

## 산업안전보건법 허용기준 대상물질의 허용기준 개정을 위한 유해성 · 위험성 평가 및 사회적 비용 · 편익 분석

김기연<sup>1</sup> · 오성업<sup>2</sup> · 홍문기<sup>3</sup> · 이권섭<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>부산가톨릭대학교 산업보건학과, <sup>2</sup>부산가톨릭대학교 환경산업보건학과

<sup>3</sup>한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

## Hazard and Risk Assessment and Cost and Benefit Analysis for Revising Permissible Exposure Limits in the Occupational Safety and Health Act of Korea

Ki Youn Kim<sup>1</sup> · Sung Eop Oh<sup>2</sup> · Mun Ki Hong<sup>3</sup> · Kwon Seob Lee<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, Pusan, Rep. of Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental and Industrial Health, Catholic University of Pusan, Pusan, Rep. of Korea

<sup>3</sup>Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency

### ABSTRACT

**Objectives:** An objective of this study was to perform a risk assessment and social cost-benefit analysis for revising permissible exposure limits for seven substances: Nickel(Insoluble inorganic compounds), benzene, carbon disulfide, formaldehyde, cadmium(as compounds), trichloroethylene, toluene-2,4-diisocyanate.

**Materials and Methods:** The research methods were divided into risk and hazard assessment and cost-benefit analysis. The risk and hazard assessment for the seven substances consists of four steps: An overview of GHS · MSDS(1st), review of document of ACGIH's TLVs (2nd), comparison between international occupational exposure limits and domestic permissible exposure limits(3rd), and analysis of excess workplace and excess rate for occupational exposure limits based on previous work environment measurement data(4th). Total cost was estimated using cost of local exhaust ventilation, number of excess workplace and penalties for exceeding a permissible exposure limit. On the other hand, total benefit was calculated using the reduction rate of occupational disease, number of workplaces treating each substance and industrial accident compensation. Finally, the net benefit was calculated by subtracting total cost from total benefit.

**Results:** All the substances investigated in this study were classified by CMR(Carcinogens, Mutagens or Reproductive toxicants) and their international occupational exposure limits were stricter than the domestic permissible exposure limits. As a result of excess rate analysis, trichloroethylene was the highest at 11%, whereas nickel was the lowest at 0.5%. The excess rates of all substances except for trichloroethylene were observed at less than 10%. Among the seven substances, the total cost was highest for trichloroethylene and lowest for carbon disulfide. The benefits for the seven substances were higher than costs estimated based on strengthening current permissible exposure limits. Thus, revising the permissible exposure limits of the seven substances was determined to be acceptable from a social perspective.

**Conclusions:** The final revised permissible exposure limits suggested for the seven substances are as follows: 0.2 mg/m<sup>3</sup> for nickel, 0.5 ppm(TWA) and 2.5 ppm(STEL) for benzene, 1 ppm(TWA) for carbon disulfide, 0.01 mg/m<sup>3</sup>(TWA) for cadmium, 10 ppm(TWA) and 25 ppm(STEL) for trichloroethylene, 0.3 ppm(TWA) for formaldehyde, and 0.005 ppm(TWA) and 0.02 ppm(STEL) for toluene diisocyanate(isomers).

**Key words:** assessment, chemical substances, cost-benefit analysis, hazard, permissible exposure limit, risk

\*Corresponding author: Kwon Seob Lee, Tel: 042-869-0312, E-mail: lks0620@hanmail.net

Chemical Safety and Health Research Center, Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, 339-30, Exporo Yuseong-Gu, Daejeon 305-380

Received: April 2, 2015, Revised: June 10, 2015, Accepted: June 16, 2015

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

산업과 과학기술이 발전함에 따라 화학물질의 종류와 사용량이 증가하고 있으며 현재 전 세계적으로 9천4백만종 이상의 화학물질이 개발되어진 것으로 알려져 있다(American Chemical Society, 2015). 이 중 상업적으로 유통되면서 규제되고 있는 화학물질(Regulated chemicals)은 약 31만여종이다. 국내에서도 4만4천종 이상의 화학물질이 기존화학물질로 등록되어 유통되었거나 사용되고 있으며, 매년 약400여종의 새로운 화학물질이 사용되고 있다(MoE, 2012). 국내 화학산업의 생산액은 2006년 기준 약 89조원으로 제조업 총 생산의 9.8%, 수출액은 294억불로서 국내 총 수출의 11%를 점유하고 있어 국내경제 뿐만 아니라 인류의 생명 연장, 식량의 획기적인 증산, 풍족한 의복 생활을 통하여 인류복지를 증진시키고 생활수준을 개선하는데 많은 기여하였다는 점에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(Phee et al., 2011). 이와 같이 화학물질은 여러 가지 사용상의 이점에도 불구하고 그 유해·위험성으로 인하여 각종 직업병과 안전사고의 발생 및 환경오염으로 인체의 건강과 환경을 해치는 주원인으로 지목되고 있다(Lee et al., 2008).

화학물질 유통량 증가와 더불어 화학물질 제조 및 사용량이 증가하고 있어, 그에 따른 건강상 영향도 다양해진다. 화학물질 노출의 직접적인 피해자는 작업장에서 화학물질을 취급하는 근로자이다. 우리나라의 작업장에서는 매년 약 400여건의 중독 및 질식 등 유해화학물질 관련 사고가 발생하고 있으며, 약 30여명의 사망자가 발생하고 있다. 2010년 업무상질병 발생현황을 보면, 전체 업무상 질병 중 유해화학물질에 의한 중독 및 질식 사고는 약 6%인 462건이었으며, 전년도에 비하여 사고 사망자가 18.2%, 부상자가 5.5% 증가되었음을 알 수 있다(KOSHA, 2011). 국내 화학물질로 인해 사고가 발생하고 있으며 대표적인 사건으로는 1980년 원진레이온의 이황화탄소 중독사고부터, 1995년 국내 모 전자회사의 2-브로모프로판에 의한 생식 기능 장애 사건, 1996년 DMF 사용 근로자의 급성독성 간염, 2005년 노말렉산에 의한 말초신경계 손상, 그리고 2006년 TCE에 의한 스티븐존슨 증후군, 2011년 가습기의 오염방지를 위해 사용된 살균제로 인하여 산모 등이 원인 미상 폐

질환으로 100명 넘게 사망한 사건, 2012년 구미에서 발생한 불산 가스 누출사건으로 인해 피해규모 177억원, 근로자가 5명이 사망하고, 18명이 부상이 있었다. 이에 대해 고용노동부는 화학물질 노출로 인한 근로자의 건강장해 예방을 위해 11개 법조항에 근거하여 화학물질을 분류하고 관리하도록 하고 있으며, 허용기준 대상물질의 경우 산업안전보건법 제39조의 2에 의해 관리되어지고 있다. 선진외국의 경우 유해화학물질의 규제수준 및 관리수준에 대해 재검토 연구가 진행되고 있으며, 국내에도 노출기준 설정물질을 대상으로 지속적인 개정연구가 수행되어 왔다. 하지만 허용기준 설정대상 물질의 경우에는 “작업환경 허용기준 제도 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구” 이외에는 수행된 적이 없으며, 상대적으로 허용기준 대상물질과 관련 연구가 부족한 상태이다(Rho et al., 2008).

따라서, 본 연구에서는 안전보건공단 화학물질 평가 실무위원회에서 선정한 산업안전보건법 제39조의 2에 허용기준 설정물질 13종 중 7종을 대상으로 유해·위험성 평가 및 산업재해예방 효과, 사업장내 경제적 부담 등 사회·경제성 평가를 수행하고, 본 결과를 근거로 조사 대상 물질들에 대한 최종 개정안을 제시하고자 한다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 화학물질 평가 실무위원회(안전보건공단 연구원)에서 허용기준 설정대상 유해인자 13종 중 허용기준의 강화가 필요하다고 판단되는 6종(니켈(불용성화합물), 벤젠, 포름알데히드, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌)을 선정하였다. 그리고 본 연구진에서 추가적인 검토를 통해 TDIs를 포함한 총 7종 물질을 대상으로 하였다(Table 1).

### 2. 연구 방법

#### 1) 유해·위험성 평가

유해·위험성 평가의 경우 크게 네 가지로 분류하여 평가하였다. 첫째, 선정 물질에 대한 건강 유해성 분류는 고용노동부 고시 제2013-37호 “화학물질의 분류표

**Table 1.** Current permissible exposure limits for 7 substances investigated in this study

Chemical Name (CAS No.)	Permissible Exposure Limit	
	TWA (ppm, mg/m <sup>3</sup> )	STEL (ppm, mg/m <sup>3</sup> )
Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	0.5	-
Benzene (71-43-2)	1	-
Carbon disulfide (75-15-0)	10	-
Cadmium (as compounds) (7440-43-9)	0.03	-
Trichloroethylene (79-01-6)	50	200
Formaldehyde (50-00-0)	0.5	1
Toluene diisocyanate (554-54-9)	0.005	0.02

시 및 물질안전보건자료에 관한 기준의 건강 유해성 분류기준”을 적용하였으며(MoEL, 2013), 둘째, 국외노출기준과의 비교를 통해 국외 법적 관리 수준 및 국내 현 관리수준을 파악하였다. 셋째, 각 물질별 2009년, 2011년, 2013년 3년간의 작업환경측정 자료를 활용한 취급 근로자의 노출양상 파악 및 허용기준 초과 가능성 분석을 실시하였다. 넷째, 국외의 경우 허용기준 관련 제·개정 연구가 매년 진행되고 있으며, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH) 양식으로 연구결과가 제시되고 있는 상황이다(ACGIH, 2014). 본 연구 자료를 이용해 국외의 규제수준 제·개정 연구 사례를 조사하였다.

## 2) 사회·경제성 평가

사회·경제성 평가 실시 전 본 연구진에서는 관련 선행연구 고찰을 실시하였다. 그 결과 연구자들에 따라 평가방법을 달리 하였으며, 국내에는 아직 화학물질 관련 분야에 대한 표준화된 사회경제성 평가 방법이 없다. 따라서 본 연구진에서는 선정된 방법에 대해 적절성 검토 후 다음과 같은 방법으로 비용·편익 분석을 실시하였다.

### (1) 비용항목 선정 및 산출방법

근로자의 건강장해 예방 및 방지를 위해 시설설비의 설치 또는 개선 등 필요한 조치 비용 항목은 본 연구의 경우 해당 물질의 관리수준이 변경되는 것이 아니라 규제 기준치의 변경이므로 비용이 추가적으로 발생되지 않고, 기존에 발생하던 비용이 증가하게 된다. 따라서 일반적인 공학적 대책인 국소배기 장치 관련 비용(국소배기 장치 유지관리비, 송풍기 추가비용)과 허용기준 초과시 발생하는 과태료를 비용항목으로 선정하였다. 비용 산출방법에는 1년 단기적 기준, 10년 장기적 기준으로 분류하여 허용기준 초과 사업장, action Level 수준 초과 사업장을 대상으로 총 비용을 산출하였다(식 1 참조).

$$\text{식(1).}^1 \text{ 허용기준초과사업장} = (A/C + M/C + E/F) * N/W$$

$$^2 \text{ Action Level 초과사업장} = (A/C + M/C) * N/W$$

- M/C: 국소배기장치유지관리비용

- A/C: 송풍기추가비용

- E/F: 허용기준초과시과태료

- N/W: 초과사업장수

- 10년기준: M/C\*10

### (2) 편익항목 선정 및 산출방법

선정된 7가지 물질의 허용기준 변경에 따른 발생될 편익 항목은 직업병 저감율의 경우 산업보건 전문가 44명을 대상으로 허용기준 강화에 따른 직업병 저감율에 관련하여 1차, 2차 델파이 설문 조사를 실시하여 산정하였다. 산업재해 보상금은 연간 화학물질 1종당 직업병 보상비용과 화학물질 직업병 질병자수 비율을 통해 산출하였다(Kim et al., 2014). 2009년 작업환경실태조사 결과에 근거하여 취급 근로자 수는 노출수준이 상대적으로 높은 action Level 초과 사업장 근로자를 대상으로 산정하였다. 편익도 비용과 동일하게 10년 장기적 기준을 고려하여 산출하였으며, 허용기준 강화시 현재 직업병 저감율이 시간이 지남에 따라 더욱 증가할 것을 가정하여 누적 직업병 저감율을 적용하여 산출하였다(식 2 참조). 순편익의 경우 앞서 설명했던 방법을 통해 산출된 총 편익에서 총 비용의 차를 통해 나타냈으며, 해당 결과를 통해 최종적으로 사회·경제성 평가를 실시하였다.

식(2)... 총 편익산출 =  $O/R^* I/C^* H/W$   
 $O/R$ : 직업병저감율  
 $I/C$ : 직업병산재보상금  
 $H/W$ : 취급근로자수  
 10년기준:  $O/R^*10$   
 순 편익산출 :  $T/B - T/C$   
 $T/B$ : 총 편익  
 $T/C$ : 총 비용

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 유해·위험성 평가

##### 1) GHS·MSDS 검토

선정 7가지 물질을 대상으로 한국산업안전보건공단에서 제공하는 물질안전보건자료(Globally Harmonized of Classification Labelling of Chemicals - Material Safety Data Sheet, GHS-MSDS) 분류 기준에 따라 분류하였다. 국내 화학물질의 유해성·위험성 평가 지침에서는 허용기준 설정대상 물질에 대해 “유해성이 확인, 위험성이 결정되며, 국내에서 직업병이 발생되었던 물질로 사회경제성평가 결과 허용기준설정의 필요성이 인정되는 유해인자, 측정 및 분석방법이 존재하고 평가 결과의 해석이 가능한 유해인자”로 설명하고 있다. Table 1, 2에서 확인할 수 있듯이 공통적으로 발암성, 생식세포 변이원성 및 생식독성 물질(Carcinogens, Mutagens or Reproductive toxicants, CMR)에 해당되며, 과거 직업병 발생이 2회 이상이거나 사회적 물의를 일으켰던 물질이라는 것을 확인할 수 있다. 검토 결과 해당 7가지 물질 취급 근로자의 건강 예방을 위해 허용기준 강화의 필요성이 충분하다고 판단된다.

##### 2) 국내·외 노출기준과의 비교

Table 4는 선정 7가지 물질을 대상으로 국내·외 허용기준을 정리하여 나타냈다. 니켈의 경우 국내에서는  $0.5 \text{ mg/m}^3$ 으로 관리되고 있지만, 국외의 경우 상대적으로 강화된 수준으로 관리되고 있었다. 벤젠은 국내 1 ppm이며, 아일랜드, 일본, 영국, 미국직업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)에서는 국내와 동일한 수준으로 관리하고 있었고, ACGIH를 포함한 3개국에서는 국내의 절반 수준으로

**Table 2.** Chemical classification of 7 substances based on GHS/MSDS

Chemical name (CAS No.)	Result of GHS·MSDS chemical classification
	GHS·MSDS
Cadmium as compounds (7440-43-9)	Acute toxicity(oral) : 4 Acute toxicity(inhalation) : 1 Carcinogenic : 1A Mutagenicity : 2 Reproductive toxicity : 2 *STOT(Single exposure) : 1 *STOT(Single exposure) : 1 *HAE(Acute toxicity) : 1 *HAE(Chronic toxicity) : 1
Carbon disulfide (75-15-0)	Flammable liquids : 2 Acute toxicity(inhalation) : 2 Skin corrosion/irritation : 2 Serious eye damage irritation : 2 Mutagenicity : 2 Reproductive toxicity : 1B *STOT(Single exposure) : 1 *STOT(Single exposure) : 3 *STOT(Single exposure) : 3 *STOT(Single exposure) : 2 *STOT(Repeated exposure) : 1 Aspiration hazard : 2 *HAE(Chronic toxicity) : 2
Trichloroethylene (79-01-6)	Skin corrosion/irritation : 2 Serious eye damage irritation : 2 Carcinogenic : 1B Mutagenicity : 1B Reproductive toxicity : 2 *STOT(Single exposure) : 3 *STOT(Single exposure) : 3 *STOT(Repeated exposure) : 1 Aspiration hazard : 2 *HAE(Chronic toxicity) : 3

\* STOT : Specific target organ toxicity

\* GUP : Gases under pressure

\* HAE : Hazardous to the aquatic environment

관리되어지고 있었다. 국내에서는 포름알데히드를  $0.5 \text{ ppm}$ 으로 시간가중평균치(Time Weight Average, TWA)로 관리하고 있었다. 하지만, 국외의 다수 국가에서는 천정치(Ceiling)로 관리되어지고 있다. 카드뮴 및 그 화합물의 경우 국내 허용기준은  $0.03 \text{ mg/m}^3$ 으로 설정되어 있다. 그러나 노출기준에서는  $0.01 \text{ mg/m}^3$ 으로 관리되고 있으며, 국외의 경우 노출기준과 허용기준을 동일한 수준으로 관리되고 있다. 국내에서도 규제수준이 다른 물질을 대상으로 기준을 통일화 하는 연구가 필요하다. 현재 국내에서는 2,6-TDI에 대한 허용기준은 설정되어 있지 않으며, 2,4-TDI에 대해서만 허용기준을 적용하고 있다. 호흡기계(천식)에 가장 큰 영향을 미치

**Table 3.** Chemical classification of 7 substances based on GHS/MSDS(Continued)

Chemical name (CAS No.)	Result of GHS · MSDS chemical classification
	GHS · MSDS
Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	Respiratory sensitization : 1 Skin sensitization : 1 Carcinogenicity : 2 *STOT(Single exposure) : 1 *STOT(Repeated exposure) : 1
Benzene (71-43-2)	Flammable liquids : 2 Acute toxicity(oral) : 4 Skin corrosion/irritation : 2 Serious eye damage irritation : 2 Carcinogenic : 1A Mutagenicity : 1B Reproductive toxicity : 2 *STOT(Single exposure) : 1 *STOT(Single exposure) : 3 *STOT(Repeated exposure) : 1 Aspiration hazard : 1 † HAE : 3
Formaldehyde (50-00-0)	* GUP : 1 Acute toxicity(oral) : 3 Acute toxicity(skin) : 3 Acute toxicity(inhalation) : 1 Skin corrosion/irritation : 2 Serious eye damage irritation : 2 Respiratory sensitization : 1 Skin sensitization : 1 Carcinogenic : 1A Mutagenicity : 2 STOT(Single exposure) : 1 STOT(Single exposure) : 1
Toluene-2,4-diisocyanate (584-84-9)	Acute toxicity(oral) : 2 Skin corrosion/irritation : 2 Serious eye damage irritation : 2 Respiratory sensitization : 1 Skin sensitization : 1 Carcinogenic : 2 *STOT(Single exposure) : 1 *STOT(Single exposure) : 3 † HAE(Chronic toxicity) : 3

\* STOT : Specific target organ toxicity

† GUP : Gases under pressure

‡ HAE : Hazardous to the aquatic environment

는 TDI는 Isocyanate 산업의 90%를 차지하며, 생산량은 꾸준히 증가하는 추세이다. 또한 TDI를 사용하는 거의 대부분의 사업장에서 2,4-TDI와 2,6-TDI의 혼합물을 사용하고 있으며, 국내에서 최근 2000년 이후에 직업병으로 심의된 사례 중 직업성천식이 23건으로 가장 많았으며, TDI에 의한 것이 절반 수준이라고 보고되고 있다. TDI의 노출기준을 2,4-TDI 또는 2,6-TDI(또는

혼합물)에 대해 TLV-TWA 0.005 ppm, TLV-STEL 0.02 ppm, 감작제(Sensitizer)로 개정 할 경우 현재 2,4-TDI에 대해서만 설정된 노출기준보다 강화되는 기준이다. 따라서 2,6-TDI에 대한 천식 등의 호흡기 장애를 예방하기 위해서 2,6-TDI와 함께 2,4-TDI와의 혼합물에 대한 노출기준 규제가 필요하다. 국내에서는 이황화탄소 10 ppm, 트리클로로에틸렌은 50 ppm으로 관리되고 있으며, 국외의 경우 국내 허용기준의 절반수준보다 더 엄격히 관리되어 지고 있다. 이황화탄소의 경우 일반 제조업 사업장외에도 작업환경측정기관의 분석실에서 빈번히 사용되는 물질이므로 허용기준에 대한 추가적인 검토가 빠른 시일 내에 이루어져야 한다. 트리클로로에틸렌도 CMR 물질로 유해·위험성이 잘 알려져 있는 물질이다. 하지만 국내 허용기준은 50 ppm으로 국외 다른 나라와 비교했을 때, 저농도로 관리되고 있다. 7가지 물질을 대상으로 국외 허용기준 비교 결과 전반적으로 모든 물질이 국외에 비해 농도가 낮게 관리되고 있었다. 허용기준 물질의 경우 인체 위험성이 잘 알려져 있는 물질로 현재 설정된 기준에 대해 재검토 연구가 실시되어야 한다.

### 3) 작업환경측정 자료를 활용한 초과사업장 및 초과율 분석

7가지 선정된 물질을 대상으로 작업환경측정 자료를 활용하여 현 허용기준, 예비 개정 허용기준 두 가지 조건에서 초과 사업장 및 초과율을 분석 하였다 (Figure 1,2), (Table 5). 먼저 Table 5는 가장 최근 자료인 2013년도 작업환경측정 자료를 통해 현행 허용기준 및 예비 개정기준 적용시 초과율 분석을 실시 하였다. 전체적으로 10% 미만의 초과율을 나타내며, 트리클로로에틸렌의 경우 예비 개정기준 적용시 10% 이상의 초과율이 분석되었다. 이황화탄소는 예비 개정기준과 비교시 초과 사업장은 많지 않지만 전체 사업장 수가 적어 높은 초과율이 산출된 것으로 생각된다. 현 국내 허용기준 적용시 물질별 사업장 분석 결과, 시간이 지남에 따라 초과 사업장이 감소하는 추세를 보이며 니켈과 이황화탄소는 모든 측정 자료에서 초과하는 사업장이 분석되지 않았다. 벤젠의 경우에도 2013년 측정 자료에서 한 개소도 초과하지 않았다. 6가지 물질과 비교시 TDI에서 상대적으로 많은 초과 사업장이 관찰되었으며, 2,6-TDI와

**Table 4.** Comparison between foreign occupational exposure limits and domestic permissible exposure limits for 7 substances

Chemical name (CAS No.)	Country name								
	Korea	ACGIH	Canada	Ireland	Japan	Sweden	U.K	NIOSH	OSHA
	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL	TWA STEL
<sup>†</sup> Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	0.5	0.2	0.05	0.5		0.1	0.5	0.015	1
<sup>*</sup> Benzene (71-43-2)	1	0.5 2.5	0.5 2.5	1	1	0.5 3	1	0.1 1	1 5
<sup>*</sup> Formaldehyde (50-00-0)	0.5 1	0.3 (Ceiling)	0.3	2 2	0.5	0.5 1 (Ceiling)	2 2	0.015 0.1 (Ceiling)	0.75 2
<sup>*</sup> Toluene-2,4- diisocyanate (584-84-9)	0.005 0.02	0.005 0.02	0.005 0.01 (Ceiling)	0.02 0.07	0.005 0.02 (Ceiling)	0.002 0.005 (Ceiling)	0.02 0.07		0.02 (Ceiling)
<sup>†</sup> Cadmium as compounds (7440-43-9)	0.03	0.01	0.01	0.025	0.05		0.025		0.005
<sup>*</sup> Carbon disulfide (75-15-0)	10	1	4 12	10	10	5 8	10	1 10	20 30
<sup>*</sup> Trichloroethylene (79-01-6)	50 200	10 25	10 25	50 100	25	10 25	100 150	25	100 200

Unit : <sup>\*</sup> ppm, <sup>†</sup> mg/m<sup>3</sup>

**Table 5.** The number and rate of excess workplace for permissible exposure limit

Chemical Name (CAS NO.)	Number of total workplace	Number of excess workplace		Ratio of excess workplace(%)	
		<sup>†</sup> C.P	<sup>‡</sup> R.P	C.P	R.P
Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	1,245	0	6	0	0.5
Benzene (71-43-2)	576	0	9	0	1.6
Carbon disulfide (75-15-0)	44	0	4	0	9.1
Cadmium (as compounds) (7440-43-9)	258	1	8	0.4	3.1
Trichloroethylene (79-01-6)	2,453	2	270	0.1	11
Formaldehyde (50-00-0)	1,745	2	37	0.1	2.1
Toluene diisocyanate (554-54-9)	692	3	11	0.4	1.6

<sup>†</sup> C.P : Current permissible exposure limit

<sup>‡</sup> R.P : Revised permissible exposure limit

같이 TDI 혼합물로 분석시 더 높은 초과 사업장이 분석될 것으로 판단된다(Figure 1). 또한, 현행 허용 기준 적용시 모든 물질의 2013년 측정자료에서 초과

하는 사업장이 10개소 미만이며, Kim(2011)에 연구 결과에 따르면 벤젠의 경우 노출기준 이하에서도 백혈병이 발생한다고 한다. 취급 근로자의 건강예방적

인 측면에서 현 기준에 대해 강화가 필요하다고 판단된다.

아래 Figure 2는 작업환경측정자료에 예비 개정기준(ACGIH 기준)을 적용하여 초과 사업장을 분석한 결과이다. Figure 1과 동일하게 시간이 지남에 따라 초과 사업장이 감소하는 경향을 보였으며, 전체적으로 초과 사업장의 수가 증가하였다. 니켈과 이황화탄소의 경우 개정기준에 따른 초과 사업장이 가장 낮게 증가 되었으며, 측정자료 결과가 다른 물질에 비해 상대적으로 낮았던 것으로 판단된다. 트리클로로에틸렌은 다른 물질에 비해 초과 사업장이 가장 많이 증가하였고, 이는 현재 허용기준에서 상당히 강화된 수준으로 개정되어 분석된 결과라 생각된다. 그리고 기존 측정결과내 측정농도가 유사한 범위에 분포하여 초과 사업장이 높게 나타난 것으로 확인된다.

데이터 분석 결과 공통적으로 2009년 측정 자료에서 가장 높은 초과사업장이 발생된 것을 확인할 수 있으며, 2008년 허용기준 제도 도입 이후 초과 사업장이 감소하는 경향이 관찰되었다.

#### 4) ACGIH TLV/BEI document 고찰

매년 ACGIH에서는 화학물질을 대상으로 규제수준 및 관리수준 재검토 연구가 지속적으로 수행되며, 유해·위험성 확인 작업도 동시에 수행되고 있다. 선정 7가지 물질에 대한 ACGIH document 고찰을 통해 TLV 설정 근거에 대해 검토하였다. 먼저 니켈의 경우 1966년에  $1 \text{ mg/m}^3$ 으로 관리되었지만, 직업적 니켈 노출에 따른 취급 근로자의 폐암 및 부비강염의 증가로 현재 노출기준인  $0.2 \text{ mg/m}^3$ 으로 개정되었다. 니켈은 주로 스테인리스 생산, 화폐제조 및 알카라인

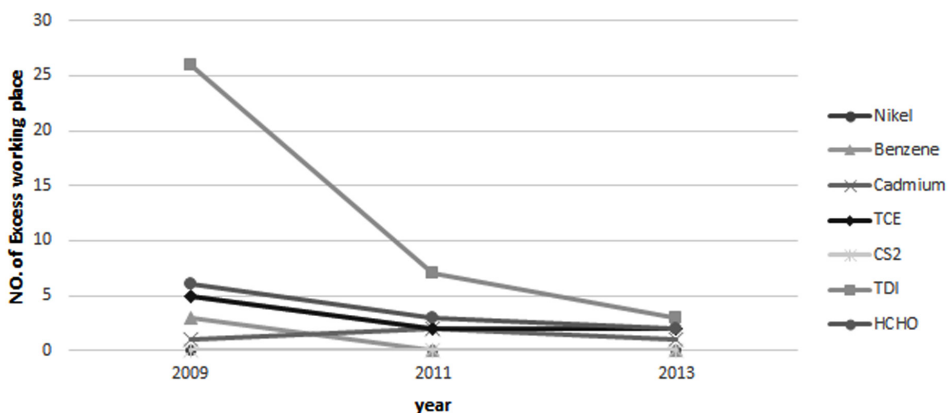


Figure 1. Trend of yearly workplace exceeding current permissible exposure limit for 7 substances

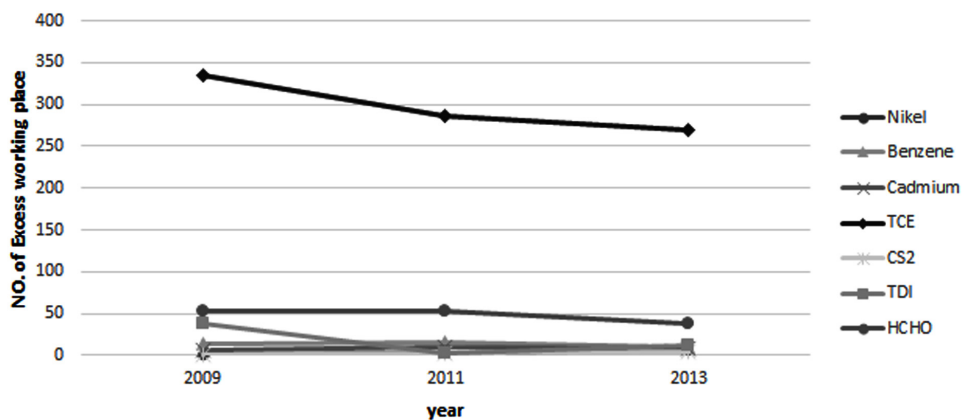


Figure 2. Trend of yearly workplace exceeding revised permissible exposure limit for 7 substances

배터리 생산에 사용되며, 석유 정제에도 이용되기도 한다. ACGIH document에서는 니켈 취급 근로자의 폐암 및 부비강암을 최소화하기 위해 0.2 mg/m<sup>3</sup>으로 TLV를 권고하고 있다. 벤젠은 화학 산업에서 수많은 유기화학 원료로 사용되고 있으며, 1946년 벤젠 노출기준으로 최초 100 ppm 제정하였으며, 1996년 현재 벤젠 노출기준인 0.5 ppm(TWA) 2.5 ppm(STEL)으로 개정하여 관리하고 있다. 본 수치는 벤젠에 직업적 노출에 따른 조혈계 독성으로 인한 백혈병 발병을 최소화하기 위해 설정되었다. BEI에서도 소변 내 S-phenylmercapturic acid 25 µg/g creatinine, 소변 내 t,t-muconic acid 500 µg/g creatinine으로 권고하고 있으며, 만성 노출에 따른 골수성 백혈병 최소화를 위해 제안하고 있다. 이황화탄소는 주로 비스코스 레이온 제조와 셀룰로오스 크산 테이트 생산시 반응물로 사용되었다. 또한, 미국 환경 보호청에서 실시한 배출량 조사에서 28,076,109로 높은 대기 배출량을 보고하고 있다(EPA, 2002). 1946년 20 ppm으로 최초 설정 되었으며, 1978년 현재 국내 허용기준인 10 ppm에서 2005년 1 ppm으로 최종 개정되었다. 해당 수치는 신경계를 포함한 모든 조직계 장애 예방을 위해 설정되었다. 소변 내 2-Thioxothiazolidine-4-carboxylic acid(TTCA)를 대사산물로 0.5 µg/g creatinine으로 TLV와 동일한 수준으로 관리되고 있다. 카드뮴의 경우 다른 금속 코팅 등 합금 작업시 이용되고, 베어링, 플라스틱 안정제, 반도체와 같은 제품 제조에 사용된다. 1970년 0.1 mg/m<sup>3</sup>(C)으로 최초 제정되었으며, 1990년 0.01 mg/m<sup>3</sup>(충분진), 0.002 mg/m<sup>3</sup>(호흡성분진)으로 개정된 후 현재까지 동일한 수준으로 관리되고 있다. 국내 카드뮴 허용기준의 경우 현재 0.03 mg/m<sup>3</sup>으로 관리되고 있으며, 노출기준은 ACGIH와 동일하게 0.01 mg/m<sup>3</sup>으로 설정되어 있다. 이처럼 국내에는 동일한 물질임에도 불구하고, 규제기준치가 달리 설정된 경우가 다수 존재하며, 추가 검토를 통해 물질별 기준치 통일이 필요하다고 판단된다. ACGIH TLV에서는 카드뮴 노출기준 0.01 mg/m<sup>3</sup>(충분진), 0.002 mg/m<sup>3</sup>(호흡성분진)으로 분류하여 관리하고 있고, 이는 직업적 노출에 따른 신장 기능 장애 유발 최소화 및 폐암 유발 가능성 저감을 위해 설정되었다. 생물학적 노출 지표(Biological Exposure Limit, BEI)에서는 요 중 카드뮴 5 µg/g creatinine, 혈 중 카

드뮴 5 µg/L로 권고하고 있으며, 신장 및 폐 관련 기능 장애 예방을 위해 설정되었다.

증기 탈지 및 식품가공 용매로서 트리클로로에틸렌은 주로 사용되었다. 과거 병원 의료와 관련하여 많이 이용되었지만, 최근 사용이 제한되었다. Boyes et al.(2000)의 연구결과에 따르면, 트리클로로에틸렌 증기에 노출시 가역적 중추 신경계 질환이 발생되고, 높은 농도의 트리클로로에틸렌에 노출될 경우 신장암 등 발암도 유발될 수 있다고 보고되었다. 1946년 200 ppm으로 제정되었으며, 1980년 현재 국내 트리클로로에틸렌 허용기준인 50 ppm으로 개정되었고, 2006년 현재 노출기준인 10 ppm(TWA), 25 ppm(STEL)으로 개정되어 관리되고 있다. 해당 수치는 신장독성 및 신장암, 중추신경계의 악영향 예방을 위해 설정되었다. BEI에서는 요 중 트리클로로에탄올 15 mg/L, 혈 중 트리클로로에탄올 0.5 mg/L로 권고하고 있으며, TLV-TWA 10 ppm과 동일한 수준으로 보호한다. 폼알데하이드는 미국 모든 화학물질 중 23번째 생산량이며 유기물 중 10번째를 차지하고 있다. 직업적인 노출이외에도 합판제조 및 파티클보드, 섬유직물 제조 등 일반 건축자재에도 많이 포함되며, 이로 인해 SBS(Sick Building Syndrome) 등 실내 공기 중에도 많이 발생되고 있다. ACGIH에서도 폼알데하이드의 TLV에 대해 많은 개정이 이루어졌으며, 1948년 5 ppm(TWA)로 제정되었지만, 많은 연구자들의 연구결과에 따라 0.3 ppm(C)으로 최종 개정되었으며, 직업 노출 뿐 아니라 다른 환경 조건 노출에 따른 자극 증세 감소를 위해 권고되었다(Kane & Alarie, 1977; Gough, 1984). TDI의 경우 주로 발포제 제조에 사용되며, 완성품 들은 가구, 포장, 절연 등 여러곳에서 응용되어 사용되어진다. 그에 따라 노출 경로도 다양하며, 일반 작업장에서 사용되는 TDI는 2,4-TDI 80%, 2,6-TDI 20%로 이루어져있다. 하지만 두 물질의 상가 작용으로 더 높은 독성이 발생되게 된다. 1959년 ACGIH에서도 국내와 동일하게 2,4-TDI 만을 0.1 ppm으로 설정하여 관리하였으며, 이후 1998년 Diem et al.(1982)은 TDI 생산 근로자를 대상으로 5년간의 중단 연구결과를 근거로 TDI 혼합물로서 0.005 ppm(TWA) 0.02 ppm(STEL) 개정하였으며, 현재까지 동일한 수준으로서 관리되어지고 있다. 이는 직업적 노출에 따른 천식 및 급성



발작, 폐렴 및 폐부종 등 호흡기계 질환 예방을 위해 설정되었다.

## 2. 사회·경제성 평가

### 1) 총 비용 산출 결과

Table 6은 선정 7가지 물질을 대상으로 산출된 비용을 정리한 표이다. 비용의 경우 물질별 발생하는 비용은 동일하며, 작업환경측정결과에 따른 초과 사업장 수에 따라 비용결과에서 차이가 나타난다. 다른 물질에 비해 상대적으로 초과사업장이 높았던 트리클로로에틸렌의 경우 비용 산출결과 가장 높게 산출되었다. 이는 Figure 1에서 확인 할 수 있듯이 초과사업장이 많아 나타난 결과라 판단된다. 예비 개정기준(ACGIH 노출기준)도 다른 물질에 비해 더욱 강화된 수준으로 선정되어 비용이 높게 산출되었다. 다음으로 포름알데히드, 톨루엔 디이소시아네이트, 벤젠, 카드뮴, 니켈 순으로 높게 나타났으며, 초과 사업장

이 가장 낮았던 이황화탄소는 비용 산출 결과가 가장 낮게 분석되었다. 톨루엔 디이소시아네이트는 개정기준으로 비용 산출시 다른 물질보다 비용 증가율이 높았으며, 대략 4-5배 정도 증가하는 경향이 나타났다. 톨루엔 디이소시아네이트이 경우 개정기준 비용 산출시 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 와 톨루엔-2,6-디이소시아네이트 측정값을 합하여 적용하였기 때문에 비용 증가율이 보다 높게 산출된 것으로 생각된다. 니켈 및 벤젠, 이황화탄소 산출결과 중 현재 허용기준 적용시 비용이 산출되지 않는 것으로 관찰되었으며, Figure 1,2에서 나타나듯이 현행 기준에서 초과 사업장이 한 개소도 분석되지 않아 비용이 산출되지 않는 것으로 판단된다.

### 2) 총 편익 산출 결과

Table 6은 선정 7가지 물질을 대상으로 편익을 산출한 결과이다. 편익 산출은 산재 보상금은 물질별로

**Table 6.** Estimation of net benefit in seven substances regulated with permissible exposure limit

Classification Chemical Name (CAS NO.)	Benefit		Cost								Net benefit							
			1 year				10 years				1 year				10 years			
	1 year	10 years	† C.P		‡ R.P		C.P		R.P		C.P		R.P		C.P		R.P	
			*E.W	*A.L	E.W	A.L	E.W	A.L	E.W	A.L	*E.W	*A.L	E.W	A.L	E.W	A.L	E.W	A.L
Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	53	536	0	1	9	13	0	11	29	53	53	51	44	40	536	524	506	482
Benzene (71-43-2)	242	2,427	0	5	14	44	0	35	44	241	242	237	228	198	2,427	2,391	2,382	2,382
CS <sub>2</sub> (75-15-0)	28	281	0	0	6	6	0	0	19	19	28	28	21	21	281	281	261	261
Cadmium (as compounds) (7440-43-9)	52	522	1	5	12	14	4	28	39	51	50	47	39	37	517	493	482	471
TCE (79-01-6)	2,183	21,831	3	43	458	572	9	274	1,419	2,173	2,179	2,139	1,724	1,610	21,821	21,556	20,411	19,657
HCHO (50-00-0)	766	7,662	3	30	59	146	9	187	183	759	763	736	619	707	7,652	7,475	7,479	6,903
TDI (554-54-9)	204	2,045	4	10	17	40	14	50	54	204	199	194	186	164	2,030	1,994	1,990	1,840

(unit : ten million won)

† C.P : Current permissible exposure limit

‡ R.P : Revised permissible exposure limit

\* E.W : Excess workplace

+ A.L : Excess workplace(action level)

동일하게 적용되며 직업병 저감율에 대한 1, 2차 델파이 설문조사 결과와 2009년 작업환경실태조사 결과 내 취급 근로자수에 따라 산출 결과에서 차이가 나타난다. Table 5에서 다른 물질에 비해 비용 산출 결과가 높았던 트리클로로에틸렌의 경우 많은 취급 근로자 수(1,207명)로 인해 편익 또한 가장 높게 산출되었다. 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔 디이소시아네이트, 니켈, 카드뮴 순으로 높게 나타났으며, 비용결과와 동일하게 이황화탄소에서 편익 산출결과가 가장 낮게 분석되었다. 비용적인 측면에서는 크게 높게 산출되지 않았던 벤젠은 취급 근로자 수 및 직업병 저감율이 높아 비용결과와 비교시 높은 편익이 분석되었다. Table 6을 통해 산출된 비용 및 편익 결과를 근거로 Table 8에서는 순 편익을 통해 최종적인 사회경제성 평가를 실시하였다.

### 3) 순 편익 산출 결과

Table 6에서는 선정 7가지 물질의 총비용, 총편익 및 순편익 산출결과를 나타냈다. 분석결과 순편익이 높게 산출될시 물질 개정에 따른 비용적인 측면보다 편익이 더 높게 발생될 것으로 예측되며, 개정 기준에 대한 사회경제적인 측면에서의 수용 여부를 판단할 수 있다. Table 7에서 나타나듯이 모든 물질에서 순편익이 높게 산출되었고, 다른 물질에 비해 상대적으로 많은 비용이 산출된 트리클로로에틸렌은 편익 또한 가장 높게 산출되어 평가 결과 순편익 또한 가장 높게 산출되었다. 다음으로 포름알데히드의 순편익이 높게 산출되었고, 비용에 비해 편익이 높게 산출되었던 벤젠의 경우 편익과 비용 간 결과에서 큰 차이가 나타나지 않아 가장 세 번째로 높게 산출되었다. 톨루엔 디이소시아네이트는 비용적인 부분에서 벤젠보다 더 높게 산출되었지만, 비용에 비해 편익이 높지 않아 다음과 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다. 비용 및 편익 산출 항목에서 유사한 결과를 나타낸 니켈과 카드뮴이 다음으로 순편익이 높게 산출되었다. 이황화탄소가 가장 낮은 순편익이 나타났으며, 편익 및 비용 산출결과를 관찰했을 때 충분히 예상가능 했던 결과라 생각된다. 하지만, 이황화탄소의 경우 작업환경측정 분석실이나, 일반 학교 실험실 혹은 연구기관의 분석실 등 취급 사용자가 다른 물질에 많은 것으로 예상할 수 있으며, 다소 과소

평가 되어 나타난 결과라 생각된다. 본 비용 및 분석 항목으로 사용된 작업환경실태조사와 작업환경측정 자료의 경우 일반 제조업 근로자만을 포함하여 조사가 이루어진다. 작업환경측정 분석실 및 일반학교 실험실, 연구기관의 분석실은 근로자가 아니라 일반대중으로 포함되기 때문에, 작업환경측정 및 작업환경실태조사 대상에서 제외 되어 Table 7과 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 선정 7가지 물질 모두 순편익이 높게 나타났으며, 예비 개정기준에서 충분히 수용 가능할 것으로 사료된다.

### 3. 최종 개정안 제언

Table 9는 유해위험성 평가 및 사회경제성 평가를 근거로 하여 선정 7가지 물질에 대한 최종 개정안을 정리한 표이다. 7가지 물질을 대상으로 사회·경제성 평가 결과 단기적, 장기적 기준 모두 순편익이 높게 산출되었다. 본 결과를 근거로 7가지 물질에 대한 새로운 개정안 적용시 산업재해예방 효과 및 사업장에서 발생하는 경제적 부담 등 사회 수용성 측면에서 충분히 수용 가능할 것으로 판단된다. 대상 물질의 유해·위험성은 화학물질의 유해위험성 평가 지침에 따르면 허용기준 물질의 경우 첫째, 유해성 및 위험성이 확인 또는 결정된 물질이며, 둘째 국내 직업병이 발생하여 사회적 물의를 일으켰던 물질로 분류된다. 그리고 셋째, 측정 및 분석방법이 존재하고, 참고 및 참고자료가 존재하여 객관적 평가가 가능한 물질이다. 마지막으로 사회경제성 평가 결과 허용기준 설정 필요성이 인정되는 물질이다(KOSHA GUIDE W-6-2012). 선정 7가지 물질은 GHS·MSDS 뿐만 아니라, 앞서 언급된 국내 유해위험성 지침에 따라 관리가 필요시 되는 물질로서 확인된다. 또한 각 물질별 초과 사업장 및 초과율 분석결과 2008년 허용기준 제도 도입 이후 초과 사업장이 감소하는 것을 관찰할 수 있고, 2013년 기준 초과되는 사업장이 모두 10% 미만인 것으로 나타났다. ACGIH document에서도 평균 2000년도 이전에 현재 국내 허용기준과 동일한 수준으로 개정 하였으며, 국외 노출기준과 비교시 선정 7가지 모든 물질이 국외에서는 더욱 강화된 수준으로 엄격하게 관리되고 있었다.

다른 6가지 물질에 비해 상대적으로 초과율 및 사회경제성 분석 결과 값이 높았던 트리클로로에틸렌

Table 9. Suggestion of final revised permissible exposure limit for seven substances

Classification	Current permissible exposure limit		Revised permissible exposure limit	
Chemical Name (CAS NO.)	TWA (ppm, mg/m <sup>3</sup> )	STEL (ppm, mg/m <sup>3</sup> )	TWA (ppm, mg/m <sup>3</sup> )	STEL (ppm, mg/m <sup>3</sup> )
Nickel (Insoluble inorganic compounds) (7440-02-0)	0.5	-	0.2	-
Benzene (71-43-2)	1	-	0.5	2.5
Carbon disulfide (75-15-0)	10	-	1	-
Cadmium (as compounds) (7440-43-9)	0.03	-	0.01	-
Trichloroethylene (79-01-6)	50	200	10	25
Formaldehyde (50-00-0)	0.5	1	0.3	-
Toluene diisocyanate (554-54-9)	0.005 (2,4-TDI)	0.02 (2,4-TDI)	0.005 (Isomers)	0.02 (Isomers)

의 경우 사회 수용성 측면에서 다른 물질들에 비해 개정기준에 대한 어려움은 있다. 하지만, 다수의 선진 외국에서는 10 ppm으로 관리하고 있는 추세이며, 취급 근로자의 장기적인 건강 예방 측면에서 고려할 경우 10 ppm으로 개정하는 것이 적합하다고 판단된다. 포름알데히드의 예비개정기준에서는 0.3 ppm(C)으로 권고하고 있지만, 국내의 경우 아직 포름알데히드에 대한 감각 증상에 대해 연구된 바가 없으며 Ceiling 표기에 대해서는 추가적인 연구가 수행되어야 한다고 판단된다. 따라서 본 연구 결과에 근거하여 Table 9와 같이 최종 개정안을 제시하는 바이다.

#### IV. 결론

첫째, 작업환경측정 자료를 이용한 초과율 및 초과 사업장 분석 결과 트리클로로에틸렌을 제외한 6가지 물질의 경우 10% 미만으로 관찰되었다. 트리클로로에틸렌은 11%로 가장 높은 초과율이 분석되었고, 니켈이 가장 낮은 초과율(0.5%)이 관찰되었다. 이황화탄소의 경우 전체 사업장 수가 44개소로 가장 적은 높은 초과율(9.1%)이 나타난 것으로 판단된다. 모든

물질에서 공통적으로 2008년 허용기준 제도도입 이후 초과 사업장이 감소하는 경향을 나타냈다.

둘째, 국외 노출기준과 비교 및 ACGIH 검토 결과, 모든 물질의 노출기준이 국내 기준에 비해 더욱 강화된 수준으로 엄격히 관리되고 있었고, 직업적 노출에 따른 건강상 악영향 예방을 위해 노출기준을 권고하고 있었다.

셋째, 비용편익 산출 결과, 비용은 \ 21,736,899,000으로서 트리클로로에틸렌이 가장 높았으며, \ 2,813,542,200으로 이황화탄소가 가장 낮았다. 편익의 경우 \ 218,310,777,990으로 트리클로로에틸렌이 가장 높게 산출되었고, \ 2,813,542,200으로 이황화탄소가 가장 낮게 분석되었다. 순편익 산출결과 모든 물질에서 순편익이 가장 높았으며, 개정기준에 대한 사회적 측면에서 충분히 수용 가능할 것으로 판단된다.

넷째, 선정 7가지 물질에 대해 본 연구진에서는 최종 개정안을 니켈 0.2 mg/m<sup>3</sup>, 벤젠 0.5 ppm(TWA) 2.5 ppm(STEL), 이황화탄소 1 ppm, 카드뮴 및 그 화합물 0.01 mg/m<sup>3</sup>, 트리클로로에틸렌 10 ppm(TWA), 25 (STEL), 포름알데히드 0.3 ppm, 톨루엔 디이소시아네이트(혼합물) 0.005 ppm(TWA) 0.02 ppm(STEL)으로 제안한다.

## 감사의 글

본 연구는 2014년 한국안전보건공단 위탁 연구비로서 진행되었으며 지원에 감사드립니다.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2014 TLVs and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices ACGIH, Cincinnati, OH 2014.
- A division of the American Chemical Society(Chemical Abstract Service). CHEMLIST(Regulated Chemicals); 2015.4. Available from: <http://www.cas.org/index.html>
- Boyes WK, Bushnell PJ, Crofton KM. Neuro-toxic and pharmacokinetic responses to trichloroethylene as a function of exposure scenario. *Environ Health Perspect* 2000;2:317-322
- Diem JE, Jones RN, Hendrick DJ. Five-year longitudinal study of workers employed in a new toluene diisocyanate manufacturing plant. *Am Rev Respir Dis* 1982;126:420-42
- Gough, M. Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde. *Environ. Health Perspect.* 1984;58: 324-380
- Kane, L.E., Alarie, Y. Sensory Irritation to Formaldehyde and Acrolein during Single and Repeated Exposures in Mice. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1977;38:509 - 522
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). MSDS DB. 2011. Available from : <http://www.kosha.or.kr/>
- Kim EA. Workers exposed to benzene 2000s. *J Industrial health, agency of korean industrial health association* 2011;275;6-12
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). Hazard and Risk Classification Guidelines for Chemicals(KOSHA GUIDE W-6-2012). 2012
- Kim TY, Lee EJ, Kim JC. Study on cost-benefit analysis for Management substance and Special management Substanc. Report of Korea Occupational Safety and Health. 2014.
- Lee KS, Lim CH, Lee JH, Lee HJ, Yang JS, et al. Study on the comparison of GHS criteria and classification for chemicals and the practical use of chemical informatio database. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2008; 18(1):62-71
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Standard for Classification and Labelling of Chemical Substance and Material Safety Data Sheet. MoEL Public Notice ; No.37. 2013.
- Ministry of Environment(MoE). White pape of Environment.; 2012. p. 240-273
- Phee YG, Choi SJ, Jeong JH, Kuk WK, Jeong CH. et al. Study on the Validity of selection of established chemical exposure limit in Occupational Safety and Health Act of Korea. Report of Korea Occupational Safety and Health. 2011
- 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. Environmental Protection Agency(EPA). TRI on-site and off-site reported disposed of or otherwise released (in pounds), for facilities in all industries, carbon disulfide. 2002 Available from: <http://www.epa.gov/triexplorer/>