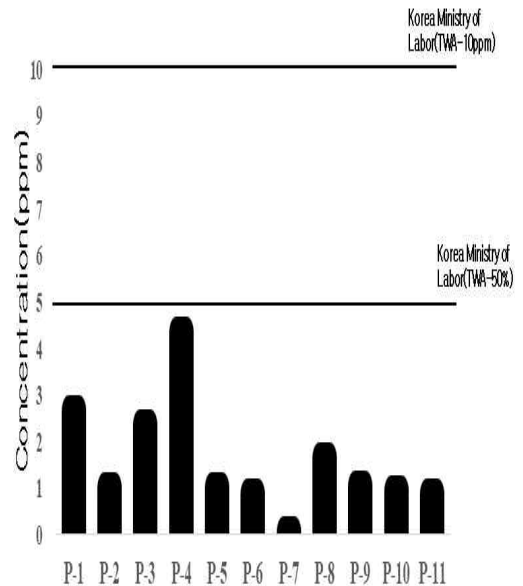
납땜 후 플럭스를 제거하기 위한 세척작업 중 근로자 노출농도를 평가한 결과 8시간 가중평균농도 최고치가 5.082 ppm으로 우리나라 고용노동부의 기준인 10 ppm을 초과하는

경우는 없었다. 플럭스 제거작업은 후드에 근접하여 이루어지고 있어 브러쉬를 이용한 세척 작업에 비해 상대적으로 노출이 적은 것으로 나타났다.<Table 3><Fig. 3>

Table 3 1,2-DCP concentration during cleaning operation to remove flux

(Unit : ppm)

Classification	No of Samples	GM	GSD	Range
Personal	11	1.060	3.047	0.056 - 4.332
Area	22	1.506	2.396	0.155 - 5.032
Total	33	1.340	2.606	0.056 - 5.032



4. 관리방안

1,2-디클로로프로판은 특별관리물질로 취급 장소에 국소배기장치를 설치하여 발생하는 유해 인자를 제어하도록 하고 있다.

그러나 대기상태(22℃)에서 분해도는 25일, 27일 후 50%¹¹⁾로 작업의 특성에 따라 작업자의 모든 작업영역을 제어하여 호흡기 영역을 보호 하기에는 한계가 있다.

1,2-DCP을 이용한 세척작업 형태, 용기에 소분하는 과정과 운반하는 과정 중 낙하, 기타 부주의로 인하여 발생하는 사고 등 사전에 예측되지 못해서 최악의 안전사고 발생으로 연결 될 수 있는 위험 요인에 대한 대처에는 한계가 있다.

본 연구에서는 세척공정의 안전관리 방안의 목적으로 전체환기를 적용하고자 한다. 전체 환기 적용은 시간당 공기교환회수를 이용한 다.

이를 위하여 첫째, 필요 환기량 Q값을 산출 하기 위해서는 휘발성 유해물질의 비중 SG, 유해물질의 단위시간당 소모되는을 ER, 휘발성 유해물질의 분자량 MW, 노출기준(ppm) C, 작업장 내 공기 혼합에 대한 안전계수 K를 적용하여 식 (4.1)을 이용하여 계산한다.

$$Q = \frac{24.1 \times SG \times ER \times 10^6 \times K}{MW \times C} \quad (4.1)$$

둘째, 면적에 따른 공기교환 회수는 식 (4.2)와 같이 시간당 공기교환 회수 즉, 환기량 Q를 실내 공간의 공기체적 V(m³)로 나눈 ACH(air change per hour)의 식을 이용하여 계산한다.

$$ACH = \frac{Q}{V} \quad (4.2)$$

1) 세척 공정의 1,2-DCP의 필요 환기량

세척공정에서 사용하는 1,2-DCP의 필요환기량 Q값은 495(CMH)로 나타났다.

1,2-DCP의 필요환기량

$$= 24.1 \times 1.16 \times 0.02 \times 106 \times 1 / 113 \times 10 = 495(\text{CMH})$$

2) 세척 공정 체적에 따른 1,2-DCP의 시간당 공기교환 회수

브러쉬를 이용한 세척공정의 체적을 조사한 결과 공기체적은 가로 3.5m, 세로 5.6m, 높이 2.3m로 나타났다. 전체환기 적용 결과 1,2-DCP의 체적에 따른 시간당 총 교환회수는 11회/h로 나타났다. 또한, 플렉스 제거를 위한 세척공정의 체적을 조사한 결과 공기체적은 가로 6.3m, 세로 4.5m, 높이 2.3m로 나타났다. 전체환기 적용 결과 1,2-DCP의 체적에 따른 시간당 총 교환회수는 7.6회/h로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 1,2-디클로로프로판 취급 작업자의 노출수준, 세척작업 시 작업장에서 노출분포 특성을 평가하였다. 또한, 안전관리 방안의 목적으로 세척공정에 전체환기를 적용할 수 있도록 필요환기량과 체적에 따른 공기교환 회수를 제시하여 적용하였다.

1) 세척작업 공정별 1,2-DCP의 노출평가

작업 형태에 따라 노출수준의 차이를 보였으며 국소배기장치의 후드에서 벗어나 작업자의 호흡기에 근접하여 작업이 이루어지고 있는 세척공정에서 최고치가 13.561 ppm으로 우리나라 고용노동부의 기준인 10 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 후드의 근접지역에서 작업이 이루어지고 있는 세척공정에서는 최고치가 5.082 ppm으로 모두 노출기준 미만으로 나타났다. 본 연구를 통해 작업형태에 따라 개인노출량 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 세척 작업자의 노출수준을 저감하여 안전성을 확보하기 위한 방법으로는 국소배기장치의 capture velocity에 의해 노출화학물질이 효과적으로 포착 가능하도록 작업특성에 맞게 후드 설계하여야 한다. 또한, 작업자는 지속적인 교육을 통해 후드와 근접해서 작업이 이루어질 수 있도록 관리방안이 요구된다.

2) 1,2-DCP 세척 공정의 안전성 확보를 위한 전체환기

일반적으로 1,2-DCP를 사용하는 공정은 취급 장소에 국소배기장치를 설치하여 발생하는 유해인자를 제어하도록 하고 있으나 호흡기에 근접하여 이루어지는 작업 형태나 운반 및 보관 중 낙하, 기타 부주의로 인하여 발생하는 사고 등 비정형 작업에서의 최악의 안전사고 발생으로 연결될 수 있는 위험 요인에 대한 안전성 확보에는 한계가 있다. 이러한 사고를 보완하기 위한 방법으로 전체환기를 제안하여 필요환기량 값에 적용하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 세척공정에서 사용하는 1,2-DCP의 필요환기량 Q값은 495(CMH)로 나타났다.

둘째, 1,2-DCP의 체적에 따른 시간당 총 공기교환 회수는 브러쉬를 이용한 세척공정 경우 시간당 총 교환회수는 11회/h로 나타났다. 또한, 플러스 제거를 위한 세척공정의 시간당 총 교환회수는 7.6회/h로 나타났다.

이러한 전체환기 적용 결과 1,2-DCP를 사용하는 작업장 별 시간당 총 공기교환 회수는 세척공정 설계 시 안전성 확보 관리 지침으로 적용할 수 있다. 채취된 시료별 노출평가 결과가 상이한 원인으로는 작업자 개인별 작업량, 작업속도, 작업방법 등의 변수에 따른 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Amoores JE, Hautala E. Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution. *J Appl Toxicol* 3, 272 - 90. 1983.
2. Pozzi C, Marai P, Ponti R, Dell'Oro C, Sala C, Zedda S, Locatelli F. Toxicity in man due to stain removers containing 1,2-dichloropropane. *Br J Ind Med* 42, 770 - 2. 1985.
3. Perbellini L, Zedde A, Schiavon R, Franchi GL. [Disseminated intravascular coagulation (DIC) caused by 1,2-dichloropropane (commercial trielin). Description of 2 cases]. *Med Lav* 76, 412 - 7. 1985.
4. Kubo S, Matsuzaki K, Seki T, Ohsawa M, Kumagai S, Endo G. Severe acute hepatitis in a printing company worker: a case study. *J Occup Health* 57, 87 - 90. 2015.
5. IARC. 1,2-Dichloropropane. *Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.*, 71 Pt 3, 1393-1400. 1999.
6. Imberti, R., Calabrese, S.R., Emilio, G., Marchi, L. and Giuffrida, L. Acute poisoning with solvents: chlorinated aliphatic hydrocarbons. *Minerva*

- Anesthesiol., 53, 399-403. 1987.
7. Lucantoni, C., Grottoli, S. and Gaetti, R..
1,2-Dichloropropane is a renal and liver toxicant.
Letter. Toxicol. Appl. Pharmacol., 117, 133. 1992.
 8. World Health Organization (1986)
1,2-Dichloropropane. IARC Monogr. Eval.
Carcinog. Risk Chem. Hum., 41, 131-147. 1986.
 9. Kumagai, S., Kurumatani, N., Arimoto, A., & Ichihara,
G. . Cholangiocarcinoma among offset colour
proof-printing workers exposed to
1,2-dichloropropane and/or dichloromethane.
Occupational and Environmental Medicine, 70(7),
508 - 510. 2013.
 10. International Agency for Research on Cancer . Some
chemicals used as solvents and in polymer
manufacture. IARC Monogr Eval Carcinog Risks
Hum 110, 141-75. 2017.
 11. 화학물질안전원 화학물질종합정보시스템