

# 트리클로로에틸렌의 유통·사용 실태조사 결과

조형열<sup>1</sup> · 조성현<sup>1</sup> · 유장진<sup>2</sup> · 김병규<sup>3\*</sup> · 박승현<sup>3</sup> · 강성규<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국산업안전공단 광주지역본부, <sup>2</sup>한국산업안전공단 부산지역본부, <sup>3</sup>한국산업안전공단 산업보건국

## A Survey on the status of using trichloroethylene(TCE) in Korea

Hyung-Yoel Cho<sup>1</sup> · Sung-Hyun Cho<sup>1</sup> · Jang-Jin Ryoo<sup>2</sup> · Byung Gyu Kim<sup>3\*</sup> · Seung-hyun Park<sup>3</sup> · Seong-Kyu Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gwangju Regional Office, Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA)

<sup>2</sup>Pusan Regional Office, Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA)

<sup>3</sup>Occupational Health Department, Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA)

Trichloroethylene(TCE) is widely used as a degreasing solvent in workplaces. TCE is primarily toxic to the nervous system, however, systemic disorder like Stevens-Johnson syndrome has been recently reported in small-scale factories, where the government has had limited information of chemical use. A survey was performed to investigate the actual condition of using TCE and to provide practical information to occupational health service agencies and professionals. This survey was carried out on 103 factories out of 430 factories which were conducted periodic work environment measurement for TCE. Degreasing was the most popular reason for using TCE in Korea, which reached to 94%. TCE was also used as a solvent for rubber in the coating or molding process, and adhesives in the bonding process. Metal fabrication was the most common as 23%, followed by assembling automobile parts (17%), and machinery (12%). Workers exposed to TCE

during full-shift were 52% while 48% were exposed during short period of the shift or intermittently. Manual or semi-automatic work occupied 87% while automatic work was just 13%. Though automatic work by a closed system was generally lower exposed to TCE, compared to manual work, it can cause a high exposure when the maintenance system is improper. Semi-automatic work especially like open-top degreasing process can cause a high exposure when local exhaust system with condensing and refrigerating coils in the degreaser does not work well. In conclusion, the survey showed nationwide status of TCE exposure in various aspects. It can be used to monitor workplaces and workers exposed to TCE to prevent occupational diseases.

**Key Words** : trichloroethylene, Stevens-Johnson syndrome, survey, degreasing, occupational disease

I. 서론

TCE(trichloroethylene)는 사업장에서 금속기계 부품의 탈지(degreasing) 세정제, 금속 표면의 세척·건조, 섬유공업에서의 세척과 염색, 일반 용해제, 라커의 희석제, 유리 또는 광학기구의 세척제 및 피혁의 지방 제거제 등으로 널리 사용되는 유기용제이다(NIOSH, 1978). 주요 취급업종은 조립금속제품 제조, 전기 전자부품 제조, 자동차 부품 제조, 기계 및 장비 제조 등에서 취급되고 있다(2004년 제조업체 작업환경실태조사).

TCE는 이중결합하고 있는 탄소에 염소가 3개, 수소가 1개 붙어 있는 구조로 물보다 무겁고, 무채색, 달콤한 냄새를 갖고 있는 액체로 세척력이 우수하다. TCE의 경우 냄새를 맡을 수 있는 최저 농도(서한도)가 21.4 ppm으로 보고된다. 냄새가 나면 이미 공기 중 농도가 매우 높다고 판단할 수 있다. TCE는 휘발성이지만, 상온에서 화재 및 폭발의 위험은 없다. 410℃의 높은 온도에서만 자연 점화가 이루어져 외국에서는 ‘안전한 용제(safe solvent)’로 불리기도 한다. TCE의 작업장 노출기준은 전 세계적으로 다양하여 100 ppm으로 규정된 미국이 있는 반면, 많은 다른 나라는 더욱 낮은 기준을 규정하고 있으며, 스웨덴은 10 ppm으로 정하고 있다. 우리나라의 경우 산업안전보건법에서 규정하고 있는 노출기준은 50 ppm, 단시간노출기준(STEL)은 200 ppm이다.

TCE는 주로 증기상태로 확산되어 호흡기 또는 피부를 통해 체내에 흡수되며, 흡수된 TCE는 혈액을 따라 유사 지방질이 많은 중추 신경계에 작용하여 두통, 현기증, 진전, 구토, 졸

음, 피부증상 등이 나타나고, 심하면 의식을 잃거나 사망할 수 있다. 고농도의 TCE에 노출된 근로자에서 간조직의 피사가 초래되었다는 보고들이 있으며, 반복적으로 피부에 노출되는 경우에는 탈지 작용에 의해 피부가 트고, 홍반 등의 피부 자극 증상이 나타날 수 있으며, 전신적 흡수를 통한 과민면역반응의 일종으로 간장장해를 동반한 다형홍반, 스티븐스존슨증후군, 독성표피 용해피사증 등의 심각한 전신피부 증상을 유발하기도 한다. 위와 같은 많은 건강위해 작용에도 불구하고 TCE가 사업장에서 널리 사용되는 이유는 기름과 지방 및 수지에 대한 뛰어난 용해성, 휘발성, 불연성과 가격면에서의 경제성 때문이다(ACGIH, 2006).

최근 우리나라에서 TCE에 의해 발생한 직업병 사례로는 2006년 1월 전자부품제조업에서 TCE세척을 수행하는 남자 근로자(49세)에게 TCE 급성중독인 스티븐스존슨증후군(간 피사 및 탈수 등)이 발생되어 사망하였으며, 같은 시기에 휴대폰 부품제조업에서 TCE세척 후 검사 및 포장공정에서 일하는 필리핀 여성(25세)에게도 스티븐스존슨증후군이 발생되어 사망하였다.

이러한 직업병 문제가 사회적 문제로 대두되었으며, 실질적인 직업병 예방대책을 수립·추진하기 위하여 마련하는 기존의 화학물질 관리의 틀을 획기적으로 개선하기 위하여 직업병을 유발한 화학물질의 유통·사용 실태에 대한 정확한 조사를 실시하고, 이를 통해 유사 직업병 발생 예방체계의 객관적 기반을 구축하기 위하여 국내의 TCE를 취급하는 사업장을 대상으로 유통·사용 실태조사를 수행하였다.

Table 1. Selected factories from measured factories by types of industry

Type of industry	Measured factories	Selected factories(S/M%)
Total	430	103(24)
Chemical	7	3(43)
Plastics & Rubber products	1	1(100)
Primary metal	18	6(33)
Fabricated metal product	111	24(22)
Machinery	54	18(33)
Computer & Electronic product	17	9(53)
Electrical equipment, appliance	78	10(13)
Transportation equipment	31	18(58)
The others	117	14(12)

## II. 조사 방법

실태조사 대상사업장 선정 방법은 TCE의 사용 및 취급실태를 대표적으로 반영하여 사업장을 선정하기 위해, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원에서 구축하고 있는 2004년도 작업환경측정결과 DB자료를 근거로 TCE를 측정된 사업장 392개소 및 신규 TCE 취급사업장 38개소를 대상으로 표준산업분류에 의한 업종별(Table 1), 근로자수에 의한 규모별(Figure 1) 및 지역별(Figure 2)로 층화(Stratified Sampling Method)하여 선정된 103개소를 방문조사 하였으며, 조사기

간은 2006년 3월 1일부터 2006년 9월 30일까지 7개월간이었다.

조사방법은 한국산업안전공단 전 지역본부, 지도원, 센터의 보건분야 전문직원들이 해당 사업장에 직접 방문하여 체계화된 조사표(Table 2)를 활용하여 TCE의 유통·사용 실태, 취급공정 및 작업, 노출근로자 등을 조사하였다.

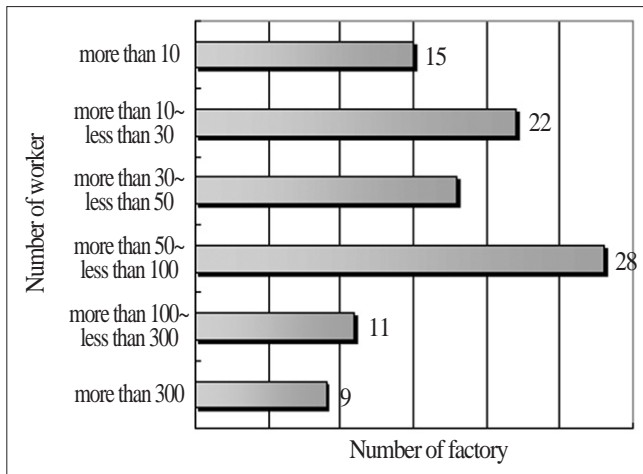


Figure 1. Distribution of surveyed factories by scale

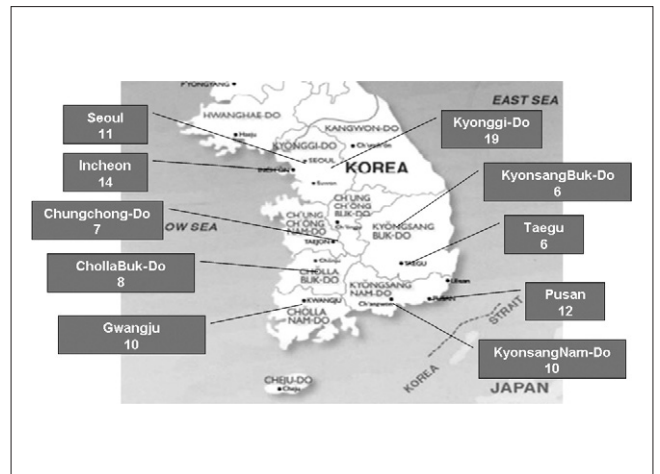


Figure 2. The number of factories surveyed by location in Korea

Table 2. Standardized checklist used for this survey

Classification	heckpoints
Status of circulation	- Information on production, marketing & delivery route, amount used
Status of use	- Industry, process & application of TCE used - Way of work ex) automatic, semiautomatic, manual - Facilities of using TCE ex) machine, ventilation, degreaser etc.
Status of exposure	- Structure of workplace ex) enclosure, isolation etc. - Number of workers exposed - Duration & frequence of exposure - Exposure concentration - Picture of worker etc.

### Ⅲ. 조사 결과 및 고찰

#### 1. 업종별 사용공정 및 취급현황

TCE 유통·사용 실태조사 사업장에 대한 업종별 사용공정 및 사용용도는 Table 3과 같다. 대부분 세척공정에서 세척의 용도로 사용하고 있었으며, 합침, 절단, 탈지, 전처리, 도장, 인쇄, 후처리, 성형, 검사 등의 공정에서 세척의 용도로 활

용되고, 기타 코팅, 몰드 공정에서 용제로, 접착공정에서 접착제로 사용되고 있었다.

Table 4는 업종에 따른 TCE 노출 근로자수, 한 달 사용량 및 노출 수준을 나타낸 표이다. TCE 노출 근로자는 컴퓨터 및 전자부품 제조업에서 62명으로 가장 많은 근로자가 노출되고 있었으며, 조립금속제품 제조 및 기계제조업에서 59명이 노출되고 있었다. 한 달 사용량이 가장 많은 업종은 자동차 부품 제조업으로 23,920 ℓ 를 사용하고 있었으며, 컴퓨터 및

Table 3. process, application, number of processes and factories by types of industry

Type of industry	Process(No.)	Application	No. of process	No. of factory
Total			105	103
Chemical	Reaction(1), Soak(1), Degreasing(1), Bonding(1)	Recycling, Degreasing, Degreasing, Adhesion	4	3
Plastics & Rubber products	Coating(1)	Solvent	1	1
Primary metal	Degreasing(6)	Degreasing	6	6
Fabricated metal product	Degreasing(24)	Degreasing	24	24
Machinery	Degreasing(18)	Degreasing	18	18
Computer & Electronic product	Degreasing(8), Bonding(1)	Degreasing, Adhesion	9	9
Electrical equipment, appliance	Degreasing(11)	Degreasing	11	10
Transportation equipment	Degreasing(16), Bonding(1), Molding(1)	Degreasing, Adhesion, Solvent	18	18
The others	Degreasing(14)	Degreasing	14	14

Table 4. The number of worker, monthly using amount and exposure level by types of industry

Type of industry	No. of factory	No. of worker	Using amount monthly( ℓ )	Concentration range(ppm)
Total	103	390	87,320	-
Chemical	3	19	4,116	0.97~13.26
Plastics & Rubber products	1	35	6,830	0~42.63
Primary metal	6	18	6,787	2.91~37.35
Fabricated metal product	24	59	11,990	0~30.80
Machinery	18	59	3,950	0~48.48
Computer & Electronic product	9	62	19,596	0.08~41.55
Electrical equipment, appliance	10	56	4,771	0~21.29
Transportation equipment	18	30	23,920	0~49.87
The others	14	52	5,360	0~39.51

전자부품 제조업 (19,596 l), 조립금속제품 제조업(11,990 l) 순으로 사용하고 있었다. TCE 노출 수준이 가장 높은 업종은 자동차 부품 제조업으로 최고 노출농도가 노출기준(50ppm)에 근접한 49.87ppm이었다. 특히 플라스틱 및 고무제품제조업의 1개 사업장은 TCE가 세척의 용도가 아닌 코팅공정에서 용제로 사용되며, 노출되는 근로자가 35명, 한 달 사용량은 6,830 l, 최고 노출 농도는 42.63ppm으로 조사된 사업장에서 가장 많은 노출근로자와 사용량을 보유하고 있었다.

업종별 TCE 취급빈도 및 작업방법을 Table 5에 나타내었다. TCE 취급빈도는 매일 정상작업 59개 공정, 기타 단시간 및 간헐작업 46개 공정으로 매일 정상작업 외에 비정규적인 작업도 상당히 많아 산업위생 전문가들에게 근로자의 노출 평가에 있어 고려해야 됨을 시사하고 있다. 또한 작업방법은 자동작업이 13개 공정, 반자동 작업이 39개 공정, 수동작업이 53개 공정으로 나타나 근로자가 직접 노출되는 반자동 또는 수동작업이 88%를 차지하고 있어 근로자의 고농도 노출을 작업환경 평가시 고려해야 한다.

## 2. 세척작업 노출실태 및 관리방안

실태조사 결과 TCE는 대부분이 세척공정에서 세척제로 사용되고 있는 것을 확인할 수 있었으므로, 세척작업 종류에 따른 실태조사 사업장의 노출실태와 관리방안은 다음과 같다.

### 2-1. 밀폐형 자동세척기

밀폐형 자동세척기에서 작업할 경우, 대부분 함침식이며, 자동 세척이 이루어져 작업자가 유기용제에 노출될 수 있는

가능성이 적다고 알려져 있다. 그러나 이러한 경우에는 고장, 수리, 부품교체 등의 경우에 고농도의 유기용제에 노출될 수 있으므로 충분히 환기가 이루어진 상태에서 출입을 해야 한다. 또한, 라인을 따라가며 밀폐된 세척기에서 작업을 할 때에는 작업물의 투입 및 배출시에 노출될 수 있으므로 호흡용보호구(방독마스크)를 착용하고 작업을 수행해야 한다(윤충식, 2005). Figure 3은 전자부품 제조업의 밀폐형 세척기 사례이다. 성형된 반제품을 자동이송 컨베이어를 통해 밀폐형 자동세척기로 이송하여 세척하는 공정으로, 월 2,730 l의 TCE를 사용하며, 매일 10시간 세척작업을 수행하는 작업자의 노출농도는 4.03ppm으로 TCE 노출수준이 낮다는 것을 알 수 있다.

### 2-2. 반자동 세척기(호이스트 이용)

대형 작업물을 세척할 경우 호이스트를 이용하여 세척조에 제품을 담겨 세척, 건조 후 제품을 꺼내는 작업이 수행되어 진다. 세척조의 상부 덮개를 수동으로 열고 닫기가 힘들어 계속 열어 놓고 방치하는 경우가 대부분으로, 제품의 투입, 배출, 상부덮개의 개방으로 인해 작업자에게 TCE증기가 노출되므로 자동개폐장치를 설치하거나, 상부 덮개를 세척작업이 없는 경우 닫도록 관리가 필요하며, 투입, 배출시 TCE 증기 발생을 억제할 수 있는 방법으로 세척조를 깊게 설계하여 증기가 작업자 위치까지 올라오지 않도록 하고, 세척조 내부에 응축기(condenser)와 냉각기(refrigeration lines)를 설치하여 TCE 발산을 억제시켜야 한다. 응축기는 43°C이하로 온도를 낮추어 87°C이상에서 증기화된 TCE가 세척조 밖으로 나가지 못하도록 하는 시설이며 냉각기는 0°C이하로 온도를 아주 낮추어 더욱 강력하게 TCE증기가 빠져나가지 못

Table 5. Frequency and way of work by types of industry

Type of industry	Frequency of work			Way of work		
	Full	Short period	Intermittent	Automatic	Semiauto	Manual
Total	59	33	13	13	39	53
Chemical	3	1	0	0	0	4
Plastics & Rubber products	1	0	0	0	0	1
Primary metal	4	0	2	0	3	3
Fabricated metal product	12	8	4	0	14	10
Machinery	9	8	1	2	4	12
Computer & Electronic product	6	3	0	1	1	7
Electrical equipment, appliance	4	7	0	2	3	6
Transportation equipment	12	3	3	7	7	4
The others	8	3	3	1	7	6

하도록 하는 시설이다. 1993년 백남원 등은 중소기업 도금공정에서의 TCE 폭포와 발산량에 관한 연구에서 국소배기시설과 응축기와 냉각기를 모두 갖추지 않은 초음파 세척조는 국소배기시설은 갖추지 않고 응축기와 냉각기만 갖추고 있는 초음파 세척조에 비해 세 배나 많은 TCE를 발산하고 있다고 보고한 바 있다(백남원 등, 1993).

Figure 4는 조립금속제품 제조업의 반자동 초음파 세척기 사례이다. 가공된 금속제품을 호이스트를 이용하여 초음파 세척기에 투입하여 세척, 건조 후 꺼내는 작업공정으로, 월 4,300 l의 TCE를 사용하며, 매일 8시간 세척작업을 수행하는 작업자의 노출농도는 0.29 ppm으로 TCE 노출이 적다는 것을 알 수 있다. 이 세척조에는 냉각코일이 설치되어 있어 TCE 증기 발생을 억제하여 노출농도가 낮다고 판단된다.

2-3. 수동 세척기(인력 제품 투입)

소형 작업물을 세척할 경우 제품을 바스켓에 담아 작업자가 세척조에 투입하여 세척, 건조 등의 작업을 수행한다. 이런 경우 작업자에게 직접적으로 노출될 가능성이 높으므로 적절한 호흡용 보호구, 불침투성 보호의 등의 개인보호구를 착용하고 작업자의 호흡영역 아래 위치에 국소배기 장치를 설치해야 한다. 상체를 숙여 세척조 안으로 머리가 들어간 자세로 작업하는 경우 TCE증기에 증독되는 경우가 발생되므로 머리를 세척조 안으로 들어가지 않도록 주의가 필요하다.

Figure 5는 세척조 및 국소배기장치 후드 형태의 잘못 설치된 사례이다. 가공된 제품을 바스켓에 담아 TCE 세척조에 투



Figure 3. A case on the automatic degreasing work by an enclosed system



Figure 4. A case on the semi-automatic degreasing work using crane by open top degreaser



Figure 5. A case on the manual degreasing work by open top degreaser with a canopy type of ventilator



Figure 6. A case on the manual degreasing work by open top degreaser with a lateral hood type of ventilator

입하여 세척, 건조 후 꺼내는 작업자의 노출농도가 49.87ppm으로 매우 높은 농도에 작업자가 노출되고 있음을 알 수 있다. 국소배기장치의 후드의 형식이 외부식 상방흡인형으로 작업자가 후드 아래에서 세척조를 보면서 작업을 해야 하는 형태이다. 후드에서 증기를 제어하기 위해 흡인하면 작업자는 그 증기에 모두 노출되기 때문이다. Figure 6은 후드의 형식이 외부식 측방흡인형으로 작업자의 호흡영역을 통과하지 않도록 설계된 좋은 예이다.

#### IV. 결론

이번 조사를 통해 우리나라에서 최근 직업병을 유발했던 TCE에 대한 국내 유통과 취급사업장의 사용 및 근로자 노출 정보에 대하여 종합적인 실태 DB를 구축할 수 있는 기초 자료를 확보하게 되었다. 또한 이 자료는 TCE가 주로 사용되는 공정과 용도가 무엇인지, 주로 사용되는 작업의 실태 및 관리방안은 무엇인지 구체적으로 밝혀내어 그간 추진해왔던 직업병 발생 후의 지도·점검 행정에서 탈피하여 TCE 취급 사업장에 대한 사전 예방사업의 접근체계를 구축하는 시발점이 될 수 있을 것이다.

향후 본 조사결과는 국내 화학물질의 유통 및 사용실태에 대한 업종별 공정별 구체적인 정보를 DB화 하여 산업보건 전문 인력의 사업장 기술지도시 사전에 화학물질 취급공정에 대한 산업보건학적 정보를 제공하고 작업환경측정 및 특수건강진단 등 민간 산업보건 전문기관의 작업환경평가 및 화학물질관리 컨설팅 등에 활용될 것으로 기대된다.

#### REFERENCES

NIOSH. Special Occupational Hazard Review with Control Recommendations Trichloroethylene. U.S, Dept. of Health Education and Welfare Public Health Services, 1978, 1-59

한국산업안전공단. 2004년 제조업체 작업환경실태조사, 2005

ACGIH. Documentations of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH, ACGIH 1986

윤충식. 유해물질 산업보건 편람(퍼클로로에틸렌), 2005

백남원, 이경희. 중소기업 도금공정에서의 트리클로로에틸렌 폭로와 발산량에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993; 제3권 제1호