

사고대비물질 상위 및 하위규정수량의 적정성 평가

김효동* · 김혜리* · 서청민* · 전진우** · 박교식***†

Evaluation of Adequacy of Upper and Lower Tier Qualifying Quantities for the Substance Requiring Preparation for Accidents

Hyodong Kim* · Haelee Kim* · Cheongmin Seo* · Jinwoo Jun** · Kyoshik Park***†

†Corresponding Author

Kyoshik Park

Tel : +82-2-2408-7447

E-mail : hway21@empal.com

Received : November 23, 2021

Revised : February 4, 2022

Accepted : March 4, 2022

Abstract : Currently, in Korea, lower and upper tier qualifying quantities of the 97 substances requiring preparation for accidents have been designated. The information on the submission of chemical accident prevention management plan varies depending on whether the handling volume is above or below the lower or upper qualifying quantity. Because the criteria of the lower and upper qualifying quantities of substance requiring preparation for accidents are not stipulated in the Chemical Substances Control Act, this study attempted to establish a criterion through significance verification. In addition, the study investigated whether these qualifying quantities are related to the Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), toxic concentration endpoint, and National Fire Protection Association (NFPA). Finally, by comparing the risk categorization of the GHS, endpoint, and NFPA, it was evaluated whether the circulation-volume-based risk categorization of the substance requiring preparation for accidents that are in the top 13 is appropriate. The qualifying quantities of benzene, toluene, and sulfuric acid needed to be adjusted upward, while those of methyl alcohol and ammonia were adjusted downward from the current qualifying quantities. It is required to establish a quantified criterion that fully reflects the domestic situations in Korea and various indicators such as toxicity, physicochemical properties, and circulation volume for the qualified criterion of hazardous chemical substances. The study is expected to be helpful in establishing an efficient system by systematizing the criterion for qualifying quantity.

Key Words : chemical accident prevention management plan, Substance requiring preparation for accidents, Upper and lower tier qualifying quantity, GHS, NFPA

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

화학물질 사용량이 전 세계적으로 증가하는 가운데 우리나라는 2014년 기준 약 45,000종 이상이 유통되고 매년 약 300~400종이 신규화학물질로 등록되고 있다. 화학물질은 현대사회에서 산업활동과 일상생활에 편리함을 제공하며 삶의 질 향상에 지대한 공헌¹⁾을 한다. 반면 우리나라는 화학제품 출하 규모 세계 7위 수준²⁾ 고도 산업화 사회로 화학 사고 규모와 유형 또한 점점 복잡하고 다양해 지고 있다. 이에 따른 인체

와 환경은 물론 사회경제적인 피해도 지속해서 증가^{3,4)}하고 있다. 2012년 구미 불화수소 누출 사고를 시작으로 화학 사고에 대한 대중의 관심과 인식이 높아졌고, 이에 「유해화학물질관리법」을 「화학물질관리법(이하 화관법)」으로 개정하여 화학사고 안전관리를 강화하겠다는 의지를 표명하였다. 화관법은 화학물질의 사후관리와 화학사고 예방을 목적으로 하며⁵⁾, 화관법상 유해화학물질 중 하나인 사고대비물질은 화학 사고가 발생한 경우 그 피해 규모가 클 것으로 우려되어 화학사고 대비가 필요한 물질을 지정⁶⁾한 것이다.

*송실대학교 안전·보건융합공학과 박사과정 (Department of Safety and Health Convergence Engineering, Soongsil University)

**송실대학교 안전융합대학원 교수 (Safety Convergence Graduate school, Soongsil University)

***송실대학교 안전·보건융합공학과 교수 (Department of Safety and Health Convergence Engineering, Soongsil University)

2021년 4월 이후 사고대비물질을 하위규정수량 이상 취급하는 사업장은 화학사고예방관리계획서를 제출해야 하며, 이는 위해관리계획서⁷⁾와 장외영향평가를 하나로 통합하여 중복 규제 문제점을 해소하고자 신설되었다. 더불어 화학사고예방관리계획서의 제출대상 및 작성기준을 결정하는 하위규정수량(LT, Lower tier) 및 상위규정수량(UT, Upper tier)⁸⁾이 물질별로 발표되었다.

사업장 내 유해화학물질이 취급시설에서 최대 체류할 수 있는 양의 합을 뜻하는 최대보유량(C)과 하위 및 상위규정수량 비교하여 면제, 1군 그리고 2군으로 구분한다. 모든 유해화학물질의 최대보유량이 하위규정수량보다 적으면 면제 대상이고, 1종 이상이 상위규정수량 이상이면 1군으로 기본정보, 시설정보, 장외평가정보, 사전관리방침, 내부 비상대응계획과 지역사회 고지 등을 포함한 외부 비상대응계획을 작성하여 제출하여야 한다. 반면 1종 이상이 하위규정수량 이상 상위규정수량 미만이면 2군으로 분류되며 1군 제출 서류 중 외부 비상대응계획의무는 제외된다⁹⁾.

유럽의 Seveso III Directive(이하 Seveso III)⁹⁾는 화학물질의 분류·표지에 관한 세계조화시스템(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS)을 적용한 CLP 규정(Classification, Labelling and Packaging Regulation, (EC)No. 1272/2008)을 도입¹⁰⁾하여 2012년에 개정되었다. Seveso III의 규정수량(Qualifying quantity)은 Schedule 1 Dangerous substances에서 지정하고 있다. Part 1(Categories of dangerous substances)은 GHS 유해성 구분(Hazard categories)에 따른 UT와 LT가 할당되어있고, Part 2(Named dangerous substances)는 규정된 48종 화학물질군에 대해 UT와 LT가 지정⁹⁾되어 있다. 즉, Seveso III는 화학물질을 유해성 구분에 근거하여 UT(Upper-tier requirements)와 LT(Lower-tier requirements)로 차등 관리하는 제도¹¹⁾이다.

다시 말해 화학사고예방관리계획서와 유럽 Seveso III는 규정수량을 두고 면제, 1군과 2군으로 구분하여 차등 관리하는 유사 제도로 산업재해 방지를 목적으로 화학 사고의 발생위험과 피해 정도가 클수록 규제를 강화해야 한다¹²⁾는 인식을 반영한 것이다.

화학물질의 위험도(Risk)는 화학물질 자체의 유해성(Hazard)과 취급량 또는 취급공정에 따라 달라진다. 화학물질의 위험도에 따른 차등 기준정립은 화학물질 사고 예방에 도움이 되어 경제적 효율로 이어질 것이다¹³⁾.

본 연구는 97종 사고대비물질의 위험도와 규정수량과 관계 파악을 위해 영향 요인인 GHS 영향점수, 독성 농도 끝점값, NFPA 지수와 국내 유통량을 통해 유의

성 검증을 하였다. 현재 사고대비물질 하위 및 상위규정수량에 대한 기준(Criteria)이 화관법상 규정되어 있지 않기에 본 연구의 유의성 검증을 통해 기준을 정립해 보고자 하였다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1. 사고대비물질의 상위 및 하위규정수량

본 연구에서 연구된 사고대비물질 97종과 사고대비물질별 규정수량은 2021년 4월 1일 자 신설된 화관법 시행규칙 [별표 3의2]를 기준으로 하였다.

2.2. 상위 및 하위규정수량 영향 요인

본 연구에서는 상위 및 하위규정수량 선정을 위해 고려해야 할 여러 요인 중 GHS 영향점수, 독성 농도 끝점값, NFPA 지수와 유통량을 선택하였다.

Seveso III의 Schedule 1 part 1의 위험물질 범주(categories of dangerous substances)⁹⁾는 GHS 구분을 활용하여 LT 및 UT를 산정한다. 따라서 본 연구에서 이를 반영하여 GHS 영향점수를 하나의 영향 요인으로 선택하였다.

화학물질안전원 ‘사고시나리오 선정 및 위험도 분석에 관한 기술지침(2021.6 개정) (이하 사고시나리오 기술지침)’에서 언급된 독성 농도 끝점값은 영향 범위를 결정하는 값으로, 비상계획 수립과 지역사회, 근로자와 시민들의 화학물질 노출로 인한 피해 예방 활동을 위해 사용되는 것이다^{14,15)}. 따라서 이 값을 상위 및 하위 규정수량을 판단하는데 또 다른 영향 요인으로 고려하였다.

NFPA 코드는 ‘2019년 사고대비물질 키인포가이드 라인¹⁶⁾’에 사고대비물질 별로 표기된 하나의 정보로서 화학물질의 유해 위험성을 수치화하여 위험도를 개략적으로 판단할 수 있는 또 하나의 정보이다. 따라서 이 값도 영향 요인으로 선택하였다.

추가로, 국내 화학물질의 현황을 파악하기 위해 국내 유통량을 활용하였다. 국내 대량 유통량 물질은 상대적으로 소량 유통량 물질보다 가중치를 더 둘 필요가 있으므로 유통량도 영향 요인 중 하나로 보았다.

2.2.1. GHS 영향점수

GHS는 화학물질의 폭발성, 인화성 등 16개 물리적 위험성(Physical hazards), 급성독성과 발암성 등 14개 건강 위험성(Health hazards)과 수생 환경 유해성 등 2개 환경 유해성(Environment hazards) 정보를 제공하며 구분 1에 가까울수록 상대적으로 유해성이 크다¹³⁾.

사고대비물질 97종 모두 화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정 [별표 4]에 의해 지정된 GHS 구분¹⁷⁾을 본 연구에서 사용하였다.

Table 1. Scoring of minor GHS impact score

GHS category	GHS impact score		
3.2. Skin Corrosion/Irritation	1(1A, 1B, 1C)	2	-
	2	1	-
3.3. Serious Eye Damage/Eye Irritation	1	2(2A, 2B)	-
	2	1	-
3.4. Respiratory Sensitization	1(1A, 1B)	-	-
	2	-	-
3.4. Skin Sensitization	1(1A, 1B)	-	-
	1	-	-
3.5. Germ Cell Mutagenicity	1A, 1B	2	-
	2	1	-
3.6. Carcinogenicity	1A, 1B	2	-
	2	1	-
3.7. Reproductive Toxicity	1A, 1B	2	a ¹
	2	1	1
3.9. Specific Target Organ Toxicity-Repeated Exposure	1	2	-
	2	1	-
4.2. Hazardous to the Ozone Layer	1	-	-
	1	-	-

a¹: Effects on or via Lactation

GHS 유해성이 높을수록 높은 점수를 부여하여 사고 대비물질의 GHS 영향점수(IS, Impact score)를 산정하였다. 사고대비물질 정의와 관련이 있는 모든 물리적 위험성과 건강 유해성 중 급성독성과 그 외 관련된 일부 구분, 수생 환경 유해성 급성 및 만성 구분을 GHS 주(Major) 구분으로 하고, 나머지를 GHS 부(Minor) 구분으로 나누었다. GHS 주 구분에서 신호어(Signal word)가 위험(Danger)이면 영향점수를 7에서 4점을, 경고(Warning)면서 그림문자가 감탄부호 외이면 3점을, 경고면서 그림문자가 감탄부호이거나 없는 경우는 2점을 부여하였고, 신호어가 없으면 영향점수를 1점으로 하였다. 반면, GHS 부 구분은 신호어가 위험이면 영향점수를 2점으로 경고면 1점을 주었다.

Table 1과 2를 기준으로 97종 사고대비물질 영향점수를 계산하였다.

예를 들어, 포름알데히드는 인화성 가스 구분 1, 고압가스 구분 2, 급성독성 경구 구분 3, 급성독성 경피 구분 3, 급성독성 흡입 구분 2, 피부부식성/자극성 구분 1, 피부과민성 구분 1, 발암성 구분 1로 구분되고¹⁷⁾, 각 구분당 영향점수가 5, 3, 4, 4, 6, 2, 1, 2점으로 최종 GHS 영향점수가 27점이다.

클로로술폰산, 헥사민, 질산칼륨, 질산나트륨이 4점으로 가장 낮은 값을 가졌고 암모니아가 36점으로 가장 높은 점수로 계산되었다.

Table 2. Scoring of major GHS impact score

GHS category	GHS impact score						
	a ¹	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
2.1. Explosives	7	6	5	4	3	4	1
	1	2	b ²	-	-	-	-
2.2. Flammable Gases	5	2	5	-	-	-	-
	1	2	3	-	-	-	-
2.3. Aerosols	5	3	3	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	-
2.4. Oxidizing Gases	5	-	-	-	-	-	-
	c ³	d ⁴	e ⁵	f ⁶	-	-	-
2.5. Gases under Pressure	3	3	3	3	-	-	-
	1	2	3	4	-	-	-
2.6. Flammable Liquids	5	4	3	2	-	-	-
	1	2	-	-	-	-	-
2.7. Flammable Solids	5	3	-	-	-	-	-
	A	B	C	D	E	F	G
2.8. Self-Reactive Substances and Mixtures	7	6	5	4	3	3	1
2.9. Pyrophoric Liquids	1	-	-	-	-	-	-
2.10. Pyrophoric Solids	5	-	-	-	-	-	-
2.11. Self-Heating Substances and Mixture	1	2	-	-	-	-	-
	5	3	-	-	-	-	-
2.12. Substances and Mixtures which, in Contact with Water, emit Flammable Gases	1	2	3	-	-	-	-
	5	4	3	-	-	-	-
2.13. Oxidizing Liquids	5	4	3	-	-	-	-
2.14. Oxidizing Solids	5	4	3	-	-	-	-
2.15. Organic Peroxides	A	B	C	D	E	F	G
	7	6	5	4	3	3	1
2.16. Corrosive to Metals	1	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
3.1. Acute Toxicity-Oral, Dermal	1	2	3	4	-	-	-
	5	4	4	2	-	-	-
3.1. Acute Toxicity-Inhalation	1	2	3	4	-	-	-
	7	6	5	2	-	-	-
3.8. Specific Target Organ Toxicity-Single Exposure	1	2	3	-	-	-	-
	5	3	2	-	-	-	-
3.10. Aspiration Hazard	1	2	-	-	-	-	-
	5	3	-	-	-	-	-
4.1. Hazardous to the Aquatic Environment-Acute	1	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
4.1. Hazardous to the Aquatic Environment-Chronic	1	2	3	4	-	-	-
	3	1	1	1	-	-	-

a¹: Unstable Explosive, b²: Pyrophoric Gas, c³: Compressed Gas, d⁴: Liquefied Gas, e⁵: Refrigerated Liquefied Gas, f⁶: Dissolved Gas

2.2.2. 독성 농도 끝점값

사고시나리오 기술지침에는 화학물질 별 독성 농도 끝점값(Toxic Concentration Endpoint, 이하 끝점값)이 기술되어있다. 해당 지침의 끝점 기준 적용 우선순위 기준에 따라 사고대비물질 97종의 끝점값을 구하였다. 끝점값 단위가 mg/m³이면 산업안전보건공단¹⁸⁾ 물질안전보건자료 분자량을 이용하여 ppm으로 단위환산을 하였다. m-크레졸, 디이소시아나산이소포론, 플루오르화 수소, 헥사플루오로-1,3-부타디엔 및 디실란의 5가지 물질은 ERPG(Emergency Response Planning Guideline)-2, AEGL(Acute Exposure Guideline Level)-2, PAC(Protective

Action Criteria)-2 및 IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health)의 기준치가 없어 GHS 구분을 활용하여 끝점값을 유추하였다.

끝점값이 낮을수록 상대적으로 독성이 높은 물질로 97종 중 사린이 0.006 ppm으로 가장 낮은 값으로 염화비닐이 5,000 ppm으로 가장 큰 값으로 나타났다.

2.2.3. NFPA 지수

화학물질의 유해성 지표 중 하나인 미국화재방재협회(National Fire Protection Association, NFPA) 지수는 건강, 화재폭발과 누출 관련 위험성을 나타내는 것으로 Nh(건강 지수, Health), Nf(인화성 지수, Flammability)와 Nr(반응성 지수, Reactivity)로 구분되며¹⁹⁾, 높은 순으로 4단계부터 0단계로 나뉜다. 본 연구는 2019년 사고대비물질 키인포가이드라인에 기술된 NFPA 코드¹⁶⁾를 활용하였다.

2.2.4. 유통량

유통량 조사는 화관법 제 10조 및 환경부 고시 제 2019-96호 화학물질 통계조사에 관한 규정에 근거하여 매 2년 실시한다. 유통량은 제조량과 수입량의 합에서 수출량을 뺀 값으로 화학물질의 전체적인 생산현황과 소비현황을 알 수 있는 지표다¹²⁾. 본 연구는 2018년 화학물질 통계조사자료²⁰⁾의 유통량 결과를 활용하였다.

2.3. 위험도 구분화

97종 사고대비물질의 상위와 하위규정수량을 각각 고, 중, 저위험군으로 구분하고 군 별로 GHS 영향점수, 끝점값과 NFPA 지수의 평균과 표준편차를 구하여 비교평가 하였다.

유통량 상위 13종 물질에 대해서는 Table 3과 같이 위험도에 따라 영향 요인인 GHS 영향점수, 끝점값과 NFPA 지수의 위험군을 결정하고, 상위 및 하위규정수량의 위험군과 비교하여 적절한 위험군에 속하는지 상대적으로 평가해 보았다.

GHS 영향점수는 최저 4점 최대 36점 평균 15.5점 표준편차 6.9점으로 나왔다. 3개 위험군으로 나누기 위하여 10점 이하, 21점 이상, 그 사이 값으로 3개 위험군으로 나누었다. 끝점값은 1 ppm 미만 1000 ppm 이상 나와 10배수 기준으로 5개 위험군으로 나누었다. 화재와 반응성을 합친 NFPA 지수는 최소 0 최대 7점 평균 3.4점 표준편차 2.0점으로 나왔다. 이를 반영하여 2점 이하, 5점 이상, 그리고 그 사이 값으로 3개 위험군으로 나누었다. 이들 위험도는 유통량 상위 13종 사고대비물질의 상위 및 하위규정수량 위험도와 비교하는 데 사용되었다.

Table 3. Categorized qualifying quantity of KR LT and UT and impact factors based on the risk

Risk category	KR LT [†]	KR UT [†]	GHS impact score	Endpoint	NFPA (F+R)
Super high risk	-	-	-	<1ppm	-
High risk	0.2 0.3	1	≥21, < 36	≥1ppm, <10ppm	5, 6 7
		2			
		3			
Middle risk	0.4 0.6 1 2	10	≥11, ≤20	≥10ppm, <100ppm	3, 4
		20			
		40			
		60			
Low risk	4 5 8 12	200	≤10	≥100ppm, <1,000ppm	0, 1, 2
		400			
Super low risk	-	-	-	≥1,000ppm	-

[†]KR LT and KR UT: Qualifying quantity of lower tier and upper tier of 'the Substance Requiring Preparation for Accidents'(unit: ton)

2.4. 통계분석

사고대비물질 97종의 상위 및 하위규정수량을 각각 고, 중, 저위험군으로 구분하여 각 그룹의 평균과 표준편차를 구하였다. GHS 영향점수, 로그 변환한 끝점값, NFPA 지수중 화재와 반응성을 합친 값과 건강, 화재 및 반응성 모두 합한 값의 평균과 표준편차를 구하였다. 이를 통해, 각 영향 요인들이 하위 및 상위 규정수량과 연관성이 있는지 알아보려고 하였다. ANOVA 분석결과 유의한 경우 사후 검정(p-tukey)을 하였다. 끝점값은 등분산성에 어긋나 로그변환 후 분석하였다. 통계분석은 JAMOV 통계프로그램(version 1.6.23)을 이용하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 사고대비물질의 위험도 구분화

하위와 상위규정수량 평균과 표준편차가 p=0.001 유의수준에서 유의한 결과를 보여 사후검정을 하였다.

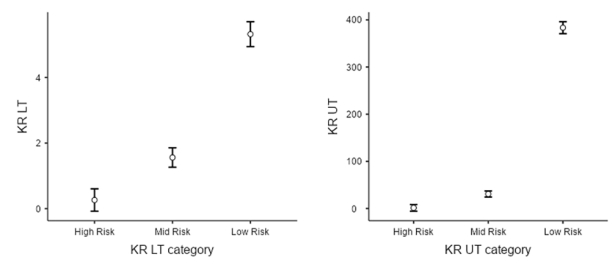


Fig. 1. Relationship between KR LT category and LT qualifying quantity (Left), KR UT category and UT qualifying quantity (Right). The y-axis is mean of tonnage and error bars are 95% confidence interval (unit: ton).

하위규정수량에서는 모든 구분에서 $p=0.001$ 에서 유의하게 나왔다. 상위규정수량은 고와 중위험군에 $p=0.003$, 중과 저위험군과 고와 저위험군에서는 $p=0.001$ 에서 유의한 결과로 나왔다. 하위와 상위규정수량 모든 구분 간에 유의하게 차별되는 구분으로 나뉠을 알 수 있다.

3.2. GHS 영향점수와 독성 농도 끝점값

GHS 영향점수와 하위 및 상위규정수량의 고, 중, 저 3단계 위험군과 비교하였다. 하위규정수량은 유의수준 $p=0.016$ 에서 유의하게 나와 사후검정을 하였다. 사후검정(p-tukey)결과 중과 저위험군 사이에서만 $p=0.014$ 로 유의한 결과를 보여주었다. 주목할 점은 하위규정수량에서 GHS 영향점수가 고위험군보다 중위험군에서 크게 나왔다. 즉, 하위규정수량에서 중위험군 중 GHS 영향점수가 21점 이상인 고(High) 유해성 물질이 14개이지만, 고위험군에서 고 유해성 물질이 6개로 중위험군보다 고위험군에서 적기 때문이다. 반면, 상위규정수량은 $p=0.844$ 로 유의하지 않게 나왔다.

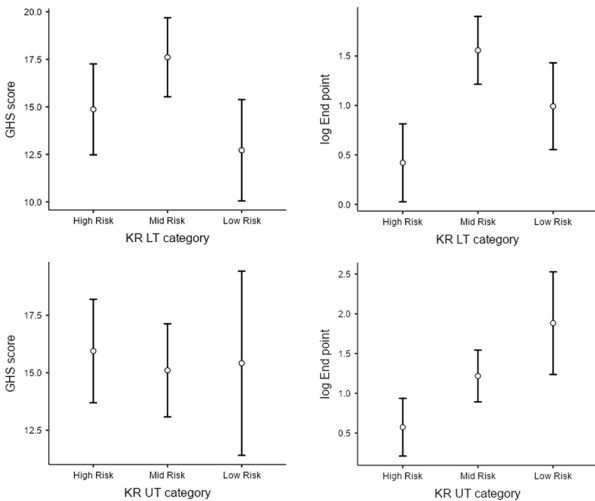


Fig. 2. Relationship between KR LT and UT category with GHS impact score (Left), KR LT and UT category with log valued of endpoint (Right). Error bars are 95% confidence interval.

로그 변환한 끝점값도 하위 및 상위규정수량 3단계 위험군과 비교하였다. 하위규정수량은 유의수준 $p=0.001$ 에서 유의한 결과를 보여 사후검정을 하였다. 사후검정(p-tukey)결과 고위험군과 중위험군 사이에서만 $p=0.001$ 에서 유의한 결과를 보여주었다. 특이한 점은 하위규정수량에서 중위험군의 로그 변환한 끝점값이 저위험군 값보다 크게 나왔다. 중위험군 물질임에도 불구하고 하위규정수량에서 독성 종말점이 100ppm이 넘는 물질이 18개지만 저위험군에서 2개다. 즉, 숫자가 작을수록 큰 독성을 의미하는 끝점값을 기준으로 하면, 중위험군보다

저위험군이 더 큰 독성을 갖는 것으로 나왔다. 상위규정수량은 $p=0.001$ 의 유의수준으로 유의하게 나와 사후검정을 하였고, 고와 중위험군과 고와 저위험군 사이에서 각각 $p=0.027$ 과 $p=0.002$ 를 보이며 유의한 결과를 보여주었다. 상위규정수량과 로그 변환한 끝점값 관계에서 고에서 저로 위험도가 감소할수록 로그 변환한 끝점값이 커지면서 관련성이 있음을 보였다.

3.3. NFPA 지수

NFPA 지수와 하위 및 상위규정수량 3단계 위험군과 비교하였다. 화재와 반응성을 합친 NFPA 지수중 하위규정수량에서 $p<0.001$ 로 유의한 값을 보여 사후검정(p-tukey)을 하였다. 고와 저위험군과 중과 저위험군에서 $p<0.001$ 로 유의하게 나왔다. 반면 상위규정수량에서는 $p=0.105$ 로 유의하지 않았다.

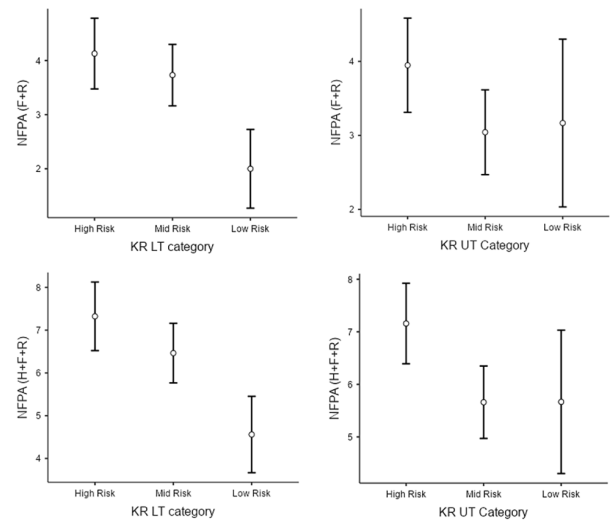


Fig. 3. Relationship between KR LT category with NFPA Score (Left), KR UT category with NFPA Score (Right). Error bars are 95% confidence interval.

건강, 화재와 반응성을 모두 합한 값의 하위규정수량은 $p=0.001$ 에서 유의하게 나와 사후검정(p-tukey)을 하였다. 사후검정 결과 고와 저위험군에서 $p<0.001$ 로, 중과 저위험군에서 $p=0.003$ 으로 유의하게 나왔다. 상위규정수량에서 $p=0.013$ 으로 유의하게 나와 사후검정을 하였고, 고와 중위험군에서만 $p=0.013$ 으로 유의한 결과를 보였다. 하위규정수량과 NFPA 지수 관계는 고에서 저로 위험도가 감소할수록 NFPA 지수가 작아지면서 관련성 있음을 나타내었다.

3.4. 고찰

사고대비물질 97종은 2018년 32,666천톤이 유통되었

고 그중 상위 13종은 28,352천톤이 유통되어 전체 유통량의 약 86.8%를 차지하였다. 유통량 상위 13종에 해당하는 사고대비물질에 대해 하위 및 상위규정수량과 유통량을 포함하여 영향 요인(GHS 영향점수, 독성 농도 끝점값, NFPA 지수)과 관계를 알아보았다.

Table 3에 따른 영향 요인 위험도와 유통량 상위 13종 물질의 상위 또는 하위규정수량의 위험군과 비교하였다. 하위기준수량은 화학사고예방관리계획서의 면제와 제출을 가르는 기준이다. 따라서 화학물질 자체의 유해성이 중요한 요인이라고 판단하였고 Fig. 3에서 하위규정수량 위험군과 화재와 반응성을 합한 NFPA 지수 사이에 관련성을 보였기 때문에 하위규정수량의 위험군과 NFPA 지수 위험군과 비교하였다. 그리고 상위기준수량은 1군과 2군을 나누는 기준으로 1군이면 외부비상대응계획 작성 및 지역사회 고지 의무가 추가된다. 따라서 상위기준수량은 지역사회 대피와 관련 있다고 판단하며 Fig. 2에서 상위규정수량과 로그변환한 끝점값과 관련성이 있음이 나타나 상위규정수량의 위험군과 끝점값 위험군과 비교하였다.

첫째, 벤젠은 총 사고대비물질 유통량의 25%를 차지하는 대량 유통물질로 국내기준 하위 2톤 상위 20톤으로 각각 중위험군이다. 끝점값은 저위험군, GHS 영향점수는 고위험군, NFPA 지수는 중위험군으로 구분되었다. 끝점값이 저위험군이고 상위규정수량이 중위험군이어서 상향되어 규정되어 보이지만, 유통량을 고려한다면 오히려 상향 규정이 적절한 것으로 판단하였다. NFPA 지수는 중위험군이고 하위규정수량은 중위험군으로 동일 위험군으로 나타났다. 다만, GHS 영향점수는 고위험군으로 나와 유해성이 높은 물질로 구분되고 대량 유통량 물질이므로 하위규정수량의 상향 조정을 고려한다.

둘째, 톨루엔은 총 사고대비물질 유통량의 16.4%인 2번째 상위 유통량 물질로 국내기준 하위 2톤 상위 400톤으로 각각 저위험군과 중위험군이다. 끝점값과 상위규정수량이 동일한 저위험군, NFPA 지수와 하위규정수량이 동일한 중위험군이다. 다만 GHS 영향점수가 중위험군이고 상위규정수량의 유통량을 고려하면 상위규정수량 톤수를 낮추어 중위험군 이상으로 상향 조정이 필요해 보인다.

셋째, 황산은 국내기준 하위 5톤 상위 400톤이다. 상위규정수량이 저위험군이나 끝점값이 고위험군으로 상위규정수량 톤수를 낮추어 중위험군 이상으로 상향 조정을 고려한다.

넷째, 메틸알코올은 국내기준 하위 2톤 상위 400톤이다. 하위규정수량이 중위험군이고 NFPA 지수가

Table 4. The substance requiring preparation for accidents and their various impact factors corresponding to the top 13 circulation volume

Chemical name	Circulation Volume		KR (1,000 ton)		End point	GHS IS	NFPA
	1,000 ton	%	LT [†]	UT [†]			
Benzene	8,172	25	2 (M)	20 (M)	150 (L)	27 (H)	3 (M)
Toluene	5,356	16.4	2 (M)	400 (L)	300 (L)	12 (M)	3 (M)
Sulfuric acid	2,333	7.1	5 (L)	400 (L)	2.5 (H)	10 (M)	2 (L)
Methyl alcohol	2,107	6.5	2 (M)	400 (L)	1000 (SL)	21 (H)	3 (L)
Chlorine	2,043	6.3	4 (L)	20 (M)	3 (H)	21 (H)	0 (L)
Hydrogen chloride	1,686	5.2	5 (L)	40 (M)	20 (M)	4 (L)	1 (L)
Vinyl chloride	1,579	4.8	2 (M)	400 (L)	5000 (SL)	7 (L)	6 (H)
Ammonia	1,236	3.8	2 (M)	40 (M)	150 (L)	10 (M)	1 (L)
Phenol	1,084	3.3	8 (L)	40 (M)	50 (M)	19 (M)	2 (L)
Nitric acid	994	3	5 (L)	400 (L)	10 (M)	7 (L)	1 (L)
Ethylene oxide	724	2.2	2 (M)	20 (M)	50 (M)	11 (M)	7 (H)
Acrylonitrile	521	1.6	2 (M)	20 (M)	35 (M)	27 (H)	5 (H)
Nitrobenzene	517	1.6	5 (L)	40 (M)	20 (M)	10 (M)	3 (M)
Top 13	28,352	86.8					
Total	32,666	100					

[†]KR LT and KR UT: Qualifying quantity of lower tier and upper tier of 'the Substance Requiring Preparation for Accidents'
SH: Super high risk, H: High risk, M: Middle risk, L: Low risk, SL: Super low risk

저위험군으로 하위기준수량을 톤수를 증가시켜 저위험군으로 하향 조정이 필요해 보인다.

다섯째, 암모니아는 국내기준 하위 20톤 상위 400톤이다. 상위규정수량이 중위험군이나 끝점값이 저위험군이고, 하위규정수량이 중위험군이나 NFPA 지수가 저위험군이어서 저위험군으로 하향 조정이 가능해 보인다.

4. 결론

본 연구는 사고대비물질 97종의 상위 및 하위규정수량 적정성을 판단하기 위한 영향 요인으로 GHS 영향점수, 독성농도 끝점값, NFPA 지수, 유통량과 연관성 검증하였고 결과는 다음과 같다.

첫째, GHS 영향점수와 상위 및 하위규정수량과 큰 관련성은 없다. 본 연구에는 영향점수를 주(Major)와 부(Minor) 구분으로 나누어 부여했기에 영향점수를 다른 방식으로 부여한다면 다른 결과가 도출될 가능성이 있다(Fig. 2).

둘째, 독성 농도 끝점값은 하위규정수량에서 위험도가 고에서 저위험도로 갈수록 로그 변환한 끝점값의 평균값이 증가하면서 관련성을 보였다(Fig. 2).

셋째, 화재와 반응성을 합친 NFPA 지수 그리고 건강, 화재와 반응성과 건강을 합친 NFPA 지수와 상위 규정수량에서 위험도가 고에서 저위험도로 갈수록 NFPA 지수가 감소하면서 관련성을 보였다(Fig. 3).

화학사고예방관리계획서 제출대상 및 작성수준을 파악하기 위한 유해화학물질 규정수량 기준(Criteria)을 규정하기 위해서는 유해화학물질의 독성, 물리 화학적 특성과 국내상황을 반영한 사용량이나 용도와 같은 다양한 자료²¹⁾가 필요하며 여러 기준을 통합하여 폭넓게 고려되어야 한다. 또한, 유통량을 고려하여 대량 유통 물질은 화학물질의 유해성 결과보다 위험도를 상향 조정 가능한지 반대로 소량 유통물질은 위험도를 하향 조정 가능한지 충분한 검증도 필요하다. 더불어, 상향 및 하향 조정을 고려할 때 앞서 말한 다양한 요인과 더불어 사회경제적 분석도 함께 수행되어야 한다.

본 연구는 유해화학물질의 규정수량 산정 기준이 무엇인가에서 시작되었다. 사고대비물질 97종에 대해 몇몇 영향 요인을 통해 분석하였지만, 통계적 유의성이 명확히 검증되지 않았다. 사고대비물질을 고/액/기체 성상으로 구분하여 각각 유의성 검증을 하거나, 요인 별로 가중치를 부여하여 여러 요인을 합산하는 등 방식으로도 고려해 볼 수 있다. 또한, 본 연구에서 사용한 영향 요인에 대해 다른 방식으로 점수화하거나 추가로 다른 요인을 고려한다면 국내 실정에 더 적합한 상위 및 하위규정수량 기준을 만들 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구가 타당한 근거를 바탕으로 별표 3의 2에서 언급한 규정수량의 구체적인 산정방법을 정립하는데 활용될 수 있기를 기대한다.

References

1) J. Y. Lee, S. S. Kim, W. H. Yang, J. H. Yoon, J. S. Ryu, J. K. Kim and K. G. Ji, "Investigation of the Guidance Levels for Protecting Populations from Chemical Exposure and the Estimation of the Level of Concern Using Acute Toxicity Data", J Environ Health Sci., Vol.

44, No. 1, pp. 44-54, 2018.
 2) J. H. Park, S. H. Ham, S. J. Kim, K. S. Lee and K. C. Ha, "Study on the Chemical Management - 1. Chemical Characteristics and Occupational Exposure Limits under Occupational Safety and Health Act of Korea", Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 25, No. 1, pp. 45-57, 2015.
 3) C. U. Lee, "Study on the Key Elements of Risk Management Program for Chemical Safety in Korea", Master Thesis, Inje University, South of Korea, 2013.
 4) Y. W. Suh, J. G. Park, S. Y. Gan, S. K. Jo and S. Y. Han, "Improvement Measures for Chemical Accident Policies in the Chemicals Control Act and Measures to Support the Industry (II)", KEI, p. 1, 2017.
 5) J. G. Park, Y. W. Suh, S. Y. Gan and S. W. Lee, "Improvement Measures for Chemical Accident Policies in the Chemicals Control Act and Measures to Support the Industry (I)", KEI, p. 1, 2016.
 6) Ministry of Environment of South of Korea, "Chemical Substances Control Act (Act No. 18174)", 2021.
 7) E. J. Lee, M. H. Han, Y. W. Chon, I. M. Lee and Y. W. Hwang, "Selection of Transition Point through Calculation of Cumulative Toxic Load-Focused on Incheon Area", J. Korean Soc. Saf., Vol. 35, No. 6, pp. 15-24, 2020.
 8) Ministry of Environment of South of Korea, "Quantity Standard by Hazardous Chemical Substances", 2021.
 9) EU SEVESO Directive III, 2012/18/EU, 2012.
 10) S. H. Joo, S. C. Hong and N. J. Kim, "Comparative Study on Korean and International Chemical Control regulations of the Physical Hazards of Sodium Cyanide and Hydrogencyanide", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 44, pp. 143-149, 2016.
 11) J. B. Back, "A Study on Improvement of Safety Management System at Workplaces Handling Chemical Substances", KOSHA, p. 1, 2020.
 12) J. Y. Lee, "A Study on the Rationalization for the Quantity Standards of Substance Requiring Preparation for Accidents", Master Thesis, Hoseo University, 2020.
 13) H. L. Kim, "A Priority Setting for the Management of Chemicals using the Globally Harmonized System and Multivariate Analysis-Using Mahalanobis-Taguchi System", Master Thesis, Korea University, 2019.
 14) E. C. Kim, Y. S. Cho, C. S. Lee, W. H. Yang, S. R. Hwang and J. H. Park, "Estimation of Temporal Acute Exposure Guideline Levels for Emergency Response-A Brief Case using Formaldehyde-", J. Environ Health Sci., Vol. 47, No.

- 2, pp. 166-174, 2021.
- 15) National Institute of Chemical Safety, “A Research on Distance of Toxicity Effect Zone for Chemical (II), 2017.
- 16) National Institute of Chemical Safety, “Key Info Guide For Accident Preparedness Substance”, 2019.
- 17) Ministry of Environment of South of Korea, “Regulations on Classification and Labeling of Chemical Substances (NIER No. 2021-63)”, 2021
- 18) <https://msds.kosha.or.kr/MSDSInfo/> (Search date: July 16, 2021)
- 19) J. G. Kim and H. S. Byun, “Hazard Assessment on Chlorine Distribution Use of Chemical Transportation Risk Index”, Korean Chem Eng Res., Vol. 52, No. 6, pp. 755-767, 2014.
- 20) <https://icis.me.go.kr/bbs/selectBoardArticle.do#> (Search date: July 16, 2021)
- 21) H. J. Han, S. C. Shin, K. W. Lee and S. H. Jung, “Relative Risk Ranking and Mapping Method using Pollutant Release and Transfer Register Data”, J. Korean Soc. Environ. Eng., Vol. 43, No. 7, pp. 557-566, 2021.