

트리클로로에틸렌의 허용기준 적용에 따른 연도별 초과 경향 연구

김기연*

서울과학기술대학교 안전공학과

Survey on Annual Excess Trend for Permissible Exposure Limit of Trichloroethylene

Ki-Youn Kim*

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to analyze an excess trend for domestic permissible exposure limit of trichloroethylene based on previous literature review.

Materials and Methods: The research object is a trichloroethylene among 13 chemical substances regulated with PEL(Permissible Exposure Limit) in Occupational Safety and Health Act. The information utilized from this study is the work environment measurement data from 2004 to 2013. The highest level among concentration data measured at various workplaces was selected as a representative value through data process. N.D. (Not Detected) data was considered as 1/2 of LOD(Limit Of Detection).

Results: Among work environment measurement data between 2004 and 2013, the highest number of excess workplace and excess rate(24 sites & 1.15%) was observed in 2008's data when applying the PEL(50 ppm) of trichloroethylene. When they are compared with the ACGIH's TLV-TWA(10 ppm), 2008's data showed the highest number of excess workplace and excess rate(175 sites & 8.37%). The number of excess workplace and excess rate related to PEL of trichloroethylene showed increase trend in 2005 but tended to decrease after 2008.

Conclusions: Based on the results obtained from this study, the exposure level of trichloroethylene in case of domestic workers is not considered as a safe phase regardless of the year of work environment measurement year. Thus, a strictly preventive management in workplace should be provided for reducing exposure level of trichloroethylene.

Key words: chemical substances, permissible exposure limit, trichloroethylene

I. 서 론

18세기 중반 산업혁명이후 제품의 대량생산이 가능해지면서 화학 산업은 급격한 발전을 하기 시작하였다(Fred, 2001). 이에 따라 작업장에서 화학물질을 장시간 취급하면서 다양한 직업병이 사회문제로 대두되었다. 국내에서도 1970년대 이후 중화학공업이 발전함에 따라 유해물질을 대량으로 취급하는 산업이 다양해지고, 직업병 및 산업재해가 빈번히 발생되었다(Cho et al, 2011). 화학물질의 안전보건에 대한 관심이 증가하

면서 1981년 산업안전보건법(이하 “산안법”)이 제정되었고 화학물질 노출로 인한 근로자의 건강장해 예방을 위해 별도의 법조항(제39조: 유해인자관리, 시행규칙 제81조: 유해인자의 분류·관리)으로 분류하여 관리하도록 하고 있다(MoEL, 2013). 2005년 10월 노동부는 작업환경측정 혁신(안)의 일환으로 국내에서 발암성 물질이나 직업병자 다수 발생 등으로 사회적 물의를 일으킨 물질(벤젠, 석면, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말헥산, 톨루엔-2,4-다이소시아네이트, 디메틸포름아미드, 2-브로모프로판, 이

*Corresponding author: Ki-Youn Kim, Tel: 02-970-6376, E-mail: kky5@seoultech.ac.kr
Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology. 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811
Received: February 26, 2019, Revised: March 11, 2019, Accepted: March 12, 2019

ORCID Ki-Youn Kim https://orcid.org/0000-0001-6889-8548

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.

황화탄소, 납 및 그 무기화합물, 니켈(불용성 무기화합물), 6가 크롬화합물 불용성 및 수용성)에 대해서는 노출기준을 허용기준화 하여 사업주가 허용기준 미만의 작업환경을 항시 유지하여야 함을 법적으로 강제화 하였다(Roh et al., 2008).

트리클로로에틸렌은 불연성의 무색 휘발성 액체로 탁월한 탈지 효과때문에 주로 금속산업장에서 금속기계제품의 세척제로 널리 사용되어 왔다. 최근에는 페이튼, 살충제, 접착제, 광택제, 페인트 제거제, 윤활유, 냉각제 그리고 드라이클리닝에 사용되는 섬유세척제 등의 중간산물로 사용되고 있다(Waters et al., 1977). 석유화학계 기초 화합물, 의약품 약제품, 접착제 및 젤라틴 제조, 자동차 부품 및 발전기 제조, 산업용 비경화 고무 제품 제조, 직물 및 편조원단 염색가공, 모 방적, 계면활성제 제조공정에서도 사용되어지고 있다. 트리클로로에틸렌의 인체 노출 경로는 호흡기가 주된 경로이며, 피부 흡수에 의한 노출은 일반적인 작업조건에서 미약하다(Hong et al., 1985). 트리클로로에틸렌 노출에 따른 주요 증상은 중추신경계 억제작용이 발생되며 피로, 현기증, 두통, 기억력 저하, 집중력 장애 등의 증상을 유발한다. 고농도 노출의 경우 시각장애 및 청력의 저하가 나타난다. 심혈관계에 작용하여 부정맥이 발생할 수 있고, 급성 간독성 및 급성신부전, 호흡곤란, 폐부종 등이 나타난다. 생식 독성으로 동물 실험에서 간암과 신장암의 발생을 증가시키며, 여성에서 월경 불순이 남성에서 성욕 감소가 나타난다. 특히 100 ppm 이상의 농도로 장기간 노출되었을 때 근육통 위장관 장애 등이 초래되며, 피부는 자극 증상으로 인해 트거나 홍반 등이 생길 수 있다(ATSDR, 2015). 트리클로로에틸렌에 대한 국내 노출기준은 TLV-TWA 50 ppm, TLV-STEL 200 ppm으로 관리되다가, 2016년 2월 17일에 개정되어 현재는 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 제안한 TLV-TWA 10 ppm, TLV-STEL 25 ppm와 동일하게 적용되고 있다. 발암성 구분은 국내 고용노동부 1A, 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 Group 1, ACGIH에서는 A1로 구분되어 있다.

현재 국내 모든 측정기관에서는 작업환경측정대상인자 190종을 대상으로 측정을 실시하고, 산안법 제 42조(작업환경측정 등)에서는 측정 결과를 고용노동부 전산자료에 입력하여 측정결과를 보고 하도록 정

하고 있다(MoEL, 2013). 해당 자료를 통해 안전보건공단에서는 유해·위험성 평가 등 작업환경측정 자료를 이용한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. 하지만, 작업환경측정자료 분석을 통해 취급 근로자의 노출수준 파악에 관한 연구는 미비한 상태이다.

따라서 본 연구의 목적은 트리클로로에틸렌에 대한 작업환경측정 자료를 활용한 초과사업장수 파악 및 초과율 동향을 분석하고, 관련 문헌 고찰을 통해 노출수준을 파악함으로써 트리클로로에틸렌 관련 연구 수행 시 기초 및 근거 자료를 제공하는 데 있다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2004부터 2013년까지의 10년간 측정된 국내 모든 측정기관의 작업환경측정 자료를 이용하였으며, 대상물질은 산업안전보건법 제81조의4(허용기준)에 명시된 허용기준 대상물질 총 13종 중 트리클로로에틸렌을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

자료 처리의 경우 한 개의 사업장에서 측정한 다수의 측정결과 중 가장 높은 농도로 측정된 결과를 대푯값으로 선정하였으며, 동일한 사업장이라도 공정이 다를 시 두개의 측정수치로 판단하여 처리하였다. 작업환경 측정자료에서는 아주 낮게 측정된 농도에 대해 ‘미검출’, ‘불검출’, ‘흔적’, ‘N.D’, ‘Non-Detectable’, ‘Trace’ 등으로 표기하고 있다. 불검출 자료 처리에 대한 많은 방법이 제기되고 있으며, 본 연구에서는 EPA (2000)에서 제시한 불검출 자료처리에 대해 가장 낮은 측정 농도 값에 1/3로 간주하는 방법을 적용하여 처리하였다. 분류된 자료에 평가 대상 연도에 적용되었던 국내 허용기준(50ppm; TWA)과 ACGIH 노출기준(10ppm; TWA)을 각각 적용하여 초과사업장 및 초과율을 분석하였다.

III. 결 과

1. 트리클로로에틸렌의 국내 허용기준 적용시 사업장 초과율 분석

평가 대상 연도에 적용되었던 허용기준 50ppm (TLV-TWA) 적용시 초과 사업장 및 초과율 분석 결과

를 아래 Table 1에 정리하였다. 2004년의 경우 전체 취급사업장 대비 초과 사업장 수는 2개소로 0.34% 초과 되는 것으로 조사되었다. 2005년은 전체 1009개소 중 3개소(0.29%)가, 2006년은 전체 1209개소 중 11개소(0.91%) 초과되었다. 2007년은 전체 사업장 2001개소에서 17개소가, 2008년 측정 자료에서는 2090개소 중 24개소(1.15%) 초과하는 것으로 나타났다. 2009년도에는 전체 2104개소 중 5개소(0.24%), 2010년은 2219개소 중 2개소(0.09%), 2011년은 2282개소 중 2개소(0.08%), 2012년은 2358개소 중 2개소(0.08%), 2013년은 2453개소 중 2개소(0.08%)를 각각 초과하는 것으로 관찰되었다. 초과 사업장 및 초과율은 2008년도 데이터에서 가장 높게 나타났으며, 2010, 2011, 2012, 2013년도에서 가장 낮게 분석되었다. 현재 고용노동부에서 규제하고 있는 허용기준 적용시 전체 측정자료의 평균 초과사업장수는 7개소로 나타났으며, 평균 초과율은

0.41 %로 분석되었다. 연도별 초과 사업장 경향을 관찰하였을 때, 2005년도부터 점차 초과 사업장이 증가하는 추세를 보이며 2008년 이후 다시 급격하게 감소되는 경향이 나타났다.

2009년 고용노동부에서는 발암성 물질이나 직업병 발생물질 등에 대하여 작업장 내 노출정도를 항상 일정기준 이하로 유지하도록 하는 “유해인자 허용기준제도”를 도입하기로 공고하였으며, 당시 최초 대상물질에는 노말헥산, 디메틸포름아미드, 벤젠, 트리클로로에틸렌이 포함되었다. 작업장내 대상물질이 허용기준을 초과하였을 경우에는 별도의 과태료를 부과하도록 설정하였다(MoEL, 2009). 이와 같은 이유로 Figure 1에서 나타난 바와 같이 2008년도 이후 초과사업장이 급격하게 감소한 것으로 추정된다. 시간이 지남에 따라 취급 사업장수는 증가하지만 반대로 초과 사업장수는 감소하는 것을 Table 1에서 확인할 수 있다. 2013

Table 1. The number and rate of excess workplace for permissible exposure limit (50 ppm) of trichloroethylene which was applied to domestic workplace

Year	Excess workplace	Total workplace	Excess Rate(%)
2004	2	576	0.34
2005	3	1009	0.29
2006	11	1209	0.91
2007	17	2001	0.85
2008	24	2090	1.15
2009	5	2104	0.24
2010	2	2219	0.09
2011	2	2282	0.08
2012	2	2358	0.08
2013	2	2453	0.08

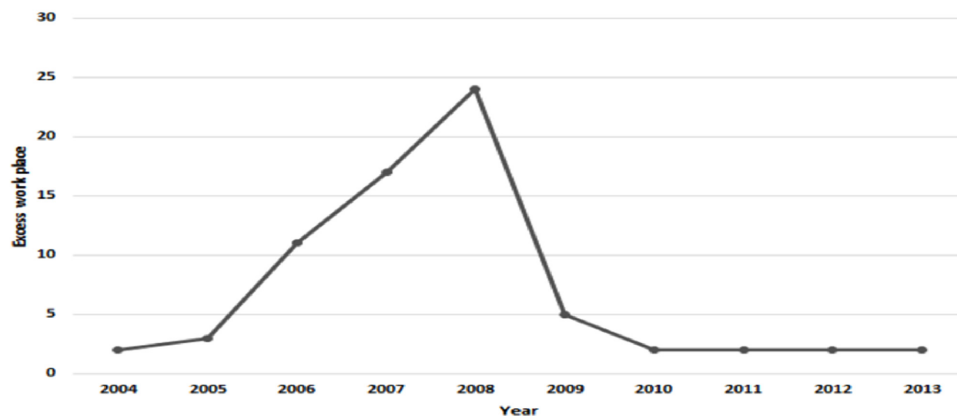


Figure 1. Trend of yearly excess workplace for permissible exposure limit (50 ppm) of trichloroethylene which was applied to domestic workplace

년 7월 1일부로 발암성·생식독성·생식세포 변이원성 물질 등 취급 근로자에게 중대한 건강장해를 유발하는 특별관리물질 항목에 대한 개정을 실시하였으며, 트리클로로에틸렌을 포함한 7종 유해물질이 추가되었다(MoEL, 2013). 트리클로로에틸렌이 특별관리물질로 포함됨에 따라 향후 초과 사업장수는 점차 더 감소할 것으로 판단된다.

2. ACGIH 노출기준 적용시 트리클로로에틸렌의 초과율 분석

현재 ACGIH의 경우 트리클로로에틸렌 대해 TLV-TWA: 10 ppm, TLV-STEL: 25 ppm 으로 관리하고 있다. 국내 트리클로로에틸렌 허용기준과 비교시 약 5배 정도 엄격한 수준으로 조사되었다. 국내 트리클로로에틸렌 대상 작업환경측정결과에 ACGIH 노출기준을 적용하였을 때 발생될 초과사업장 및 초과율을 분석하였다(Table 2).

2004년도의 경우 전체 576 사업장 중 33개소(2.95%)가 초과하는 것으로 분석되었고, 2005년은 1009개소 사업장 중 89개소(1.95%)가 초과되었다. 2006년도에는 전체 1209개소 중 83개소(6.87%)가 초과되었으며, 2007년은 2001개소 중 109개소(5.45%)가 초과되는 것으로 분석되었다. 2008년은 전체 2090개소 중 175개소(8.37%), 2009년은 2104개소 중 101개소(4.8%), 2010년은 2219개소 중 106개소(4.78%)가 각각 초과하는 것으로 나타났다. 2011년도는 전체 취급 사업장 2282개소 중 80개소(3.51%)가 초과하였으며, 2012년은 전체 2358개소 중 56개소(2.37%), 2013년은 전체 2453개소 중 69개소(2.81%) 사업장이 초과되었다.

Table 1과 동일하게 2008년도에서 초과 사업장 및 초과율이 가장 높게 산출되었으며, 초과 사업장은 2004년도 초과율은 2005년도에서 가장 낮게 분석되었다. ACGIH 노출기준 적용시 평균 초과 사업장은 81.6개소, 초과율은 4.39%로 나타났다. 국내 허용기준에

Table 2. The number and rate of excess workplace for ACGIH exposure limit of trichloroethylene

Year	Excess workplace	Total workplace	Excess rate(%)
2004	17	576	2.95
2005	20	1009	1.98
2006	83	1209	6.87
2007	109	2001	5.45
2008	175	2090	8.37
2009	101	2104	4.80
2010	106	2219	4.78
2011	80	2282	3.51
2012	56	2358	2.37
2013	69	2453	2.81

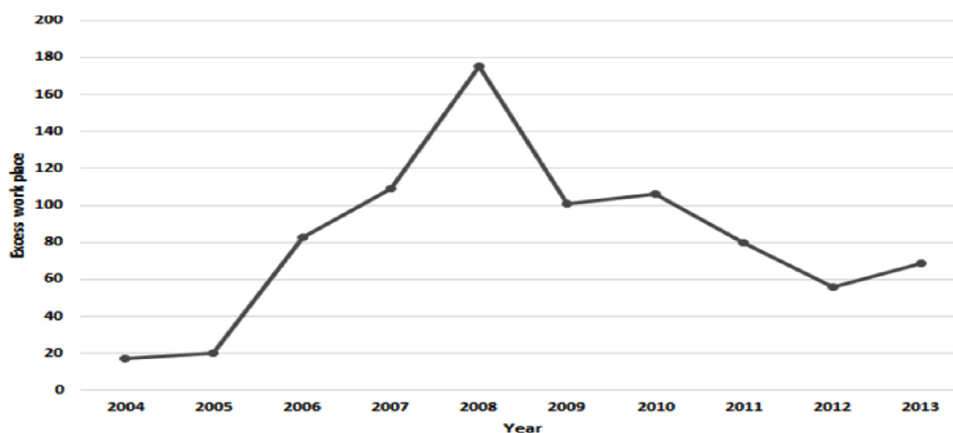


Figure 2. Trend of yearly excess workplace for ACGIH exposure limit of trichloroethylene

비해 상대적으로 높은 관리수준으로 인해 초과사업장과 초과율이 높게 관찰되었다. 하지만, 화학물질 사용량은 시간이 지날수록 계속 증가하는 추세이며, 산업보건 관련 선진외국에서는 관리기준치를 더욱 엄격하게 관리하고 있다. ACGIH의 경우 현 국내 허용기준인 50 ppm을 1982년에 제안하였고, 계속적인 개정작업에 따라 현재 10 ppm까지 강화하였다. 미국, 캐나다를 포함한 산업보건 선진외국에서는 트리클로로에틸렌에 대해 국내 허용기준치보다 더욱 엄격하게 적용하고 있으며, 유해성 평가에 근거하여 규제수준 또는 관리수준의 재검토가 이루어지고 있다. Boyes(2000) 등에 따르면 10 ppm 보다 높은 농도 수준에서는 신장 독성과 신장암을 포함한 중충신경계에 악영향이 발생한다는 연구결과가 보고되었다. 트리클로로에틸렌 취급 근로자의 건강예방적 측면을 고려하였을 때, 현재 국내 허용기준이 더 엄격히 관리되어야 한다고 판단된다.

IV. 고 찰

트리클로로에틸렌은 1864년에 개발되어, 상업적 사용은 1925년에 독일에서 시작되었는데 최근 들어 염소계 용제들에 대한 환경적 위해성이 알려지고 안전보건상의 각종 규제가 강화되어 그 사용량은 점점 감소하고 있는 추세에 있다. 미국에서는 1971년에 트리클로로에틸렌의 수요가 24만톤 가량 되었지만 1990년대 들어 6만8천 톤 가량으로 감소했고, 스웨덴은 1993년에 4천6백 톤 가량에서 2009년에는 91톤 정도로 줄었다. 그런데 1995년 오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서에 의해 염화불화물의 대체물질이 필요하게 됨에 따라 트리클로로에틸렌의 수요가 다시 증가하게 되었다.

국내에서도 탈지공정을 포함한 다양한 산업 공정내 트리클로로에틸렌의 사용이 증가하여 2004년 1,540개소의 사업장에서 5,900여 명의 근로자가 취급하고 있으며 년 간 7,849톤이 취급되고 있다(OSHRI, 2004). 국내·외 트리클로로에틸렌 관련 연구 고찰 결과 직업적 노출에 따른 직업성 질환은 스티븐슨증후군과 같은 피부노출 가장 많이 보고되었다(Bauer & Rabens, 1974; Hong et al., 1985; Chae et al., 1999; Kang et al., 1999; Chae et al., 2003). 국내 직업병 발생 사례를 살펴보면, 2006년에 조명기구부품 공장에서의 도장과 세척공정에서 스티븐슨증후군이 최초 보고되었다

(Rho et al., 2008). 이와 같은 스티븐슨증후군은 트리클로로에틸렌을 이용한 세척작업 근로자에게 주로 발생된다. 세척작업 근로자를 대상 노출평가를 실시한 연구결과 증기탈지세척이 28.13(±5.45) ppm, 탈지세척이 40.52(±4.09) ppm, 세척 및 검사가 124.9(±31.3) ppm 수준에서 노출되는 것으로 나타났다(Lee et al., 2008; Kim et al., 2008; Hwang, 1997). 또한 스티븐슨 증후군이 발생한 작업장 3개소를 대상으로 측정한 결과 작업장-1에서는 32.3 ppm, 21.97 ppm, 작업장-2는 30.08 ppm, 15.13 ppm, 작업장-3은 107.2 ppm으로 조사되었다(Lee et al., 2008).

현재 국내·외에서 트리클로로에틸렌 취급 근로자의 건강을 보호하기 위해 트리클로로에틸렌노출기준을 10~100 ppm(TWA), 단시간노출기준 25~250 ppm(STEL)으로 설정하여 관리하고 있다. 대부분의 나라에서는 10~50 ppm 미만을 TWA 기준으로 설정하고 있다(KOSHA, 2005). 국내외 트리클로로에틸렌 노출에 의한 스티븐슨 증후군의 발생 사례는 50 ppm 미만이거나 소수 근로자에게서는 25 ppm 미만의 노출 수준에서도 발생했다는 보고가 있었다(Kamijima, 2007). 국내의 경우 트리클로로에틸렌 취급에 따른 직업병 발생 사례가 총 4건으로 유럽 및 다른 아시아 국가들에 비해 발생수가 많다. 따라서 허용기준 설정 물질인 트리클로로에틸렌을 TWA 기준으로 50ppm으로 관리하다가 2016년 2월 이후부터 10ppm으로 강화하여 현재 관리하는 것은 본 물질을 취급하는 모든 근로자의 건강장해 예방을 위해 매우 적절한 조치인 것으로 판단된다. 또한 향후 트리클로로에틸렌 관련 연구들 수행 시 본 연구 결과가 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 산업법 제39조의 허용기준 설정 유해인자 중 트리클로로에틸렌을 대상으로 작업환경 측정자료를 활용한 초과율 분석 및 관련문헌 고찰을 통해 관리수준을 파악하였으며 주요결과는 다음과 같다.

1. 트리클로로에틸렌의 평가 대상 연도에 적용되었던 국내 허용기준(50 ppm; TWA) 및 ACGIH 노출기준(10 ppm; TWA) 적용 시 초과율 및 초과 사업장을 분석한 결과, 모두 2005년 증가세를 보이다가 2008년 이

후 급격히 감소하는 경향을 나타냈다.

2. 2004년~2013년도에 적용되었던 국내 트리클로로에틸렌 허용기준(50 ppm; TWA)의 경우 2008년도에서 1.15%로 가장 높은 초과율이 나타났으며, 2011~2013년도 데이터에서 0.08%로 가장 낮은 초과율이 분석되었다.

3. ACGIH 노출기준(10 ppm; TWA) 적용시, 2008년도에서 8.37%로 가장 높은 초과율이 관찰되었으며, 2005년 데이터에서 1.98%로 가장 낮은 초과율이 분석되었다.

4. 트리클로로에틸렌 취급 근로자의 건강장해 예방을 위해 현재 트리클로로에틸렌의 관리수준을 10 ppm (TWA)으로 강화한 조치는 매우 적절한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- ACGIH. Documentation of the Threshold Limit Values and Chemical Substances. 7th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. USA. 2001
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry(ATSDR). Trichloroethylene toxicity : What is the biological fate of trichloroethylene in the body. 2015
- Bauer M, Rabens SF. Cutaneous manifestations of trichloroethylene toxicity. Arch Dermatol. 1974;110: 886-890
- Boyes WK; Bushnell, PJ; Crofton, KM; et al.: Neurotoxic and pharmacokinetic responses to trichloroethylene as a function of exposure scenario. Environ Health Perspect 108(Suppl 2):317.322 (2000)
- Chae HB, Kim JA, Lee KS, Park SM, Yoon TY, Yoon SJ. A Case of Hepatitis after Occupational Exposure of Trichloroethylene. Clin Mol Hepatol. 1999;5(1);59-64
- Chae HJ, Lee SK, Lee KJ, Kim JY, Lee SC, Shin DH, Moon JD. Exfoliative dermatitis and toxic hepatitis associated with occupational exposure to trichloroethylene. Kor J Occup Environ Med. 2003;15(1);111-117 <https://doi.org/10.3346/jkms.2010.25.S.S36>
- Cho HH, Yi KH. A study on role and status of the Occupational Safety and Health Act in Looking at the legal history. Kyungpook National University Law Journal 2011; 37:23-82
- Fred A. A history of the international chemical industry. Chemical Heritage Foundation; 2001. p. 1-16 <https://doi.org/10.1021/ed069pA103.1>
- Hong DP, Kim JS, Kim SH, Kim JM, Lee ES. A case of toxic erythema, toxic hepatitis and exfoliative dermatitis due to trichloroethylene. Kor J Dermatol 1985;23:785-790
- Hwang IK. A Study on the neuropsychiatric symptom and neurobehavioral Effects of occupational Exposure to trichloroethylene. J Prev Med Public Health 1997;9; 517-529
- Kamijima M, Hisanaga N, Wang H, Nakajima T. Occupational trichloroethylene exposure as a cause of idiosyncratic generalized skin disorders and accompanying hepatitis similar to drug hypersensitivities. International Arch Occup Environ Health 2007;80(5):357-70
- Kim JH, Ryu SJ, Kim BG, Jhun HJ, Park JT, Kim HJ. A case of trichloroethylene intoxication with neuropsychiatric symptoms. Kor J Occup Environ Med 2008;20(1):54-61
- Kim IH, Ha JH, Lee JH, Yoo KM, Rho, JH. The Relationship between the occupational exposure of trichloroethylene and kidney cancer. Ann Occup Environ Med 2014;26:12
- Kang S, Chae C, Lee N. Report of an epidemiological survey (technical support) in a Korean overseas aliated company in the Philippines (in Korean). Industrial Safety and Health Research Institute, Korea Industrial Safety Corporation, Inchon. 1999
- Lee SW, Kim EA, Kim DS, KOH DH, Kang SK, Kim BK, Kim MK. Exposure level of trichloroethylene in stevens-johnson syndrome due to occupational exposure - 3 case reports and a review of other cases. Kor J Occup Environ Med 2008 ;20(2):132-146
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Occupational safety and health acts in Korea. 2008
- Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Work Environment Survey of Manufacturing Industry in 2004. OSHRI, KOSHA. Incheon. 2005
- Rho YM, Kim CN, Hong JH, Kim KY. Study on legislation of working enviroment permissible exposure limit. Report of Korea Occupational Safety and Health 2008
- U.S. Enviromental Protection Agency(EPA). Assigning Values to Nondetected/ non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments. 2000
- Waters EM, Gerstner HB, Huff JE. Trichloroethylene. I. An overview. J Toxicol Environ Health 1977;2:971-977

<저자정보>

김기연(교수, 서울과학기술대학교 안전공학과)