한국산업보건학회지, 제25권 제1호(2015) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2015: 25(1): 45-57
http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2015.25.1.45

Original Article

화학물질 관리 연구-1. 산업안전보건법상 관리 화학물질의 특성과 노출기준 비교

박지훈[1] · 함승헌[1,2] · 김선주[1] · 이권섭[3] · 하권철[4] · 박동욱[5] · 윤충식[1,2,*]

[1]서울대학교 보건대학원 환경보건학과, [2]서울대학교 보건환경연구소,
[3]한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, [4]창원대학교 보건의과학과, [5]한국방송통신대학교 환경보건학과

Study on the Chemical Management – 1. Chemical Characteristics and Occupational Exposure Limits under Occupational Safety and Health Act of Korea

Jihoon Park[1] · Seunghon Ham[1,2] · Sunju Kim[1] · Kwonseob Lee[3] · Kwonchul Ha[4] · Donguk Park[5] · Chungsik Yoon[1,2,*]

[1]Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University
[2]Institute of Health and Environment, School of Public Health, Seoul National University
[3]Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency
[4]Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University
[5]Department of Environmental Health, Korea National Open University

ABSTRACT

Objectives: This study aims to compare the physicochemical characteristics, toxicological data with Occupational Exposure Limits (OELs) of chemicals under the Occupational Safety and Health Act(OSHA) regulated by the Ministry of Employment and Labor of Korea.

Methods: Information on chemicals which have OELs on physicochemical characteristics and toxicological data was collected using Material Safety Data Sheet(MSDS) from Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA) and the Korea Information System for Chemical Safety Management(KISChem) in 2014. Statistical analyses including correlation and simple regression were performed to compare the OELs with chemical characteristics including molecular weight, boiling point, odor threshold, vapor pressure, vapor density, solubility and octanol-water partition coefficient(OWPC) and toxicological data such as median lethal dose(LD_{50}) and median lethal concentration(LC_{50}).

Results: A total of 656 chemicals have OELs under OSHA in Korea. The numbers of chemicals which have eight-hour time weighted average(TWA) and short term exposure limits(STEL) are 618 and 190, respectively. TWA was significantly correlated with boiling point and STEL was only correlated with vapor pressure among physicochemical characteristics. Solubility and OWPC between "skin" and "no skin" substances which indicate skin penetration were not significantly different. Both LD_{50} and LC_{50} were correlated with TWA, while the LC_{50} was not with STEL. As health indicators, health rating and Emergency Response Planning Guidelines(ERPG) rating as recommended by the National Fire Protection Association(NFPA) and American Industrial Hygiene Association(AIHA) were associated with OELs and reflect the chemical hazards.

Conclusions: We found relationships between OEL and chemical information including physicochemical characteristics and toxicological data. The study has an important meaning for understanding present regulatory OELs.

Key words: Chemicals, physicochemical characteristics, toxicity, health, exposure limit

*Corresponding author: Chungsik Yoon, Tel: 02-880-2734, E-mail: csyoon@snu.ac.kr
Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742
Received: February 1, 2015, Revised: March 17, 2015, Accepted: March 18, 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

산업발전과 더불어 신기술의 개발이 지속적으로 이루어짐에 따라 새로운 화학물질의 개발과 수요가 증가되어 왔으며, 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 유통 및 사용되는 화학물질의 양도 증가 추세에 있다. 현재 국내에서 유통되는 화학물질은 약 4만 5천여 종이며, 매년 300~400여 종의 신규 화학물질이 시장으로 도입되고 있다. 우리나라의 경우, 세계 7위 수준의 화학제품 출하규모를 보이고 있으며, 이는 세계 시장의 약 3%를 차지하는 수준으로, 연평균 약 10% 성장을 보여 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)국가 평균 2.3%의 약 4배에 이른다(Byun, 2013). 이처럼 시장규모의 확대와 더불어 최근 구미지역 불산 누출사고를 비롯한 크고 작은 화학물질 관련 사고가 빈번히 발생함에 따라 화학물질의 위험성에 관한 대중적 관심이 증가하고 있으며, 관리의 중요성도 그 만큼 커지고 있다.

국내에서 제조, 유통 및 사용되는 화학물질에 대한 관리는 현재 7개 부처의 14개 법률 하에 이루어지고 있으며, 환경부의 『화학물질관리법』과 2015년 1월 1일부터 시행되는 『화학물질등록 및 평가 등에 관한 법률』, 고용노동부의 『산업안전보건법』, 국민안전처의 『위험물 안전관리법』 등이 대표적인 화학물질 관련 법률이다(Park, 2011;Yoon et al., 2014). 이 중 사업장에서의 화학물질관리는 고용노동부의 산업안전보건법(이하 산안법)에 의해 이루어지고 있으며, 유해 화학물질을 취급함으로 인한 안전사고와 건강문제로부터 근로자를 보호함을 목적으로 한다.

산안법은 산업화와 유해물질의 대량 사용에 의한 직업병 발생 등에 효율적으로 대처하기 위한 필요한 기준 확립을 목적으로 1982년 제정되었으며, 동법에 의해 노출기준 설정물질, 제조 등의 금지물질, 허가대상물질, 허용기준 이하 유지대상물질, 작업환경측정 대상물질, 특수건강진단 대상물질, 관리대상 유해물질 및 특별관리물질 등으로 분류되어 관리되고 있다(Yang et al., 2012). 현행법 상 관리 화학물질 및 그 규제수준은 산안법 제정 당시 참고했던 일본의 노동위생안전법과 2003년 개정된 법률을 기반으로 하고 있으며, 전체 관리 화학물질 중 노출기준 설정물질은 1986년 미국정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 허용농도(Threshold Limit Value, TLV)기준과 거의 유사하게 노출기준을 설정하였다. 이후 2-브로모프로판, 석면, 벤젠 등 세 종류의 물질에 대한 노출기준이 제·개정되었으나, 과거 부족한 독성정보에 기반하여 노출기준이 설정된 화학물질이 다수이므로 노출기준 적용의 타당성에 관한 논란이 지속되어 왔다(Jeong et al., 2010). 국내에서 유통되는 4만 여종의 화학물질 중 독성정보에 기반한 안전성 시험을 거친 화학물질이 2009년 기준으로 587종에 불과하며, 이들 물질의 안전성 시험 수준도 초기 시험자료의 질이나 항목의 범위를 고려하였을 때 완전한 평가라 할 수 없다(Park, 2011). 최근 국제 화학물질관리 전략(Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM)이 수립됨에 따라 과학적 유해성 평가에 기반한 화학물질 관리 시스템 구축 시도가 국내에서도 이루어지고 있으며, 유해성평가를 토대로 화학물질에 대한 독성정보와 노출기준 자료를 확보하고 있다(Yang et al., 2012).

산안법에서 관리되는 유해인자의 노출기준은 작업장에서 사용되는 유해물질로부터 근로자 건강을 보호하기 위한 작업환경 중 농도의 한계 값을 법적으로 규제하는 것으로, 실제 사업장 내 근로자의 안전보건 활동에 중요한 수단으로 사용되고 있다. 따라서 현행 노출기준에 대한 법규적 논의나 신규 노출기준 필요성에 관한 연구, 특별관리 물질에 대한 국내외 비교법적 고찰, 산안법 내 특별관리 물질의 추가, 노출기준 제·개정 대상물질 선정 및 조사결과 고찰, 환경부 및 고용노동부 소관 화학물질 관리 관련법 비교 등 관련 연구들이 진행된 바 있으나(Chung, 2007; Lee et al., 2008; Choi et al., 2013; Jung, 2014; Lee et al., 2014; Yoon et al., 2014), 관리 물질의 노출기준과 물리화학적 특성 및 독성간 관계에 대한 연구는 그간 진행된 바 없었다.

본 연구에서는 산안법에서 관리되는 화학물질의 특성과 노출기준의 연관성을 비교하고자 하였다. 특히, 보건학적 관점에서 화학물질의 유해성과 직간접적으로 관련되는 물리화학적 특성 및 독성실험 자료를 선별하여 노출기준과 중점 비교하였다.

Ⅱ. 연구방법

최근 발생하였던 화학물질 관련 사고로 인해 대중적

관심이 증대되면서 화학물질관리와 관련된 법규가 제정되거나 개정되었다. 고용노동부에서 관리되는 노출기준 설정물질은 2013년 8월 개정된 고용노동부 고시 제 2013-38호『화학물질 및 물리적 인자의 노출기준』의 내용을 바탕으로 자료를 수집하였으며(MoEL, 2013), 법제처의 국가법령정보센터(http://www.law.go.kr/)로부터 기타 제조 등 금지물질, 허가대상 물질, 허용기준 이하 유지대상 물질,작업환경측정대상물질,특수건강진단 대상물질, 관리대상 유해물질 및 특별관리 물질은 2014년 7월 개정 시행 중인 산업안전보건법, 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙을 참고하여 목록화 하였다. 이후 2015년 1월부터 제・개정되어 시행되는 최신 내용을 확인하여 화학물질 목록 및 정보 데이터베이스에 반영하였다.

본 연구에서 대상으로 한 화학물질의 물리화학적 특성과 독성에 관한 정보는 2014년 안전보건공단의 물질안전보건 자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)부터 수집하였으며(KOSHA, 2014), 일부 자료가 부족하거나 공단 MSDS 목록에 존재하지 않는 물질에 대한 정보는 환경부에서 제공하는 화학물질안전관리정보시스템(NICS, 2014)과 구글검색(http://www.google.co.kr/)을 통해 보완하였다.

각 화학물질의 MSDS 정보 중 보건학적 독성 지표와 관련된 물리화학적 특성(분자량(Molecular weight, MW), 끓는점(Boiling point, BP), 냄새 역치(Odor threshold, OT), 증기압(Vapor pressure, VP), 증기밀도(Vapor density, VD), 용해도(Solubility, SB), 옥탄올-물 분배계수(Octanol-water partition coefficienct(OWPC))과 노출기준(Time-weighted Average value, TWA; Short-term Exposure Limits, STEL), 독성자료(Median Lethal Dose, LD_{50}, Median Lethal Concentration, LC_{50})및 주요기관별로 제시하고 있는 발암성・변이원성・생식독성(Carcinogenic・Mutagenic・Reproductive toxicant, CMR)에 대한 정보를 수집하였다. 또한 보건학적 지표로써 국제화재방지협회(National Fire Protection Association, NFPA)의 위험등급(HEALTH, FLAMMABILITY, REACTIBITY) 중 health 등급에 속하는 화학물질과 미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서 누출 등 비상시 노출될 수 있는 허용농도 수준을 등급(ERPG-1, 2, 3)에 따라 제시한 ERPG(Emergency Response Planning Guideline) 물질을 분류하여 노출기준과 비교하였다(Table 1).

산안법 상 화학물질 분류에 따른 노출기준의 대표치는 기술통계분석을 실시하여 나타내었는데, 수치가 대수정규분포를 하거나 한쪽으로 치우치는 분포를 보여 편의상 기하평균(Geometric Mean, GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD)로 표현하였다. 노출기준(TWA, STEL)항목과 물질의 분

Table 1. Category and collected information of the chemicals regulated by the Ministry of Labor and Employment(MOEL)

Information		Contents
Chemical category		- Chemicals with OELs, chemicals prohibited manufacturing etc., chemicals requiring approval, chemicals kept below permissible limits, chemicals requiring workplace monitoring, chemicals requiring special management, chemicals requiring special health diagnosis
Physicochemical characteristics		- CAS number, phase, molecular weight(MW), boiling point(BP), odor threshold(OT), vapor pressure(VP), vapor density(VD), solubility(SB), octanol-water partition coefficient(OWPC)
Occupational exposure limits		- 8hr time-weighted average(TWA) - Short-term exposure limit(STEL including ceiling value)
Toxicity	Dose-response	- LD_{50}*(oral), LC_{50}†(inhalation) for mammals
	CMR class	- MOEL‡, OSHA§, NIOSH‖, ACGIH¶, IARC**, EU++,
Indicators related to health		- Healthrating(NFPA‡‡) - ERPG§§(AIHA)

* Median lethal dose(the amount of the substances required to kill 50% of the test population via ingestion or skin absorption), † Median lethal concentration(the concentration of the substances required to kill 50% of the test population via inhalation), ‡ Ministry of Employment and Labor of Korea, §Occupational Safety and Health Administration in US, ‖US National Institute for Occupational Safety and Health, ¶American Conference of Governmental Industrial Hygienist, **International Agency for Research on Cancer, ++European Union, ‡‡ National Fire Protection Association in US, §§Emergency Response Planning Guidelines(set by American Industrial Hygiene Association(AIHA))

자량, 끓는점, 냄새 역치, 증기압, 증기밀도, 용해도 및 옥탄올-물 분배계수 등 물리화학적 특성, 독성자료(LD_{50}, LC_{50})의 개별 항목 간 관계검정을 위해 피어슨 상관분석을 수행하였고, 유의한 상관성을 보인 변수에 대하여 단순회귀분석을 수행하여 변수 간의 회귀모형과 설명력을 검정하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.4(SAS Inc., USA)를 이용하였으며, Sigmaplot 10.0 software(Systat software Inc., USA)를 이용하여 결과를 시각적으로 표현하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 산안법상 관리대상 화학물질 수

고용노동부에서 법적으로 관리하고 있는 화학물질의 수는 노출기준 설정물질 645종, 제조 등의 금지물질 11종, 허가대상물질 13종, 허용기준이하유지대상물질 13종, 작업환경측정대상 물질(화학적 인자만을 대상으로 함) 188종, 특수건강진단대상물질 179종, 관리대상유해물질 167종, 특별관리물질 16종으로 분류되어 있다. 그러나 실제 단일 물질이라도 물리화학적 특성이 상이하거나 CAS(Chemical abstract service)번호가 별도로 나뉜 이성질체를 추가하면 실제 관리대상 화학물질의 수는 노출기준 설정물질 656종, 제조 등의 금지물질 89종, 허가대상물질 13종, 허용기준이하유지대상물질 14종, 작업환경측정대상물질(화학적 인자만을 대상으로 함) 222종, 특별관리물질 20종으로 증가하였으며, 특수건강진단 대상 유해인자는 185종으로 증가하였다(Figure 1).

산안법의 제조 등 금지물질은 동법 시행령 제29조에 직접 표기된 11종 외에 화학물질관리법에서 지정한 금지물질도 포함한다고 되어있는데 이 법상 규제하는 화학물질 84종 중 산안법의 금지물질과 중복물질(베타나프틸아민, 악티노라이트석면, 안소필라이트석면, 트레모라이트석면, 청석면, 갈석면) 6종을 제외한 78종을 합하면 89종이 된다.

화학물질 중 8시간 가중평균농도(8hr-TWA) 기준이 설정된 물질의 수는 618종, 단시간노출기준(STEL) 또는 천장치(Ceiling value, C)가 설정된 물질은 190종이었으며, 이중 TWA와 STEL(또는 C) 기준이 모두 설정된 화학물질의 수는 158종이었다.

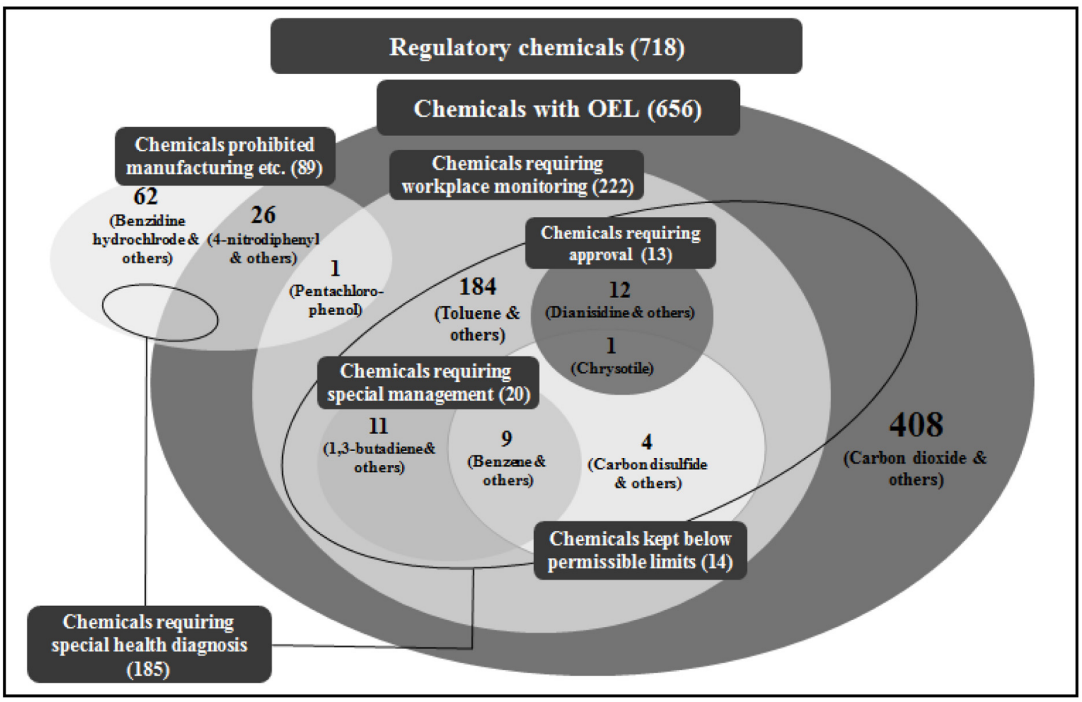

Figure 1. Number of regulatory substances under the Occupational Safety and Health Act of the MOEL

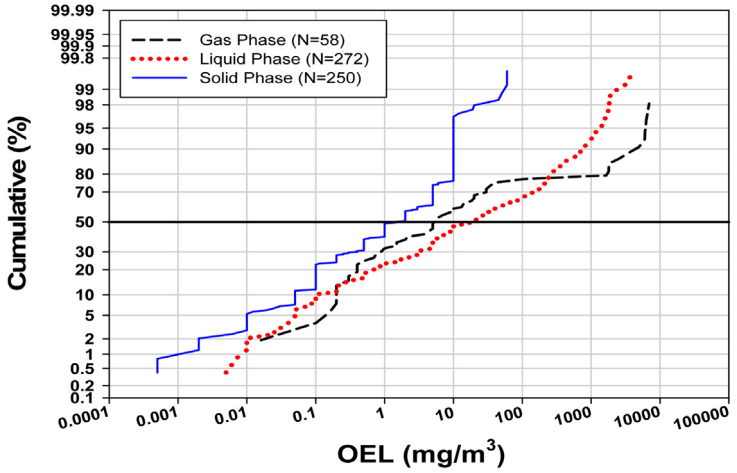

Figure 2. Cumulative OELs according to substance phase

2. 물질의 노출기준과 유해성

산안법 상 노출기준이 설정된 물질 중 가스, 고체, 액체 등 성상에 따른 노출기준의 누적그래프를 Figure 2에 나타내었다. MSDS 상 가스형태의 물질은 58종, 액체형태는 272종, 고체형태는 250종 이었으며, 성상에 의한 노출기준은 고체(GM; 1 mg/m^3), 가스(8 mg/m^3), 액체형태 물질(10 mg/m^3) 순으로 낮았다.

Table 2는 화학물질의 발암성(Carcinogen), 변이원성(Mutagen), 생식독성(Reproductive toxicant) 등 유해성(CMR)과 그 성상에 따라 노출기준의 개수와 기하평균 및 기하표준편차를 나타낸 것이다. 유해성 분류는 산안법 상 노출기준 설정물질 중 European Chemicals Agency(ECHA)의 CLP(Regulation (EC) No. 1272/2008 on Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures)에서 제시하는 기준에 따라 분류하였다. CLP 분류에 따른 CMR 물질은 총 246개(가스상 18개, 액체상 123개, 고체상 105개)로 평균 노출기준은 2.26 mg/m^3(GSD; 25.61)를 보였으며, 비 CMR 물질(387개; 가스상 44개, 액체상 176개, 고체상 167개)의 평균 노출기준은 6.14 mg/m^3(GSD; 22.98)보

Table 2. Comparison of Occupational Exposure Limits(OEL) between EU CLP classified CMR and non-CMR chemicals by chemical phases

Classification	Chemical phase (GM unit; mg/m^3)						Total	
	Gas		Liquid		Solid			
	No. of OEL	GM† (GSD‡)	No. of OEL	GM (GSD)	No. of OEL	GM (GSD)	No. of OEL	GM (GSD)
Carcinogen	12	7.72 (51.76)	80	7.14 (20.05)	71	0.37 (14.07)	163	1.98 (26.08)
Mutagen	5	41.11 (32.71)	18	15.63 (18.16)	17	0.47 (13.97)	40	3.97 (28.96)
Reproductive toxicant	1	34.0 (-)	25	7.95 (13.11)	17	0.29 (15.21)	43	2.21 (21.60)
CMR*	18	13.34 (39.83)	123	8.18 (18.05)	105	0.37 (13.92)	246	2.26 (25.61)
Non CMR	44	9.85 (35.97)	176	21.44 (25.12)	167	1.45 (8.87)	387	6.14 (22.98)

*Carcinogenic, mutagenic and reproductive toxic substances classified by EU CLP(Classification, Labeling, Packaging),
† Geometric mean, ‡ Geometric standard deviation

다 낮았다. CMR 물질의 노출기준 평균값은 가스(GM; 13.34 mg/m^3, GSD; 39.83), 액체(GM; 8.18 mg/m^3, GSD; 18.05), 고체상(GM; 0.37 mg/m^3, GSD; 13.92) 순으로 노출기준이 낮았다. 유해성에 따른 노출기준은 발암성 물질이 총 163개, 변이원성 40개, 생식독성 물질 43개의 분포를 보였으며, 변이원성(GM; 3.97 mg/m^3, GSD; 28.96), 생식독성(GM; 2.21 mg/m^3, GSD; 21.60), 발암성 물질(GM; 1.98 mg/m^3, GSD; 26.08) 순으로 낮은 노출기준 수준을 보였다.

우리나라 고용노동부와 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC), ACGIH에서 제시한 CMR 물질 중 우리나라 노출기준 항목으로 설정된 물질 개수와 노출기준을 비교하였으며(Table 3), IARC와 ACGIH의 경우 발암성 물질만 나타내었다. 산안법에서 관리되는 화학물질 중 CMR 분류 개수는 발암성, 변이원성, 생식독성에 대하여 각각 194, 48, 45개였으며. 이 중 노출기준이 설정된 CMR 물질의 수는 각각 172(88%), 42(87%), 44(97%)개였다. 노출기준은 생식독성(GM; 2.11 mg/m^3, GSD; 22.00), 발암성(GM; 2.21 mg/m^3, GSD; 27.19), 변이원성(GM; 3.84 mg/m^3, GSD; 27.94) 순으로 낮았다. CMR 물질에 포함되지 않은 물질 총 591개 중 노출기준 설정 물질의 개수는 438개(74 %) 였으며, 평균 노출기준은 5.81 mg/m^3(GSD; 21.47)로 CMR 물질에 비해 상대적으로 높은 수치를 보였다. IARC에서 제시한 발암성 물질 중 우리나라 노출기준이 설정되어 있는 물질은 120개로 평균 노출기준은 2.67 mg/m^3(GSD; 30.97)를 보였으나, ACGIH 발암성 물질의 경우 우리나라 노출

Table 3. Comparison of OELs among CMR and Non CMR classified by MOEL, IARC and ACGIH

Classification	GM unit : mg/m^3								
	MOEL			IARC			ACGIH		
	Total	Chemicals with OEL(%)*	GM(GSD)	Total	Chemicals with OEL(%)*	GM(GSD)	Total	Chemicals with OEL(%)*	GM(GSD)
Carcinogen	194	172(88)	2.21(27.19)	142	120(84)	2.67(30.97)	42	35(83)	0.27(24.33)
Mutagen	48	42(87)	3.84(27.94)	-	-	-	-	-	-
Reproductive toxicant	45	44(97)	2.11(22.00)	-	-	-	-	-	-
Non CMR	591	438(74)	5.81(21.47)	598	495(82)	4.92(21.82)	691	576(84)	5.07(21.99)

* Number(proportion) of chemicals classified in each component among OEL set substances under OSHA of the MOEL

Table 4. Correlation coefficients among several health index and physicochemical characteristics

	TWA	STEL	LD_{50}	LC_{50}	MW	BP	OT	VP	VD	SB	OWPC
TWA	1.000										
STEL	**0.8208*** **(p<0.0001)**	1.000									
LD_{50}	**0.3663*** **(p<0.0001)**	**0.6750*** **(p<0.0001)**	1.000								
LC_{50}	**0.4713*** **(p<0.0001)**	0.1466 (p=0.1281)	**0.3128*** **(p<0.0001)**	1.000							
MW	-0.0841 (p=0.0741)	-0.0784 (p=0.3341)	0.0062 (p=0.8958)	-0.0632 (p=0.2572)	1.000						
BP	**-0.1249*** (p=0.0051)	-0.1054 (p=0.2202)	**0.1013†** **(p=0.0436)**	-0.0621 (p=0.2824)	**-0.1212*** **(p=0.0071)**	1.000					
OT	0.0930 (p=0.3187)	0.1100 (p=0.4153)	0.0736 (p=0.4558)	0.0936 (p=0.3494)	-0.0492 (p=0.6473)	-0.1246 (p=0.1845)	1.000				
VP	-0.0119 (p=0.7892)	**0.6106*** **(p<0.0001)**	-0.0265 (p=0.5917)	-0.0094 (p=0.8695)	-0.0508** (p=0.2557)	-0.0323 (p=0.4865)	-0.0458 (p=0.6254)	1.000			
VD	-0.0554 (p=0.2726)	-0.0790 (p=0.3645)	0.0594 (p=0.2830)	-0.0314 (p=0.6051)	**0.9248*** **(p<0.0001)**	**0.3249*** **(p<0.0001)**	0.0020 (p=0.9835)	-0.0608† (p=0.2343)	1.000		
SB	-0.0129 (p=0.7882)	-0.0617 (p=0.4819)	0.0026 (p=0.9605)	-0.0248 (p=0.6849)	-0.0139 (p=0.7738)	-0.0078 (p=0.8782)	-0.0554 (p=0.2726)	-0.0025 (p=0.9599)	-0.0994 (p=0.0701)	1.000	
OWPC	0.0542 (p=0.2554)	-0.0047 (p=0.9583)	0.0318 (p=0.5399)	0.0359 (p=0.5553)	**0.4901*** **(p<0.0001)**	**-0.1257†** **(p=0.0123)**	-0.0515 (p=0.6018)	-0.0356 (p=0.4657)	**0.5973*** **(p<0.0001)**	-0.0222 (p=0.6675)	1.000

*p<0.01, † p<0.05

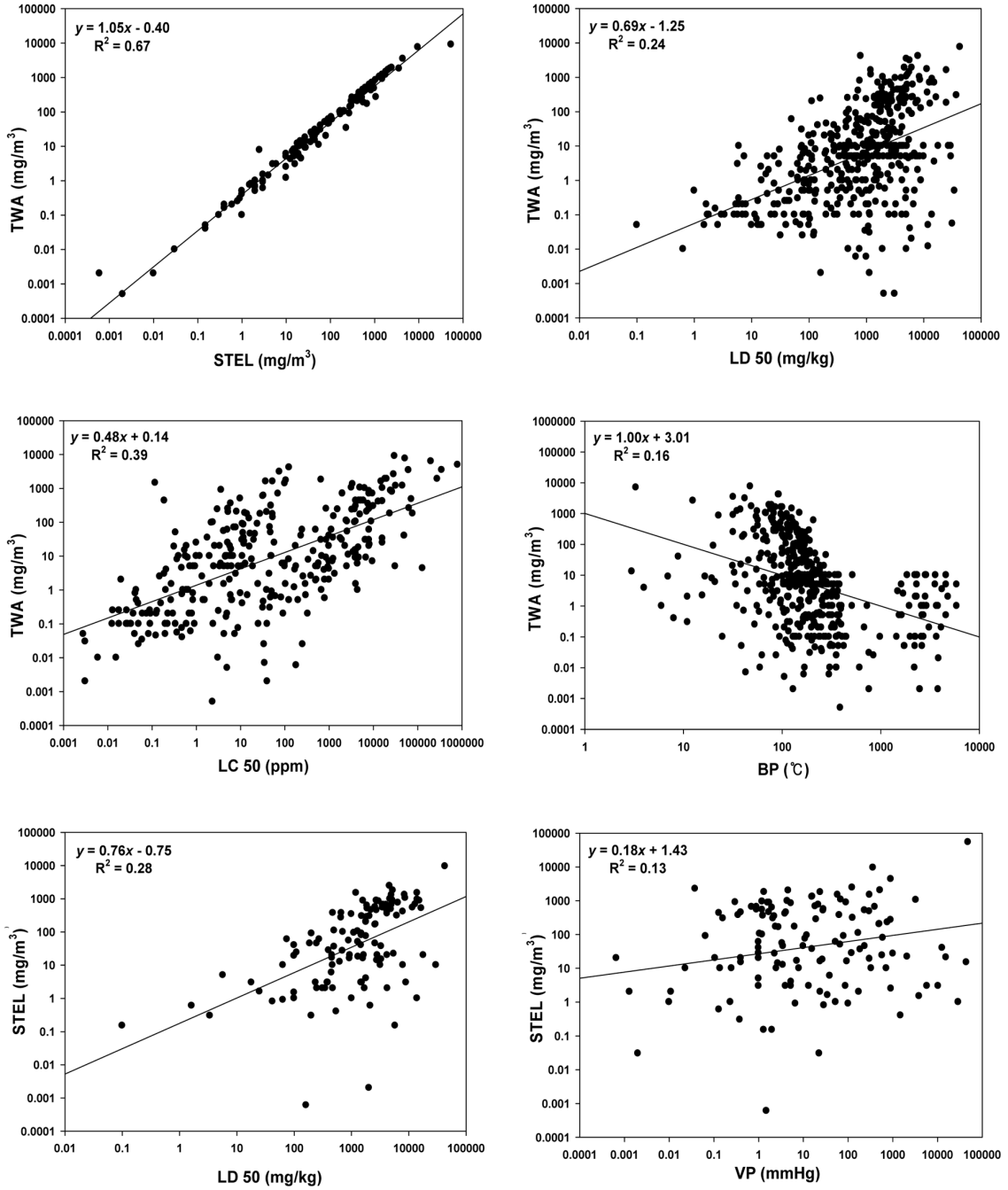

Figure 3. Relationship between OEL and the chemical characteristics(all above $p<0.01$)

기준에 포함된 물질의 수는 35개, 평균 노출기준은 0.27 mg/m^3(GSD; 24.33)로 세 기관에서 제시하는 발암성 분류 물질 중 가장 낮은 수치를 보였다.

3. 물리화학적 특성 및 독성과 노출기준

화학물질이 가지는 물리화학적 특성 중 유해성과 직간접적 관련이 있는 항목과 독성자료(LD_{50}, LC_{50}),

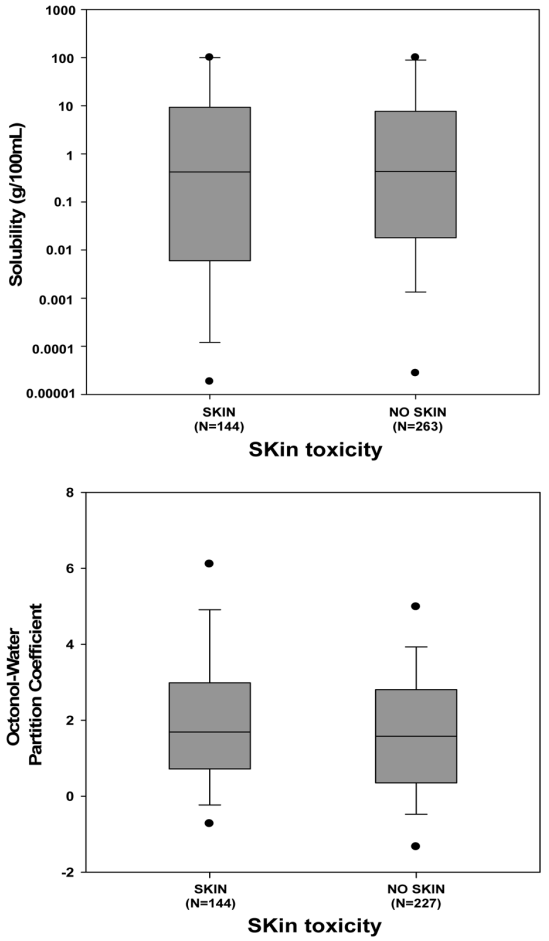

Figure 4. Distributions of solubility(top) and OWPC(bottom) according to skin toxicity; the top and bottom of the boxes means the 25th and 75th percentiles with a line at the median, respectively and error bars mean 10th and 90th percentiles. The black dots mean outlier which is more than 2/3 times of upper or lower quartile

노출기준 간의 상관분석 결과는 Table 4와 같다. 상관분석 결과 노출기준과 통계적으로 유의한 상관 관계를 보인 TWA-STEL, TWA-LD_{50}, TWA-LC_{50}, TWA-BP, STEL-LD_{50}, STEL-VP 각 항목을 회귀식과 함께 scatter plot으로 나타내었다(Figure 3). TWA와 STEL의 상관계수(r)는 0.8208(p<0.0001)로 두 기준은 서로 높은 상관성을 보였다. 독성지표로써 LD_{50}(r=0.3663, p<0.0001)과 LC_{50}(r=0.4713, p<0.0001)은 TWA와 유의한 상관관계를 보였고, 물리화학적 특성 중 끓는점(BP, r=-0.1249, p=0.0051)만이 TWA와 음의 상관성을 보여 끓는점이 높아질수록 TWA가 낮아지는 경향을 보였으며, STEL은 LD_{50}(r=0.6750, p<0.0001)과 증기압(VP, r=0.6106, p<0.0001)과 상관성을 보였다.

Figure 4는 피부표시(Skin) 유무에 따른 용해도와 옥탄올-물분배계수의 분포를 나타낸 것이다. 피부흡수로 표기된 물질과 그렇지 않은 물질의 용해도에 대한 기하평균은 각각 0.18 g/100mL(GSD; 1.51), 0.30 g/100mL(GSD; 126.33)로 유의한 차이를 보이지 않았으며(p=0.2785), 옥탄올-물 분배계수는 각각 1.65 (GSD; 44.18). 1.45(GSD; 2.87)로 차이가 없었다(p=0.1019).

Table 5는 우리나라 관리대상물질 중 TWA와 냄새역치를 갖는 가스 및 액체류 물질을 선정하여 이들의 값을 비교한 것이다. 표에서 보듯이 총 391개 물질중 101개만이 냄새 역치를 갖고 있고(26%), 냄새 역치가 노출기준에 비해 높은 물질(즉, 노출기준 수준에서는 냄새를 감지하지 못하는 물질)이 가스에는 6개 물질, 액체류에는 34개 물질이 있으며, 냄새역치가 노출기준과 같거나 작은 물질이 각각 14개, 47개가 있다.

4. NFPA health rating 및 AIHA ERPG와 노출기준

고용노동부에서 관리하고 있는 물질중 NFPA 보건지수(Health index rating)에 속하는 물질의 개수를 Table 6에 요약하였다. 총 653개 물질이 NFPA 보건지수 등급에 분류되어 있고, 건강상 영향이 거의

Table 5. Classification of gas and liquid by odor threshold

	Number of gas and liquid chemicals regulated by MOEL					
	No. of chemicals having odor threshold	No. of chemicals; odor threshold > TWA	No. of chemicals; odor threshold < TWA	No. of chemicals; odor threshold = TWA	No. of chemicals having no odor threshold	Total
Gas	20	6	11	3	46	66
Liquid	81	34	47	0	244	325
Total	101	40	58	3	290	391

Table 6. Classification of MOEL regulating chemicals by NFPA health rating

NFPA health rating	Number of chemicals having NFPA health index and regulated by MOEL					
	C	M	R	CMR	Non-CMR	Total
0	3	1	2	6	21	27
1	28	9	9	46	88	134
2	63	9	14	86	133	219
3	55	19	17	91	75	166
4	24	5	6	35	72	107
Total	173	43	48	264	389	653

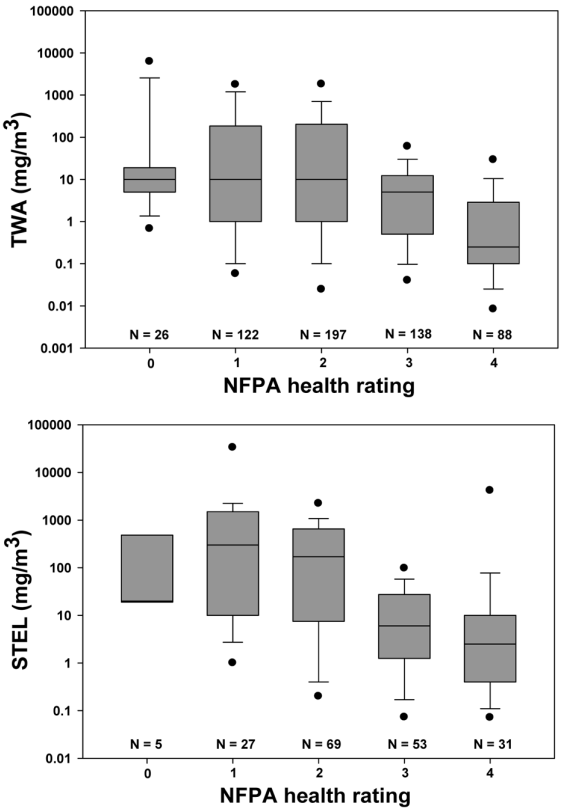

Figure 5. Distribution of OEL values(top: TWA, bottom: STEL) according to the NFPA health rating; the top and bottom of the boxes means the 25th and 75th percentiles with a line at the median, respectively and error bars mean 10th and 90th percentiles. The black dots mean outlier which is more than 2/3 times of upper or lower quartile

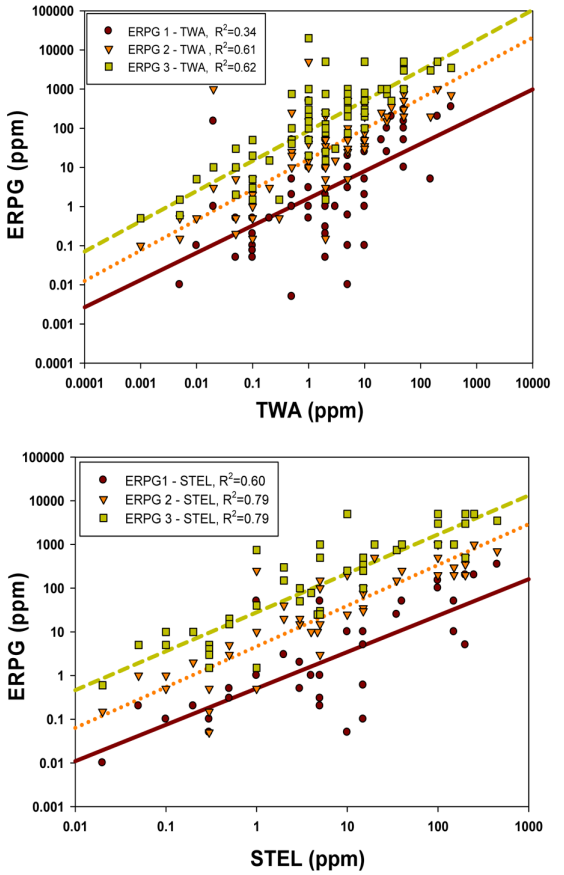

Figure 6. Relationship between ERPG rating and OEL(top: TWA, bottom: STEL)

없는 물질인 등급 0이 27개이며, 치명적 건강손상을 줄 수 있는 물질이 107개이다. 이 화학물질을 CMR로 구분하면 총 6개의 CMR물질이 0등급에, 46개 물질이 1등급에 86개 물질이 2등급에 속하였다. 발암성 물질에 국한하여 보면 173개 물질 중 NFPA 0, 1, 2, 3, 4 등급에 속하는 물질이 각각 3, 28, 63, 55, 24개이다. Figure 5는 고용노동부에서 관리하고 있는 물질 중 노출기준을 가지면서 NFPA 보건지수 등급

이 있는 물질을 TWA와 STEL로 구분하여 NFPA 등급별 노출기준의 분포를 나타낸 것이다. 우리나라 산안법상 총 571개의 TWA 설정물질이 NFPA 보건지수 각 등급(0-4)에 분포하였으며, 보건지수 0에 속하는 물질들의 평균 노출기준(GM)은 15.53 ppm(GSD; 11.16)인 반면, 보건지수 4에 속한 물질들은 0.45 ppm(GSD;12.96)를 나타내어 등급이 높아짐에 따라 TWA 수치도 낮아지는 경향을 보였다. STEL의 경우 총 206개의 물질이 NFPA 등급에 분포하였으며, TWA와 유사하게 보건지수 1에 속하는 물질들의 평균 노출기준(GM)은 125.60 ppm(GSD; 18.46), 보건지수 4에 속한 물질들은 2.76 ppm(GSD; 14.24)을 보여 등급이 높아질수록 STEL 수치도 낮아지는 결과를 보였다.

Figure 6은 AIHA의 응급대응관리 가이드라인인 ERPG 등급과 노출기준 간 비교를 나타낸 것이다. ERPG 중 TWA가 설정되어 있는 물질의 수는 ERPG-1에 66개 물질, ERPG-2에 86개, ERPG-3에 86개였으며, STEL이 설정되어 있는 물질의 수는 ERPG-1에 39개 물질, ERPG-2에 48개, ERPG-3에 48개 물질이 포함되어 있었다. ERPG 등급이 낮음에 따라 노출기준 수치도 낮은 분포를 보여 ERPG 등급이 낮을수록 인체 유해성이 클 수 있음을 나타내었다.

Ⅳ. 고 찰

본 연구는 우리나라 산안법상 관리되는 화학물질의 물리적 특성과 보건지표간의 상관성을 고찰한 최초의 연구이다. 기존의 연구는 주로 법과 제도, 국제기준과의 조화 또는 특정한 화학물질의 규제에 대한 연구임에 비해 관리되고 있는 화학물질의 물리화학적 특성과 건강지표에 대해 들여다 보는 시각이 부족하였다.

노출기준은 근로자 건강보호를 목적으로 설정된 작업장 내 공기 중 유해물질 농도의 한계치로써 권고적 지침의 성격을 가지는 작업환경관리 기준이다. 우리나라는 산안법에 허용기준 이하 유지대상물질이 별도로 지정되어 있어 이는 보다 강제적으로 작업환경을 규제하는 엄격한 기준이지만 노출기준도 관행적으로 작업환경을 규제하는 법적 기준으로 사용되기도 한다. 우리나라를 비롯한 많은 국가에서 주로 ACGIH에서 권고하는 TLV 기준을 받아들이고 있으며, 실제 우리나라 고용노동부 고시에도 TLV 준용에 관한 내용을 명시하고 있다(Park, 2014). 그러나 1986년 ACGIH의 TLV를 준용하여 노출기준을 제정한 이후 2006년까지 오직 2-브로모프로판, 벤젠, 석면에 대한 제·개정만 이루어졌으며(Paek & Park, 2006), 2007년과 2008년 126개 물질에 대한 대대적인 개정작업으로 노출기준이 하향조정 되었다. 그 이후 2011년부터 2013년까지 노출개정 작업이 많이 이루어졌으며, 발암성물질, 생식독성물질 등에 대한 정보도 추가 되었다(Lee et al., 2014; Park et al., 2014). 고용노동부에서는 매년 신규로 도입되는 화학물질과 기존 화학물질의 노출기준에 대해 과학적 근거를 확보하여 법률적으로 제·개정을 공포하고 있으나, 우리나라 산안법상 대부분 노출기준에 대한 근거가 과거 자료를 기반으로 하고 있어 실제 규제기준으로써의 타당성에 대한 논란이 많다(Jeong et al., 2010).

과거에 비해 오늘날 노출기준의 검증 또는 법적 제·개정을 위한 과학적 성과가 이루어지고 있으나 여전히 근거 자료의 불확실성(Uncertainty)에 대한 극복이 여지로 남아있다. EU 차원에서도 일부 발암물질에 대해 과학적으로 검증된 건강영향 기반의 노출기준(Health-based OELs)을 권고하고 있으나, 아직도 많은 물질에 대한 발암위험성 평가는 정성적으로 이루어지고 있어 현재 노출기준은 그 적용타당성에 대해 한계점을 가진다(Bolt & Huici-Mintagud, 2008).

Schenk et al.(2008)의 연구에서는 과거 노출기준과 새로 개정된 노출기준에 대한 비교 연구를 수행하였다. 18개의 조직 및 국가 기관에서 제시한 100개 물질에 대하여 노출기준(기하평균)을 비교한 결과, 전체 물질 중 1,341개의 물질이 1개 또는 2개 이상의 노출기준 목록에 포함되어 있었으며, 25개 물질만이 전체 18개 기관에서 모두 포함하고 있는 노출기준 항목에 포함되어 있었다. 또한 새로 개정된 노출기준과 과거 노출기준의 비(Ratio)가 0.228-0.608의 범위를 보여 과거에 비해 새로 개정된 노출기준이 낮아졌음을 알 수 있었다. Jeong et al.(2010)의 연구에서는 우리나라 126개 물질에 대하여 과거와 개정된 노출기준을 비교하였는데, 그 평균 비가 0.297로 우리나라도 과거에 비해 새로 개정된 노출기준이 전반적으로 낮아졌음을 밝혔다.

본 연구에서는 MSDS의 정보를 바탕으로 생태독

성자료나 폭발 상·하한계 등 산안법에서 다루는 보건학적 또는 직업적 노출지표와 직접적 관련이 없는 내용은 제외하였으며, 개별 물질의 MSDS상 물리화학적 특성에 관한 정보와 독성자료를 중심으로 노출기준과 비교하였다. 우리나라 노출기준 설정 물질의 TWA와 STEL은 높은 상관성을 보였는데, 보통 STEL이 설정된 물질은 대부분 TWA 노출기준과 함께 설정되어 있으며, TWA만으로 노출 정도를 평가하기 어려운 단시간 노출을 반영하기 위해 설정된 기준이므로 TWA와 높은 상관 관계를 나타낸 것으로 판단된다. 또한, EU CLP의 기준에 따라 분류된 CMR 물질(GM; 2.26 mg/m^3(GSD; 25.61))은 그렇지 않은 물질(GM; 6.14 mg/m^3(GSD; 22.98))보다 낮은 수치를 나타내었으며(Table 2), 고용노동부에서 분류하는 CMR 물질에 대해 발암(GM; 2.21 mg/m^3 (GSD; 27.19)), 변이원성(GM; 3.84 mg/m^3(GSD; 27.94)), 생식독성물질(GM; 2.11 mg/m^3(GSD; 22.00))로 각각 분류한 결과 CMR외 물질(GM; 5.81 mg/m^3(GSD; 21.47))에 비해 낮은 수준의 노출 기준을 나타내어 수치상으로는 유해성을 어느 정도 반영한다고 할 수 있다. 그러나 Table 3에서 보듯이 고용노동부에서 관리하고 있는 물질 중 발암성 지정물질의 개수는 194개이고, IARC 분류기준에 의하면 142개, ACGIH 기준에 의하면 기준에 의하면 42개인데 이는 고용노동부가 여러 기관의 발암성 기준을 폭넓게 받아들여 그 대상 자체를 확대한 것으로 바람직하나 다른 한편으로는 강력한 법적 제제보다 관리목적으로 넓혀 놓았다는 문제점도 제기될 수 있다. 향후 이렇게 확대한 발암성 물질을 포함한 CMR물질의 철저한 관리를 위해 더 관리방법이 구체화 되어야 한다.

화학물질이 가지는 친전자적 성질, 물질을 구성하는 분자의 특성, 숙주 내에서의 물질대사 반응 등 화학적 및 생화학적 요인과 증기압, 증기밀도, 옥탄올-물 분배계수 등 물질 자체가 가지는 물리화학적 특성은 독성 작용에 기여할 수 있다(Pantnaik, 2007). 이론적으로 낮은 분자량을 가지는 물질은 높은 증기압과 수용성을 가지는 것으로 알려져 있으며, 증기압과 끓는점은 인체의 흡입경로를 통한 독성 평가에 중요한 휘발성과 직접적 관련이 있다. 냄새 역치는 물질의 존재여부를 판별하여 위험을 대처하는데 있어 중요한 특성으로, 냄새 역치와 자극 역치를 이용한 화학적 감각 모델(Chemosensory model)을 노출기준 설정에 적용하는 방안을 제안한 연구도 진행된 바 있다(Gaffney & Paustenbach, 2007). 증기밀도는 공기에 비해 물질의 증기가 무거운 정도를 나타내는 지표로써 단위 부피 당 가스의 질량을 나타내는 가스밀도(g/L)와는 구분되며, 발생원에서 물질에 대한 인체 흡입과 작업장 환기에 직접 영향을 주는 인자이다. 옥탄올-물 분배계수는 혼합되지 않은 옥탄올과 물에서의 용질의 분포를 나타내는 지표로써 용해도와 함께 흡입보다는 섭취나 피부흡수를 통한 독성에 영향을 미칠 수 있다(Pantnaik, 2007). 그러나 물질의 끓는점과 증기압만이 각각 TWA와 STEL과 유의한 상관관계를 보였으며, 피부독성(Skin)을 일으킬 수 있는 물질과 그렇지 않은 물질에 대해서도 용해도와 옥탄올-물 분배계수를 비교한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 현재 우리나라의 노출기준은 대체적으로 물질이 가지는 물리화학적 특성을 반영하지 못함을 알 수 있다.

독성지표로써 LD_{50}과 LC_{50}이 대표적이라 할 수 있는데, 화학물질의 독성자료 중 약 30%가 동물실험 자료를 통해 얻어진 결과로써 안전계수 등 인간에 맞는 조건으로 외삽(Extrapolation)하여 노출기준 설정을 위한 근거자료로 주로 활용되고 있다(Nielsen & Øvrebø, 2008). 본 연구에서 LD_{50}와 LC_{50}의 독성자료는 TWA와는 유의한 상관성을 보였으나, LC_{50}은 STEL과는 상관관계를 보이지 않았다. LC_{50}은 일부 맹독성 물질을 제외한 대부분 물질이 반수가 치사될 때까지 수 시간 이상이 소요되나, STEL은 상대적으로 단시간 동안 급성 독성을 나타내는 지표이므로 서로 상관 관계를 보이지 않은 것으로 판단된다. TWA나 STEL이 주로 작업장의 흡입노출을 고려하여 공기 중 농도를 관리하는 기준임을 고려하면 LD_{50}보다는 LC_{50}와 더 상관성이 있을 것으로 예측되는데 실제로 Table 4에서 보듯이 TWA는 LC_{50}와 상관계수가 0.47로 LD_{50}의 0.37보다 높지만 STEL인 경우 LD_{50}와 유의하게 0.68로 높았다. 작업장의 근로자가 사용되는 화학물질의 정보를 얻을 수 있는 중요한 방법은 MSDS를 참조하는 것이다. MSDS의 16가지 항목 중 특히 표시문자와 더불어 NFPA 지수를 보는 것이 쉬운 방법인데, Table 5에서 보듯이 NFPA 보건지수에 따른 CMR물질의 수를 비교하면 다소 이

해하기 어려운 점이 있다. 즉, CMR 물질은 상식적으로 NFPA 보건지수가 높은 3이나 4에 속해야 할 것 같은데 조사된 264개 CMR 물질 중 NFPA 보건지수가 2이하인 것이 138개(52%)에 달한다. 예를 들어 고용노동부의 발암성 물질인 베타-프로피오락톤, 베노밀, 아스팔트흄(벤젠추출물) 모두 발암성이나 NFPA 보건지수 0에 속하고, 석면, 납, 벤조피렌, 황화니켈, 우라늄 같은 물질도 NFPA 보건지수 1에 속하며, 벤젠, 벤지딘, 비소, 아황화니켈, 6가 크롬은 NFPA 보건지수 2에, 우리나라에서 사회문제화 되었던 2-브로모프로판도 보건지수는 2등급에 속한다. 이는 우리나라의 MSDS가 잘못된 것이 아니라 다른 나라의 대부분 MSDS에도 그렇게 표기되어 있어 아마 NFPA에서 아주 과거에 등급을 매긴 것이 그대로 아직도 사용되고 있기 때문일 것이다. 따라서 우리나라에서 외국의 MSDS를 번역할 때도 이런 점은 별도의 주의표시를 하여 사용시 주의하도록 하는 제도적 장치가 필요하다.

흔히 냄새역치와 노출기준은 상관성이 없는 것으로 알려져 있으나 작업장에서 작업자는 냄새로 작업장을 판단하려고 하는 경향이 있으며, 실제 우리나라 산안법 관리대상 물질을 대상으로 한 분석자료는 없었다. Table 5에서 우리나라 산안법 관리물질 중 가스와 액체 391개중 냄새역치를 갖고 있는 물질이 101종(26%)으로 실제로 많은 가스와 액체는 냄새 역치가 없어 냄새로만 판단해서는 안된다는 것을 다시 한번 증명하고 있다. 또한 냄새역치가 노출기준보다 높은 물질(가스 3개, 액체 34개)도 있어 이런 물질은 이미 냄새가 지각되었다면 작업장의 유해인자 노출수준이 노출기준을 초과하고 있다고 판단하여야 한다. 그 예로 가스상 물질로는 디보란, 메틸아민, 에틸렌옥사이드, 염화수소, 클로로에틸렌, 하이드로 젠셀레늄 등이 있다. 거꾸로 냄새역치가 노출기준보다 갖거나 낮은 물질의 예로 불화수소, 폼알데히드, 데카 보란 등이 있다.

한편, 현재의 노출기준은 모두 단일 물질 노출을 기준으로 하는데, 작업장에서 사용되는 화학물질은 대부분 여러 물질이 동시에 개별적으로 사용되거나 혼합된 형태로 사용된다. 따라서 실제 근로자의 노출에는 물질 간의 상호작용에 의한 혼합 효과(Mixture effects)가 나타날 수 있으며(Nielsen & Øvrebø, 2008), 이는 노출기준 설정과정에서 직접적인 관련은 없으나 근로자의 실제 노출을 정확히 반영하기 위한 중요한 요소로서 향후 현존하는 노출기준을 효율적으로 적용하기 위해 고려되어야 할 필요가 있다.

본 연구는 산안법상 관리 화학물질의 노출기준에 대하여 최신 정보를 기준으로 진행하였으며, 여전히 노출기준 적용에 대한 타당성 논란이 많은 현 시점에서 법적 규제 및 관리 화학물질에 대한 기본적인 정보만으로 노출기준과 비교하였다. 노출기준 제정과정에 있어 매우 많은 사회경제적 비용이 소모되는 점을 감안하였을 때 본 연구는 노출기준 설정 물질의 특성과 현 시점에서의 노출기준을 이해하는데 의의를 가질 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결 론

고용노동부의 산안법에서 관리되는 화학물질의 물리화학적 특성 및 독성자료와 현행 노출기준을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

· 산안법상 CAS번호와 이성질체를 고려한 실제 노출기준 설정물질은 총 656종이며, TWA 설정 물질은 618종, STEL(C포함)설정 물질은 190종, TWA와 STEL 모두 설정된 물질은 158종이었다.

· 물질형태에 따른 노출기준은 가스, 액체, 고체 순으로 낮은 수준을 보였으며, 유해성에 따른 분류는 변이원성, 발암성, 생식독성 물질 순으로 낮은 노출기준 수준을 보였다. 또한 고용노동부에서 제시하는 CMR물질의 노출기준이 CMR외 물질보다 낮은 수치를 나타내어 유해성을 반영하고 있었다.

· 물질의 물리화학적 특성(분자량, 끓는점, 냄새 역치, 증기압, 증기밀도, 용해도, 옥탄올-물 분배계수) 중 끓는점과 증기압이 각각 TWA, STEL과 상관성을 보였으며, 특히 피부흡수와 관련된 용해도와 옥탄올-물 분배계수는 피부독성(Skin)을 반영하지 못하였다. 가스와 액체 중 냄새역치가 설정된 물질은 26%에 불과하며 냄새역치가 노출기준보다 높은 물질도 많았다.

· NFPA에서 제시하는 보건지수는 등급이 높아질수록 노출기준이 낮았으며, AIHA에서 제시한 ERPG는 등급이 낮아질수록 노출기준도 낮아 물질의 유해성을 어느 정도 반영하고 있었다. 석면, 벤젠, 2-브로모프로판 등 일부 CMR물질은 NFPA등급이 부적절하였다.

노출기준은 물질의 독성을 비롯한 객관적 과학자료를 바탕으로 사회경제적 비용 등 제반 여건을 종합적으로 고려하여 설정되어야 한다. 현재 법적으로 관리되는 화학물질의 노출기준을 현 상황에 맞게 최대한 활용할 수 있는 방안이 모색되어야 하며, 앞으로도 이를 위한 노출기준의 타당성 검증이 지속적으로 뒷받침되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 BK 21 플러스 사업(No. 5280-20140100)의 지원을 받아 수행되었음.

References

Bolt HM, Huici-Mintagud A. Strategy of the scientific committee on occupational exposure limits (SCOEL) in the derivation of occupational exposure limits for carcinogens and mutagens. *Arch Toxicol* 2008;82: 61-64

Byun HJ. Effective Risk Management System for Chemicals in Industries. *IE magazine* 2013;20(2): 32-36

Choi SJ, Phee YG, Kim SB, Kim W. A comparative legal study of Germany, the United Kingdom, Japan and Korea for the regulations on special management materials. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013; 23(2):1137-147

Chung EK. A review on chemical occupational exposure limits in Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2007;17(2): K1-K6

Gaffney SH, Paustenbach DJ. A Proposed approach for setting occupational exposure limits for sensory irritants based on chemosensory models. *Ann Occup Hyg* 2007;51(4):345-346.

Ministry of Employment and Labor. The occupational exposure limits for chemical and physical agents 2013. Available from: URL:http://www.moel.go.kr/

Nielsen GD, Øvrebø S. Background, approaches and recent trends for setting health-based occupational exposure limits: a minireview. *Regul Toxicol Pharmacol* 2008; *51*(3): 253-269

Jeong JY, Choi S, Kho YL, Kim PG. Extensive changes to occupational exposure limits in Korea. *Regul Toxicol Pharmacol* 2010;*58*(2): 345-348

Jung JW. A study on legal limits of occupationalsafety & health law and application of private standards. *J Kor Soc Occup Env Hyg* 2014;24(2): 103-112

Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA), Material Safety Data Sheet Database 2014. Available from: URL:http://www.kosha.or.kr/

National Institute of Chemical Safety(NICS), Korea Information System for Chemical Safety Management (KISChem) 2014. Available from: URL:http://kischem.nier.go.kr/

Lee KS, Hong MK, Lee HJ, Byeon SH, Park JS. A study on the recommendation of the candidate substances and methods for an additional designation of special management materials in Occupational Safety and Health Act(OSHA). *J Kor Soc Occup Env Hyg* 2014; 24(1): 91-102

Lee SW, Kim TH, Kim JM. A study on the necessity in establishment of STEL of dimethylformamide (DMF) -on the focus of the exposure in synthetic leather factories-. *J Kor Soc Occup Env Hyg* 2008;18(1): 80-90

Park SJ. A study on occupational exposure limits in South Korea and an advanced country. Master's theses, Inje University. 2014. p. 13-14

Park EW, Park JH, Lee KS, Hong MK, Ahn BJ et al. A study on the establishment of the criteria for selection of hazardous substances requiring management in Occupational Safety and Health Act. *J Kor Soc Occup Env Hyg* 2014;24(4):425-435.

Paek DM, Park DY. The development and regulation of occupational exposure limits in Korea. *Regul Toxicol Pharmacol* 2006;46: 126-130

Pantnaik P. A Comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances, 3rd ed. John Wiley and Sons Inc.; 2007. p. 3-16

Park JK. A study on enactment of Act on the registration and Evaluation, etc. of Chemical Substances. *Environment Forum* 2011;15(8):1-8

Schenk L, Hansson SO, Rudén, C, Gilek M. Occupational exposure limits: A comparative study. *Regultoxicolpharmacol* 2008;*50*(2): 261-270

Yang JS, Lim CH, Park SY. A study on the Priority for the Hazard and Risk Evaluation of Chemicals(HREC) According to the Industrial Safety and Health Act(ISHA). *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2012; 22(1): 73-81

Yoon CS, Ham SH, Park JH, Kim SJ, Lee SA et al. Comparison between the Chemical Management Contents of Laws Pertaining to the Ministry of Environment and the Ministry of the Employment and Labor. *J Environ Health Sci* 2014;40(5): 1-15