

## GHS 유해성을 기반으로 한 유독물질 지정체계 개선방안 연구

김효동 · 박교식\*

송실대학교 안전·보건융합공학과

### A Study on the Improvement Plan of Toxic Substance Designation Criterion Based on GHS Hazards

Hyo-dong Kim · Kyo-shik Park\*

Department of Safety and Health Convergence Engineering, Soongsil University

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study was performed to suggest how to re-establish criterion for toxic substances under the Chemical Control Act (CCA) in South Korea by comparing the GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals) score and toxic properties.

**Methods:** Toxic substances were classified into seven groups (Acute toxicity (1A), Chronic toxicity (2C), Environmental hazards (3E), Acute toxicity & chronic toxicity (4AC), Chronic toxicity & environmental hazards (5CE), Acute toxicity & environmental hazards (6AE), and Acute toxicity & chronic toxicity & environmental hazards (7ACE)) according to their toxic properties. The GHS score was calculated to sum up five toxicity indicators (health acute toxicity, health repeated toxicity, carcinogenicity, health other chronic toxicity and environmental hazards).

**Results:** The GHS score of 7ACE was higher by 7 times that of 1A. 1A is the only group which has lower than the total GHS score. The highest score was 47, for sodium chromate (CAS no. 7775-11-3), which belongs to group 7ACE. This is classified as acute toxicity, carcinogenicity, germ cell mutagenicity, reproductive toxicity, and acute and chronic environmental hazard. On the other hand, the lowest score was 2.75, which was assigned to 177 chemicals belonging to group 1A. When the health acute toxicity indicator was omitted from the toxic criterion, toxic substances could be divided into the sub-groups 'human chronic hazards group' (HCG) and 'environmental hazards group' (EG) according to their GHS score and properties.

**Conclusions:** The proposed criterion for toxic substances is to establish sub-groups defined as HCG and EG for separate control and that the 1A group be moved to substances requiring preparation for accidents under the CCA.

**Key words:** Chemical ranking and scoring, classification, GHS, hazard, toxic substance

## I. 서 론


우리나라는 여러 부처에서 다양한 법으로 화학물질을 관리하고 있다. 그중 산업안전보건법, 화학물질관리법(이하 화관법), 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률(이하


화평법), 고압가스 안전관리법 등이 주요한 법들이다. 화관법과 화평법의 유독물질은 화평법 시행령 [별표 1]의 '유독물질의 지정기준'에 따라 지정되며, 이 지정기준은 '화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계적인 조화시스템 (Globally Harmonized System of Classification

\*Corresponding author: Kyo-shik Park, Tel: 02-828-7342, E-mail: [safetyguy@ssu.ac.kr](mailto:safetyguy@ssu.ac.kr)

Department of Safety and Health Convergence Engineering, Soongsil University, 369 Sangdo-ro, Dongjak-gu, Seoul, South Korea 06978

Received: June 2, 2022, Revised: July 28, 2022, Accepted: September 5, 2022

 Hyo-dong Kim <https://orcid.org/0000-0002-2103-5478>

 Kyo-shik Park <http://orcid.org/0000-0001-5983-6628>

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.

and Labeling of Chemicals, GHS)의 분류기준에 바탕을 두고 있다(Kim et al., 2015). 이 지정기준에 해당하는 화학물질은 유독물질 후보가 되어 국립환경과학원의 유해성 심사를 통해 분류가 결정되면 행정예고와 최종 지정고시를 거쳐 확정된다. 유독물질로 지정된 후, 이를 취급하는 사업장은 화관법 법규 사항에 따라 영업허가를 받거나 취급 기준이나 취급시설 등 준수사항을 이행하여야 한다. 이러한 의무사항을 이행하기 위하여 비용이나 인력 등이 추가되므로 업체부담으로 이어질 수 있다(Heo et al., 2020).

그러므로, 화학물질 고유의 특성을 기반으로 우선순위 평가를 통해 체계적이고 장기적인 화학물질 정책을 수행하기 위해, 정량적인 화학물질 유해성 평가는 우선평가대상 화학물질 선정 도구(Baik et al., 2010)나 우선관리순위 결정법(Chemical Ranking & Scoring, CRS)등을 활용해서 수행했다. CRS는 유해성이 높은 물질을 우선적으로 관리하기 위하여 우선순위 물질을 선별하는 시스템이다. CRS 평가 모델 중 하나인 EURAM (European Union Risk Ranking Method)은 인체 독성 모델에서 발암성은 10 또는 9점을, 급성독성(경구 및 흡입)은 0~3점을, 기타독성은 유전독성, 생식독성, 호흡증감, 반복용량독성, 자극성, 피부 민감도에 따라 0~10점을 배점하였다(An et al., 2009). 화학물질 유해성 우선순위 및 점수화 연구(Shin et al., 2014)는 급성독성은 1~6점을, 발암성, 생식세포 변이원성 및 생식독성(carcinogenicity, germ cell mutagenicity and reproductive toxicity, CMR) 물질은 구분 1A는 20점, 1B는 16점을 할당하였다. 화학물질 후보물질선정 연구(Yang et al., 2012)에서는 CMR 구분 1은 10점으로 구분 2는 9점을, 급성독성은 1~4점으로 점수를 부여하였다. 내분비계 장애물질 우선관리 결정법 연구(Lim et al., 2018)는 발암성 5점과 생식발달독성 15점을 부여하였다. Oil and gas industry 연구(Verslycke et al., 2014)에서는 환경 유해성 급성 구분 1을 최대 100점으로, 발암성 구분 1을 최대 100점으로, 급성독성 구분 1을 최대 100점으로, 변이원성과 생식독성은 최대 50점으로 부여하였다. GHS 분류에 따른 점수가 여러 연구에서 다양한 목적이나 방법으로 사용되었고, 공통적으로 유해성이 높을수록 높은 점수를 두었다. 특히 CMR 구분은 다른 독성 구분보다 상대적으로 더 높은 점수를 부여하였다.

유독물질로 지정된 물질들이 유해성의 정도가 상당한

차이가 있으니 현재의 획일적인 관리로는 문제가 있기에 차등적 관리가 필요하다는 의견이 꾸준히 제기되어 왔다. 이에 본 연구는 GHS 분류관점으로 유독물질이 현재 하나의 관리체계 안에 두는 것이 과연 합리적인지 알아보려고 하였다. 추가로, GHS 분류 점수화 결과를 토대로 유독물질 지정체계 개선방안을 제시해 보고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구에서 국립환경과학원 고시 제2021-104호(화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정)(NIER, 2021)의 [별표 4]의 유독물질을 연구 대상 물질로 하였고 해당 분류 및 표시를 사용하였다. 고유번호가 같더라도 CAS 번호와 GHS 분류가 다르거나 환경부고시 제2022-70호(유독물질, 제한물질, 금지물질 및 허가물질의 규정수량에 관한 규정)(MoE, 2022)의 [별표1] 유독물질별 규정수량의 '규정수량'이 다른 경우 다른 물질로 보았다. 하지만, 고유번호와 GHS 분류가 같으나 다수의 CAS 번호를 가지고 있으면 하나의 물질로 두었다. 결과적으로 유독물질이 총 1,247종으로 선정되었고 이 중, 유독물질 지정기준에 해당하지 않으나 유독물질인 23종은 유독물질 구분화 연구 등에서 제외하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 유독물질 구분화(Categorization)

유독물질 지정기준을 보면 건강유해성(급성독성), 건강유해성(만성독성)과 환경유해성(수생환경 유해성 급성, 수생환경 유해성 만성)특성으로 나눌 수 있다. 유독물질이 건강유해성 급성(경구, 경피, 흡입) 구분 1~3, 피부부식성 구분 1에 해당하면 건강유해성(health hazards) 급성독성(1A, Acute toxicity)군으로, 특정표적장기 독성-반복노출 구분 1, 생식세포 변이원성 구분 1A 또는 1B, 발암성 구분 1A 또는 1B, 생식독성 구분 1A 또는 1B로 구분되면 건강유해성 만성독성(2C, Chronic toxicity)군으로, 수생환경 유해성 급성 구분 1 또는 만성 구분 1에 해당하면 환경유해성(3E, Environmental hazards)군으로 설정하였다. 위 3군에 중복적으로 구분되는 경우 즉, 건강유해성 급성과 만성독성에 구분되면 4AC(Acute toxicity and Chronic toxicity)군, 건강유해성 만성독성과 환경 유해성으로 구분되면 5CE

(Chronic toxicity and Environmental hazards)군, 건강유해성 급성독성과 환경 유해성으로 구분되면 6AE (Acute toxicity and Environmental hazards)군으로 하였다. 마지막으로 건강유해성 급성과 만성독성 그리고 환경유해성에 모두에 해당하면 7ACE(Acute toxicity, Chronic toxicity and Environmental hazards)군으로 정하였다(Table 1).

예를 들어, 니노셀(CAS no. 88-85-7)은 건강유해성 급성독성 경구 구분 2와 경피 구분 2(1A군 해당), 특정표적장기 독성-반복노출 구분 1(2C군 해당), 수생환경 유해성 급성 구분 1과 만성 구분 1(3E군 해당)로 구분되어 최종적으로 7ACE군으로 할당하였다.

## 2) 유독물질 GHS 점수화(Scoring)

GHS 구분에서 구분이 1에 가까울수록(고(高) 유해성 일수록) 높은 점수를 부여하였다. 건강유해성 급성독성(경구/경피/흡입) 구분 1이면 5점을, 구분 2이면 3점을, 구분 3이면 1점을 할당하였고, 급성독성 경구/경피/흡입 모두에서 구분 1~3에 구분되지 않거나 구분 4로 구분되는 경우에는 최하점 0.5점을 주었다. 피부부식성/피부자극성 구분 1이면 5점, 구분 2이거나 구분되지 않으면 0.5점을 할당하였다. 특정표적장기 독성-반복노출 구분 1이면 10점, 구분 2이거나 구분되지 않으면 0.5점을 할당하였다. 발암성 구분 1이면 10점, 구분 2

이거나 구분되지 않으면 0.5점을 할당하였다. 생식세포 변이원성은 구분 1이면 10점, 구분 2이거나 구분되지 않으면 0.5점을 할당하였다. 생식독성은 구분 1이면 10점, 구분 2이면 0.5점을 할당하였다. 수생환경 유해성은 급성 구분 1 또는 만성 구분 1이면 5점을 할당하고, 만성 구분 2~4이거나 구분되지 않으면 0.5점을 할당하였다. 즉, 유독물질 지정기준 10항목에서 유독물질 지정에 포함되지 않은 구분에 대해 위음성을 배제하기 위하여 0.5점을 최소점으로 주었다(Table 1).

## 3) 유독물질 GHS 점수의 표준화(Normalization)

유독물질 GHS 구분에 따른 유해성을 총 5개(건강 급성독성(health acute toxicity, HAT), 건강 반복독성(health repeated toxicity, HRT) 발암성(carcinogenicity, CT), 건강 기타 만성독성(health other chronic toxicity, HOCT) 그리고 환경 유해성(environmental hazards, EH)로 독성 범주(toxicity indicators)를 구분하였다(Table 1). HAT 점수는 건강 유해성 급성독성(경구, 경피, 흡입)점수와 피부 부식성/자극성 점수의 합을 2로 나눈 값으로, HRT 점수는 특정 표적장기 독성-반복 노출 구분 점수를, CT 점수는 발암성 구분 점수로 하였다. HOCT 점수는 생식세포 변이원성과 생식독성 점수의 합을 2로 나눈 값으로 하였고, EH 점수는 수생 환경 유해성의 급성과 만성의 점

**Table 1.** Group, toxicity indicator and scoring by GHS classification category

GHS classification	Group	Toxicity indicator	Scoring				
			Cat* 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	
Acute toxicity	Oral	Health acute toxicity (HAT)	5	3	1		
	Dermal		5	3	1	0.5	
	Inhalation		5	3	1		
Skin corrosion/irritation			5	0.5	-	-	
Specific target organ toxicity - repeated exposure		Health repeated toxicity (HRT)	10	0.5	-	-	
Carcinogenicity		Chronic toxicity (2C)	Carcinogenicity (CT)	10	0.5	-	-
Germ cell mutagenicity			Health other chronic toxicity (HOCT)	10	0.5	-	-
Reproductive toxicity				10	0.5	-	-
Hazardous to the aquatic environment	Acute	Environmental hazards (3E)	Environmental hazards (EH)	5	-	-	-
	Chronic			5	0.5	0.5	0.5

\*Cat: GHS Category

수의 합으로 하였다. 최종 GHS 점수(Total GHS score)는 5종 범주 점수를 합한 값으로 정하였고 최소 2.5에서 최대 50점 사이 값으로 계산된다.

추가로, 1A군 특성인 HAT 점수를 제외하고 4종 범주(HRT, CT, HOCT, EH)의 GHS 점수의 합으로 수정된 최종 GHS 점수(Modified total GHS Score)를 구하였다. 이 값은 최소 2에서 최대 40점 사이 값으로 계산된다.

4) 통계 분석

통계 분석은 JAMOVI(version 2.2.5)를 이용하여 분석하였다. 유독물질 점수가 군별로 차이가 있는지 확인하기 위하여 비모수 분산분석(one-way ANOVA, non-parametric)을 수행하였고, 분산분석결과 사후 검정(DSCF(Dwass-Steel-Critchlow-Fligner) pairwise comparisons)을 통해 확인하였다. 군별과 독성범주 상관성을 검증하기 위해 피어슨(Pearson) 상관분석을 수행하였다.

III. 결 과

1. 독성범주 상관성 분석

독성범주간에 독립성이 유지되는지 확인하기 위하여 지표 간에 상관성 분석을 하였다. 통계적으로 유의성이 확인된 지표들에서는 상관계수가 0.5보다 낮아 서로 상관성

이 낮다는 것을 알 수 있고, 이를 통해 이 독성지표들은 서로 독립적이며 적절히 선정된 지표임을 알 수 있었다.

반면 5종 범주와 최종 GHS 점수 사이에서는 EH, HRT, CT, HOCT 범주 순으로 관련성이 높은 것으로 나타났다. 반면 HAT의 경우 Pearson's r값이 0.182로 다른 범주와 다르게 최종 GHS 점수와 낮은 상관성을 보였다. 수정된 최종 GHS 점수의 상관성 분석 결과 4종 범주와는 HRT와 CT, HOCT 범주 순으로 관련성이 높은 것으로 나왔고, EH는 Pearson's r값이 0.284로 상대적으로 낮은 상관성을 보였다(Table 2).

2. 유독물질 점수화 결과

1) 유독물질 구분화

유독물질 1,247종 중 유독물질 지정기준과 일치하지 않는 것은 23종이었다. 예를 들어, 2-methyl-1,3-benzenediamine(CAS no. 823-40-5)은 생식세포 변이원성 구분 2로 구분되어 지정기준인 생식세포 변이원성 구분 1과 일치하는 구분이 아니었다. 말레산 히드라지드(CAS no. 123-33-1)는 급성독성 경구 구분 4로만 구분되고, 오미딘(CAS no. 1121-31-9)은 피부 부식성/자극성 구분 2, 심한 눈 손상/눈 자극성 구분 2, 특정 표적장기 독성-1회 노출 구분 3으로 구분되어 유독물질 지정기준에 부합하는 구분이 없는 물질이다. 23종 중 6종의 물질들은 유독물질 지정기준에는 부합하지 않으나, 사고대비 물질 정의 중 하나인 '인화성, 폭발성 및 반응성, 유출·누

Table 2. Correlation coefficient(Pearson's r) of toxicity indicators

		HAT	HRT	CT	HOCT	EH	GHS score
Health acute toxicity (HAT)	Total <sup>†</sup>	—					
	Total	0.093**	—				
Health repeated toxicity (HRT)	Total	-0.097***	0.230***	—			
	Modified <sup>‡</sup>	NA	0.182***	—			
Carcinogenicity (CT)	Total	-0.061**	0.289***	0.386***	—		
	Modified	NA	0.253***	0.348***	—		
Health other chronic toxicity (HOCT)	Total	-0.039	0.112***	0.051	0.061*	—	
	Modified	NA	-0.105**	-0.289***	-0.197***	—	
Environmental hazard (EH)	Total	0.182***	0.582***	0.572***	0.482***	0.689***	—
	Modified	NA	0.625***	0.625***	0.522***	0.284***	—

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

<sup>†</sup>Total: Total GHS score, <sup>‡</sup>Modified: Modified total GHS score

**Table 3.** Toxic substances not corresponding to the designated criterion

KE no.	Chemical name	CAS no.	Acc* number	Classification <sup>†</sup>	Cut-off (%)	
					Acc	Toxic
97-1-81	Methyl ethyl ketone	78-93-3	15	<b>FL category 2</b> Eye category 2	25	85
97-1-161	Ethyl acetate	141-78-6	32	STOT-SE category 3		
97-1-201	Methyl chloride	74-87-3	6	<b>FG category 1</b> <b>GP category 2</b> AT(oral) category 4 AT(inhalation) category 4 Carc. category 2 STOT-RE category 2	1	1
97-1-214	Phosphorus pentasulfide	1314-80-3	No	<b>FS category 2</b> <b>WFG category 1</b> AT(oral) category 4 SC category 2	No	1
97-1-298	Toluene	108-88-3	28	<b>FL category 2</b> SC category 2 RT category 2 STOT-SE category 3 STOT-RE category 2 AH category 1	85	85
2008-1-571	1,3-Bis[(acrylamidomethoxy)methyl]urea	30417-37-9	No	<b>FL category 2</b> AT(oral) category 4 Germ category 2 STOT-RE category 2	No	1

\*Acc: Substances requiring preparation for accident under the Chemical Control Act

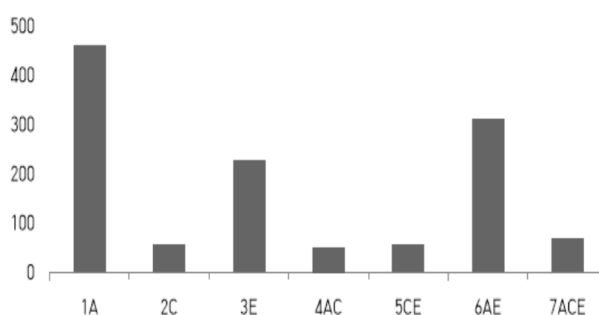
<sup>†</sup>Classification: GHS classification of NIER no. 2021-104 [Appendix 4]

FL (Flammable liquids), Eye (Serious eye damage/eye irritation), STOT-SE (Specific target organ toxicity-single exposure), FG (Flammable gases), GP (Gases under pressure), AT (Acute toxicity), Carc. (Carcinogenicity), STOT-RE (Specific target organ toxicity-repeated exposure), FS (Flammable solids), WFG (Substances and mixtures which, in contact with water, emit flammable gases), SC (Skin corrosion/irritation), RT (Reproductive toxicity), AH (Aspiration hazard), Germ (Germ cell mutagenicity)

출 가능성 등 물리적·화학적 위험성이 높은 물질(MoE, 2021)'에 해당하는 물리적 위험성 구분(Table 3에서 진하게 표기된 GHS 구분)을 포함하고 있다. 이 중 4종(methyl ethyl ketone, ethyl acetate, methyl chloride와 toluene)은 사고대비물질에 해당한다. methyl ethyl ketone과 ethyl acetate의 유독물질의 함량기준(cut-off)은 85%이고 사고대비물질은 25%이므로, 이미 25%가 넘는 혼합물질 제품은 사고대비물질로서 화관법에서 규제되어 있다.

유독물질 1,224종을 7개 군으로 나눈 결과 1A 461개(37.66%), 2C 54개(4.41%), 3E 224개(18.30%), 4AC 50개(4.08%), 5CE 55개(4.49%), 6AE 309개(25.25%), 7ACE 71개(5.80%)로 구분되었다(Figure 1).

1A 약 38%, 3E 약 18%, 6AE 약 25%로 건강유해성만 성독성 특성을 포함하지 않은 유독물질이 약 81%로 나타



**Figure 1.** Number of toxic substances in the seven groups

났다. 즉, 현재 유독물질 지정이 건강유해성 급성독성과 환경유해성에 치중되었음을 알 수 있다.

환경 유해성으로 구분된 3E, 5CE, 6AE와 7ACE 군에 포함된 659종 중 104종만 환경 급성 유해성이었고 나머지 555종은 환경 급성 및 만성 유해성으로 구분되었다.

다시 말해, 환경 유해성으로 구분되는 물질 중 약 16%만 급성으로 구분되고 그 외 약 84%는 급성과 만성 모두 구분되었다. 즉, 유독물질에서 환경 유해성은 급성보다는 만성을 포함한 유해성 특성을 가진 물질이 대다수임을 알 수 있었다.

다시 말해, 유독물질 7개군 중 1A 군만 유일하게 급성 특성만을 가지고 있고 나머지 군의 경우는 만성 특성을 포함한다고 볼 수 있어 다른 군들과는 다른 특징을 나타내고 있었다.

1A 군에서 건강 유해성 급성독성 구분 3으로만 구분되는 유독물질은 177건으로 약 38%이다. 이 177건 중 129건은 물리적 위험성이나 유독물질 지정 구분이 아닌 다른 구분이 하나도 포함되지 않고, 오로지 급성독성 경구 구분 3으로 구분된 물질들(예, 디메탄(CAS no. 122-15-6))로서 전체 유독물질 1,224건에서 약 10%에 해당하였다.

## 2) 유독물질 표준화 점수 결과

유독물질 1,224종을 Table 1에 따라 점수화하고, 이 점

수를 총 5개 범주에 따른 표준화 과정(normalization)을 통해 최종 GHS 점수를 구하였다. 예를 들어 무수 크롬산(CAS no. 1333-82-0)은 Table 4와 같이 계산되어 최종 GHS 점수가 37.5점이 나왔고, 수정된 최종 GHS 점수는 30.5점으로 계산되었다.

각 7개 군에서 가장 높은 최종 GHS 점수순으로 5순위 화학물질(Table 5)을 선정하였다. 1A 군은 최고점이 9점이었고 다음은 8.5점이었다. 5종 모두 건강유해성 급성독성 구분 1과 피부부식성 구분 1에 구분되었고, 공통된 그림문자는 GHS05와 GHS06이었다. 2C 군은 벤젠이 가장 높은 점수인 26.25점이고, 다음 점수는 21.5점과 16.75점이고, 공통 그림문자는 GHS08이었다. 3E 군은 환경유해성 급성으로만 구분되면 7점이고, 급성과 만성 모두 구분되면 12점으로 2종 점수로만 계산되므로 해당 표에는 기재하지 않았다. 4AC 군은 아크릴아미드가 26.5점으로 가장 높은 점수가 나왔고, 공통 그림문자는 GHS06과 GHS08이었다. 5CE 군은 nickel dichromate, nickel sulfamate, nickel acetate, cobalt sulfate가 35.75점으로 가장 높은

**Table 4.** Normalized and normalized modified total GHS score of Chromic anhydride

GHS category	Toxicity indicator	GHS score	Normalized GHS score	Normalized modified GHS score
Oxidizing solids 2	NA	NA	NA	NA
Acute toxicity (oral) 3		1		
Acute toxicity (dermal) 1	Health acute toxicity (HAT)	5	$(1+5+3+5)/2 = 7$	NA
Acute toxicity (inhalation) 2		3		
Skin corrosion/irritation 1		5		
Respiratory sensitization 1	NA	NA	NA	NA
Skin sensitization 1		NA	NA	NA
Germ cell mutagenicity 2	Health other chronic toxicity (HOCT)	0.5	$(0.5+0.5)/2=0.5$	$(0.5+0.5)/2=0.5$
Reproductive toxicity 2		0.5		
Carcinogenicity 1	Carcinogenicity (CT)	10	10	10
Specific target organ toxicity - single exposure 3	NA	NA	NA	NA
Specific target organ toxicity - repeated exposure 1	Health repeated toxicity (HRT)	10	10	10
Hazardous to the aquatic environment - acute 1	Environmental Hazards (EH)	5	5+5=10	5+5=10
Hazardous to the aquatic environment - chronic 1		5		
Total score			37.5	30.5

**Table 5.** H code, pictogram and total GHS score of the top five ranked toxic substances

Group	Chemical name (CAS no.)	H code*	Pictogram**	Total GHS score
1A	Methanesulfonyl chloride (124-63-0)	<b>H301, H310-2, H330-1, H314</b>	GHS05, GHS06	9
	Fuming sulfuric acid (8014-95-7)	<b>H300-1, H330-2, H314</b>	GHS05, GHS06	8.5
	Osmium tetroxide (20816-12-0)	<b>H300-2, H330-1, H314</b>	GHS05, GHS06	8.5
	Hydrogen fluoride (7664-39-3)	H290, <b>H310-1, H330-2, H314</b>	GHS05, GHS06	8.5
	Tetramethylammonium hydroxide (75-59-2)	<b>H300-2, H310-1, H314, H411</b>	GHS05, GHS06, GHS09	8.5
2C	benzene (71-43-2)	H225, H315, H319, <b>H340, H350, H372,</b> H304, H411	GHS02, GHS07, GHS08, GHS09	26.25
	Cadmium sulphide (1306-23-6)	H302, H341, <b>H350, H361, H372, H412</b>	GHS07, GHS08	21.5
	Warfarin, salts (CAS no. NA) Warfarin (81-81-2, 5543-57-7, 5543-58-8)	<b>H360, H372, H412</b>	GHS08	16.75
	Nitrofen (1836-75-5)	H302, <b>H350, H360, H411</b>	GHS07, GHS08, GHS09	16.75
	Ethyl carbamate (51-79-6)	H302, <b>H340, H350</b>	GHS07, GHS08	16.75
	2-Nitrotoluene (88-72-2)	H302, <b>H340, H350, H361, H411</b>	GHS07, GHS08, GHS09	16.75
	1,3-Butadiene (106-99-0)	H220, H280L, <b>H340, H350</b>	GHS02, GHS04, GHS08	16.75
	N,N-Dimethylformamide (68-12-2)	H226, H332, H319, <b>H350, H360</b>	GHS02, GHS04, GHS08	16.75
4AC	Acrylamide (79-06-1)	<b>H301, H312, H315, H317, H319,</b> <b>H340, H350, H361, H372</b>	GHS06, GHS08	26.5
	Diethyl sulfate (64-67-5)	H302, <b>H311, H332, H314, H340, H350</b>	GHS05, GHS06, GHS08	19.25
	Nickel carbonyl (13463-39-3)	H225, <b>H330-1, H350, H360</b>	GHS02, GHS06, GHS08	19
	Propylene oxide (75-56-9)	H224, H302, <b>H311, H331, H319,</b> <b>H340, H350, H335</b>	GHS02, GHS06, GHS08	17.5
	2-Propyn-1-ol (107-19-7)	H226, <b>H301, H310-2, H330-2,</b> <b>H314, H350, H373</b>	GHS02, GHS05, GHS06, GHS08	17.5
	Ethylene oxide (75-21-8)	H220, H280L, <b>H301, H331, H315,</b> H319, H335, <b>H340, H350</b>	GHS02, GHS04, GHS06, GHS08	17.5
5CE	Nickel dichromate (15586-38-6)	H317, H334, H341, <b>H350, H360,</b> <b>H372, H400, H410</b>	GHS08, GHS09	35.75
	Nickel sulfamate (13770-89-3) Nickel acetate (373-02-4)	H302, H315, H317, H318, H332, H334, H341, <b>H350, H360, H372, H400, H410</b>	GHS05, GHS07, GHS08, GHS09	35.75
	Cobalt sulfate (10124-43-3)	H302, H319, H334, H317, H341, <b>H350, H360, H372, H400, H410</b>	GHS07, GHS08, GHS09	35.75
	Nickel dicyanide (557-19-7) Nickel chromate (14721-18-7)	H334, H317, <b>H350, H372, H400, H410</b>	GHS08, GHS09	31
	Nickel hydroxide (12054-48-7, 11113-74-9)	H317, <b>H350, H372, H400, H410</b>	GHS07, GHS08, GHS09	31
	Nickel(2+) neodecanoate (85508-44-7)	H334, H317, <b>H350, H372, H400, H410</b>	GHS08, GHS09	31

Table 5. Continued

Group	Chemical name (CAS no.)	H code*	Pictogram**	Total GHS score
6AE	Acrolein (107-02-8)	H225, H300-2, H310-2, H330-1, H314, H400, H410	GHS02, GHS05, GHS06, GHS09	19.5
	Disulfoton (298-04-4) Aldicarb (116-06-3) Terbufos (13071-79-9) Phorate (298-02-2) Tebupirimfos (96182-53-5)	H300-1, H310-1, H330-1, H400, H410	GHS06, GHS09	19.25
	Hydrogen cyanide (74-90-8)	H224, H300-1, H310-1, H330-1, H400, H410	GHS02, GHS06, GHS09	19.25
7ACE	Sodium chromate (7775-11-3)	H301, H330-2, H314, H317, H334, H340, H350, H360, H372, H400, H410	GHS05, GHS06, GHS08, GHS09	47
	Potassium dichromate (7778-50-9) Ammonium dichromate (7789-09-5) Sodium dichromate (10588-01-9)	H272, H301, H311, H330-2, H314, H317, H334, H340, H350, H360, H372, H400, H410	GHS03, GHS05, GHS06, GHS08, GHS09	45
	Cadmium chloride (10108-64-2) Cadmium sulphate (10124-36-4)	H301, H330-2, H340, H350, H360, H372, H400, H410	GHS06, GHS08, GHS09	42.25
	Dichromic acid, salts (CAS no. NA) Dichromic acid (13530-68-2)	H272, H301, H330-2, H317, H334, H340, H350, H360, H372, H400, H410	GHS03, GHS06, GHS08, GHS09	42.25

\*H code:

H220 (flammable gases category 1), H224 (flammable liquid category 1), H225 (flammable liquid category 2), H226 (flammable liquid category 3), H272 (oxidizing liquids category 2), H280L (gases under pressure liquefied gas), H290 (corrosive to metals category 1), H300-1 (acute toxicity (oral) category 1), H300-2 (acute toxicity (oral) category 2), H301 (acute toxicity (oral) category 3), H302 (acute toxicity (oral) category 4), H304 (aspiration hazard category 1), H310-1 (acute toxicity (dermal) category 1), H310-2 (acute toxicity (dermal) category 2), H311 (acute toxicity (dermal) category 3), H312 (acute toxicity (dermal) category 4), H314 (skin corrosion/irritation category 1), H315 (skin corrosion/irritation category 2), H317 (skin sensitization category 1), H318 (serious eye damage/eye irritation category 1), H319 (serious eye damage/eye irritation category 2), H330-1 (acute toxicity (inhalation) category 1), H330-2 (acute toxicity (inhalation) category 2), H331 (acute toxicity (inhalation) category 3), H332 (acute toxicity (inhalation) category 4), H334 (respiratory sensitization category 1), H335 (specific target organ toxicity-single exposure category 3), H340 (germ cell mutagenicity category 1), H341 (germ cell mutagenicity category 2), H350 (carcinogenicity category 1), H360 (reproductive toxicity category 1), H361 (reproductive toxicity category 2), H372 (specific target organ toxicity-repeated exposure category 1), H373 (specific target organ toxicity-repeated exposure category 2), H400 (hazardous to the aquatic environment, acute hazard category 1), H410 (hazardous to the aquatic environment, chronic hazard category 1), H411 (hazardous to the aquatic environment, chronic hazard category 2), H412 (hazardous to the aquatic environment, chronic hazard category 3)

\*\*Pictogram (GHS code and symbol):

GHS02 (Flame), GHS03 (Flame over circle), GHS04 (Gas cylinder), GHS05 (Corrosion), GHS06 (Skull and crossbones), GHS07 (Exclamation mark), GHS08 (Health hazard), GHS09 (Environment)

점수를 얻었고, 다음 점수는 31점이었다. cobalt sulfate를 제외하고는 Nickel류 5종이 상위 점수 군에 해당하였다. 또한, 공통 그림문자는 GHS08과 GHS09였다. 6AE 군에서는 아크롤레인이 19.5점으로 가장 높았고 공통 그림문자는 GHS06과 GHS09였다. 마지막으로, 7ACE 군 및 모든 군에서 가장 높은 점수는 47점으로 sodium chromate였다. 7ACE 군의 공통 그림문자로

는 GHS06, GHS08 및 GHS09였다. 상위 점수에 해당하는 물질들은 Sodium, cadmium, chromate, potassium, ammonium 등과 같은 중금속 염류나 산 등이었다. 이들은 모두 CMR 구분 1, 환경유해성 급성 구분 1과 만성 구분 1로 구분되어 높은 점수를 가질 수 있었다.

제2021-104호(화학물질의 분류 및 표시 등에 관한



규정)(NIER, 2021)의 [별표 3]에서는 유해·위험문구에 대해서 기술되어 있으며, [별표 4]에서는 그림문자에 대해 설명되어 있다. 예를 들어, H300은 급성독성 경구 구분 1과 2를 나타내는 유해문구(H code)로 '삼키면 치명적임'이란 뜻을 나타낸다. 다만 본 연구에서는 구분 1과 2를 구분하기 위하여 H300-1과 H300-2 등과 같이 임의로 구분하여 작성하였다. 그림문자(Pictogram)는 유해성 항목을 쉽게 파악하기 위한 마름모꼴에 빨간색 테두리 안에 검은색 그림이 있는 표식이다. 예를 들어, 부식성 그림인 GHS05는 '피부 부식성/자극성 구분 1'이거나 '심한 눈손상/눈 자극성 구분 1'일 때 표기하는 그림문자에 해당한다.

### 3) 7개 군의 최종점수 상관관계

7개 군의 상관관계(Table 6)에서 각 군의 최종 GHS 점수에서 Pearson's r 값 중 두 값(0.334, 0.290)과 수정된 최종 GHS 점수에서 Pearson's r 값 중 두 값(0.334, 0.288)만 p-value가 0.05 미만으로 나왔다. 하지만, 이 네 값의 Pearson's r값이 모두 0.4 이하로 나와서 서로 상관성이 낮은 것으로 판단할 수 있다. 그리고 이 네 값을 제외하고는 모두 p-value가 0.05 이상으로 나와 통계적으로 유의하지 않음을 알 수 있다. 즉, 7개 군이 최종 GHS 점수와 수정된 최종 GHS 점수를 기준으로 판단하면 서로 관련성이 낮음을 확인할 수 있었다.

### 4) 유독물질 점수의 표준화 관계

유독물질 1,224종에 대하여 최종 GHS 점수를 계산하였다. 최종 GHS 점수값의 정규성(Shapiro-Wilk)검증 결과  $p < .001$ 로 정규성에 부합하지 못하였고, 따라서 비모수 분산분석(one-way ANOVA, non-parametric) Kruskal-Wallis 방법을 수행하였다. 분산분석 결과 사후검정은 DSCF(Dwass-Steel-Critchlow-Fligner) pairwise comparisons를 수행하였다.

최종 GHS 점수의 Kruskal-Wallis의  $\chi^2$  값은 1034 ( $p < .001$ )이며, 통계적으로 유의성을 보였다. 군별로 살펴보면, 1A는 평균점수가 4.0으로 가장 낮게 나왔고, 사후검정결과 다른 모든 군과  $p < .001$ 로 나와 통계적으로 유의하였다. 즉, 다른 군과 평균점수가 통계적으로 차이가 있었다. 7ACE는 평균점수가 27.9로 가장 큰 점수가 나왔고, 다른 모든 그룹과 사후검정결과 ( $p < .001$ , 5CE만 .004) 다른 군과 통계적으로 유의하였다.

2C와 3E는 평균점수가 각 11.6과 11.2이며, 사후검정결과 p-value가 0.995로 통계적으로 유의하지 않았다. 다만 2C는 건강유해성(만성독성) 군이고 3E는 환경유해성 군으로 특성 자체가 다르므로 여전히 다른 군으로 분류하였다. 2C의 사후검정결과는 3E를 제외하고 모두 ( $p < .001$ ) 통계적으로 유의하였다. 3E는 2C를 제외하고 모두( $p < .001$ ) 통계적으로 유의하였다. 따라서 최종 GHS 점수 평균값을 기준으로 서로 다른 군으로 판단하였다.

4AC와 6AE는 각 평균이 14.1과 13.2로 나왔고, 사

**Table 6.** Correlation coefficients(Pearson's r) among each of the seven groups

		1A	2C	3E	4AC	5CE	6AE	7ACE
1A	Total <sup>†</sup>	-						
2C	Total	0.142	-					
3E	Total	-0.093	0.334*	-				
	modified <sup>‡</sup>	-	0.334*	-				
4AC	Total	0.010	0.290*	-0.054	-			
	modified	-	0.288*	-0.096	-			
5CE	Total	-0.232	-0.220	-0.040	-0.085	-		
	modified	-	-0.220	-0.040	-0.152	-		
6AE	Total	0.073	-0.260	-0.070	-0.178	0.171	-	
	modified	-	-0.110	-0.073	-0.123	0.201	-	
7ACE	Total	0.052	-0.125	-0.097	-0.204	-0.155	0.193	-
	modified	-	-0.124	-0.029	-0.170	-0.223	-0.175	-

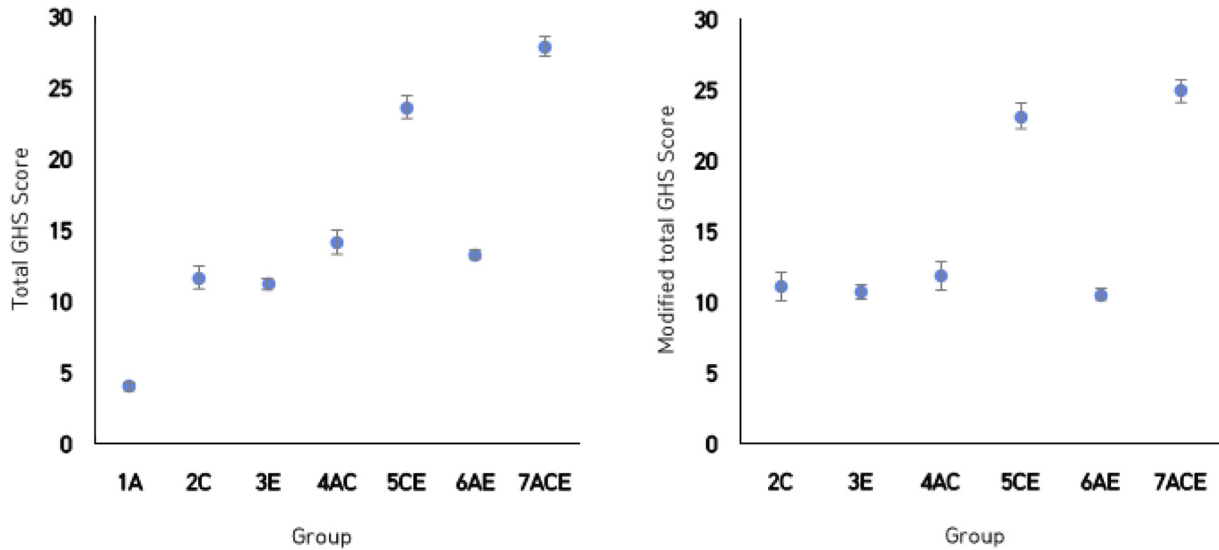
\* $p < .05$

<sup>†</sup>Total: Total GHS score, <sup>‡</sup>Modified: Modified total GHS score

**Table 7.** Total and modified total GHS score by the seven groups

Group	Total GHS score			Modified total GHS score		
	Mean (S.D.) <sup>†</sup>	Min	Max	Mean (S.D.)	Min	Max
1A	4.0 (1.38)	2.75	9.00	NA	NA	NA
2C	11.6 (3.94)	7.25	26.25	11.1 (3.94)	6.75	25.75
3E	11.2 (1.86)	7.00	12.00	10.7 (1.86)	6.50	11.50
4AC	14.1 (3.30)	8.00	26.50	11.8 (3.24)	6.75	25.75
5CE	23.6 (5.72)	11.75	35.75	23.1 (5.72)	11.25	35.25
6AE	13.2 (2.58)	7.25	19.50	10.5 (1.99)	6.50	11.50
7ACE	27.9 (7.64)	17.50	47.00	24.9 (7.46)	16.00	40.00
Total	10.7 (7.26)	2.75	47.00	12.9 (6.07)	6.50	40.00

<sup>†</sup>Mean (S.D.): Arithmetic mean (Standard Deviation)



**Figure 2.** Total and modified total GHS score (Y-axis is mean score and error bar is the 95% confidence interval.)

후검정결과 p-value가 0.852로 나와 유의하지 않음을 알 수 있다. 다만, 이 구분에서 건강유해성 급성특성인 A를 제외하면 C(건강유해성(만성독성))과 E(환경유해성)은 군 자체 특성이 다르므로 다른 군으로 구분하였다. 사후검정결과 4AC는 6AE를 제외하고 모두 ( $p < .001$ ) 통계적으로 유의하였다. 6AE 또한 4AC를 제외하고 사후검정결과 모두( $p < .001$ ) 통계적으로 유의하게 나왔다.

1A와 7ACE 평균점수는 약 7배 차이가 났고, 1A의 평균점수는 전체 유독물질 평균인 10.7과 비교하여도 약 2.7배 차이 났다. 즉, 최종 GHS 점수 결과값으로 본다면 유독물질들이 유사한 유해성을 같은 물질이라고 할 수 없다.

특히, 1A 군 평균점수만 다른 군과는 달리 총 평균점수인 10.7보다 낮게 나와 상대적으로 다른 군보다 저(低) 유해성에 해당하였다.

따라서, 유독물질 지정기준에서 1A에 해당하는 특성을 삭제한 수정된 최종 GHS 점수로 다시 비모수 분산분석(one-way ANOVA, non-parametric) Kruskal-Wallis 방법을 수행하였다. 분석결과  $\chi^2$ 은 416 ( $p < .001$ )로 나왔다. 다음의 모든 6군은 1A군 특성을 제외한 계산 결과값이다. 다시 말해, 2C와 4AC는 새롭게 건강유해성(만성독성)으로, 3E와 6AE는 환경유해성으로, 5CE와 7ACE는 건강유해성(만성독성)과 환경유해성으로 구분된 군이다.

6개 군 전체 평균은 12.9이며, 2C, 3E, 4AC와 6AE

의 평균값은 유사한 값이 나왔고, 5CE와 7ACE 평균은 전체 평균의 약 2배가 나왔다.

2C와 4AC의 각 평균은 11.1과 11.8이며 사후검정 결과 p-value가 0.729로 유의하지 않은 결과가 나왔다. 다시 말해 이 두 개의 군을 하나의 새로운 군인 '건강만성 유해성 군(human chronic hazards group, HCG)'으로 다시 정의하였다. 2C와 3E의 p-value가 0.987이며, 2C와 6AE와 p-value 0.820이지만, C는 건강유해성(만성독성) 군이고 E는 환경유해성 군으로 특성 자체가 다르므로 다른 군으로 두었다. 3E와 6AE의 각 평균은 10.7과 10.5이며, 사후검정결과 p-value가 0.934로 유의하지 않음을 알 수 있고, 즉 이 두 개의 군을 하나의 새로운 군인 '환경 유해성 군(environmental hazards group, EG)'으로 새로 정의하였다. 3E와 4AC의 p-value가 0.038로 유의하지 않으나, C는 건강유해성(만성독성) 군이고 E는 환경유해성 군으로 특성 자체가 다르므로 다른 군으로 두었다. 또한, 4AC와 6AE의 p-value가 0.009로 유의하지 않으나, C는 건강유해성(만성독성) 군이고 E는 환경유해성 군으로 특성 자체가 다르므로 다른 군으로 두었다.

그리고, 5CE와 7ACE 각 평균은 23.1과 24.9이며, p-value가 1.000으로 통계적으로 유의하지 않았으며, 따라서 이 두 군을 하나의 군인 '건강만성 및 환경 유해성 군(human chronic and environmental hazards group, HCEG)'으로 새로 묶을 수 있을 것이다.

#### IV. 고 찰

현재까지 약 천여 종 넘는 유독물질이 지정되어 관리되고 있다. 이 물질들이 과연 유독물질이라는 일원화된 체계로 관리되는 것이 적절하냐는 의문이 계속해서 있었다. 이를 확인하기 위하여 현 유독물질 지정체계에 건강유해성(급성독성), 건강유해성(만성독성)과 환경유해성(수생환경 유해성 급성, 수생환경 유해성 만성) 군으로 구분하였고, 중복구분을 포함하여 총 7개의 군으로 나누었다. 그리고, GHS 구分的 유해성 가중에 따라 최대 10점을 두었고, 위음성을 배제하기 위하여 0.5점을 최소점으로 두었다. 유독물질을 GHS 구분에 따라 점수화한 결과 sodium chromate가 47점으로 최대점이 나왔고, 최소점은 2.75점으로 급성독성 구분 3으로 구분되는 물질들이었다. 즉, 유독물질들은 GHS에 따른 유해성 관점으로 볼 때, 하나의 관리체계에 담기에는

상당한 차이가 있음을 확인하였고 이 결과를 통해 유독물질 체계를 세분화할 정당성을 얻을 수 있었다.

각 군 간에 분산분석을 확인한 결과 건강유해성 급성독성 군인 1A는 현 유독물질 체계에서 제외하는 것이 적절해 보였다. 즉, 본 연구에서는 유독물질 분류 체계 재정립을 위하여 나머지 6개 군과 다른 특성을 보이는 1A를 유독물질로 관리하기보다는 사고대비물질로 이관하거나 다른 관리방식을 고려하는 것을 제안하게 되었다. 예를 들어, 1A 군에서 급성독성 구분 3으로만 구분되는 유독물질은 177건 중 사고대비물질로 지정된 3종(4-니트로톨루엔(CAS no. 99-99-0), 핵사플루오로-1,3-부타디엔(CAS no. 685-63-2), 트리메틸아민(CAS no. 75-50-3))과 인화성 고체 등과 같은 물리적 위험성을 포함하는 물질 5종(메타알데히드(CAS no. 108-62-3), 시클로니트(CAS no. 121-82-4), N-2-프로펜일-2-프로펜-1-아민(CAS no. 124-02-7), 디메틸설파이드 보란(CAS no. 13292-87-0), tert-부틸포스핀(CAS no. 2501-94-2) 및 (부톡시메틸)옥시란(CAS no. 2426-08-6))은 유독물질에서 삭제하고 사고대비물질로 이관하여, 물리적 위험성 관리에 더 집중할 필요가 있다고 판단하였다.

반면, 물리적 위험성이나 유독물질 지정 구분에 해당하는 구분이 하나도 포함되지 않고 오로지 건강유해성 급성독성 경구 구분 3으로만 구분된 129건(예, 디메탄(CAS no. 122-15-6))은 과연 이들을 유독물질 지정체계 안에 남겨 두는 것이 적절한지는 고려해 볼 문제일 것이다. 상대적으로 저 유해성을 가진 이들을 유독물질로 두는 것이 과연 효율적인 화학물질 관리인지는 추가로 연구해야 할 것으로 판단되었다.

추가로, 유독물질 지정기준에 부합하지 않는 23종 중 4종(methyl ethyl ketone, ethyl acetate, methyl chloride와 toluene)은 사고대비물질에 해당한다. 이들은 유독물질에서 삭제하고 사고대비물질로서 물리적 위험성 관리에 더 적극적으로 관리하는 것이 합당하다고 판단하였다.

#### V. 결 론

본 연구에서는 유독물질 체계 정비를 목적으로 유독물질을 GHS 구분에 따라서 점수화한 결과를 토대로 다음과 같이 제안한다.

첫째, 우선적으로 유독물질 지정기준에 부합하지 유

독물질을 유독물질 목록에서 삭제하여 유독물질 목록을 재정비한다.

둘째, 건강유해성 급성독성(경구, 경피, 흡입) 구분 1~3은 유독물질 지정체계에서 제외하고 사고대비물질의 정의 중 하나인 '경구(經口) 투입, 흡입 또는 피부에 노출될 경우 급성독성이 큰 물질(MoE, 2021)' 부분을 '급성독성(경구, 경피, 흡입) 구분 1~3 등에 해당'과 같이 명확하게 변경할 것을 제안한다.

셋째, 1A 군에 해당하는 물질은 유독물질에서 제외하고 사고대비물질로 이관하여 관리한다. 다만, 급성독성 구분 3으로만 구분되는 물질의 경우 사고대비물질에서도 제외할지는 추가 평가가 필요한 부분이다.

넷째, 유독물질은 '건강만성 유해성 군(HCG)'과 '환경 유해성 군(EG)' 및 두 특성을 모두 포함한 '건강만성 및 환경 유해성 군(HCEG)'으로 다원화하여 관리할 것을 제안한다. CMR 특성을 갖는 'HCG'는 작업자가 낮은 농도에도 오랜 기간 노출될 때 전 생애에 걸쳐서 고위험성 질환으로 이어질 수 있으므로 노출 관리 등 작업자 노출 관리에 더욱 집중하는 방식으로, 'EG'는 해당 물질이 누출 및 유출되지 않는 시설 체계 관리에 중점을 두는 방식 등으로 관리체계의 다양화가 필요할 것이다. 다만 이들 관리방식의 체계 정립은 추후 국내외 타 법령과 관리체계를 더욱 살펴본 후 세부사항을 정할 필요가 있을 것이다.

## References

- An YJ, Jeong SW, Kim MJ, Yang CY. Comparative study of exposure potential and toxicity factors used in Chemical Ranking and Scoring System. *J. ENVIRON. TOXICOL* 2009;24(2):95-105
- Baik NS, Chung JD, Park CH. Assessment of priority order using the chemical to cause to generate occupational diseases and classification by GHS. *Journal of the Environmental Sciences* 2010;19(6): 715-735
- Heo SH, Park DE, Kim SU. A study on the designation of toxic substances Rationalization of Hazard assessment related to the rubber industry. *Rubber Technology* 2020;21(2):59-67
- Kim SJ, Yoon CS, Ham SH, Park JH, Kim SH et al. Study on the chemical management - 2. Comparison of classification and health index of chemicals regulated by the Ministry of Environment and the Ministry of the Employment and Labor. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2015;25(1):58-71
- Lim MY, Park JY, Ji KH, Lee KY. Development and application of a Chemical Ranking and Scoring System for the management of endocrine disrupting chemicals. *J Environ Health Sci* 2018; 44(1):76-89
- Ministry of Environment (MoE) of South of Korea. Chemical Control Act (Act No. 18174). 2021
- Ministry of Environment (MoE) of South of Korea. Regulations on the qualifying quantities of Toxic substances, Restricted substances, Prohibited substances and Substance subject to permission (MoE No. 2022-70). 2022
- National Institute of Environment Research (NIER) of South Korea. Regulations on Classification and Labeling of Chemical Substances (NIER No. 2021-104). 2021
- Shin SM, Moon HI, Lee KS, Hong MK, Byeon SH. A Chemical Risk Ranking and Scoring Method for the selection of harmful substances to be specially controlled in occupational environments. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2014;11:12001-12014
- Verslycke T, Reid K, Bowers T, Thakali S, Lewis A. The Chemistry Scoring Index (CSI): A hazard-based scoring and ranking tool for chemicals and products used in the oil and gas industry. *Sustainability* 2014;6:3993-4009
- 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

## <저자정보>

박교식(교수), 김효동(박사과정 대학원생)