KIGAS Vol. 21, No. 4, pp 6~15, 2017
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2017.21.4.6

PSM 제출대상 독성물질의 규정량 합리화에 대한 연구

이주엽 · 이근원* · †김태옥**
안전보건공단 울산지사, *안전보건공단 산업안전보건연구원, **명지대학교 화학공학과
(2017년 7월 14일 접수, 2017년 8월 23일 수정, 2017년 8월 24일 채택)

A Study on Reforming Threshold Quantities of Toxic Substances in Process Safety Management

Joo Yeob Lee · Keun Won Lee* · †Tae-Ok Kim**
Ulsan Area Office, KOSHA, Ulsan 44690, Korea
**Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, Deajeon 34122, Korea*
***Depart. of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 17058, Korea*
(Received July 14, 2017; Revised August 23, 2017; Accepted August 24, 2017)

요 약

화학사고의 발생을 감소시키고, 예방하기 위한 공정안전관리(PSM) 제도는 우리나라의 경우 1996년부터 시행되었다. 그러나 PSM 제출대상인 기존 21종 물질에 대한 규정량과 새로이 추가된 브롬화수소 등의 독성물질의 규정량에 대한 타당성 검토가 미흡하여 많은 문제점이 발생되고 있다. 본 연구에서는 25종의 PSM 제출대상 독성물질의 규정량을 국내 · 외 공정안전관리제도와 관련된 규정량과 비교 · 검토하였다. 그리고 흡입독성, NFPA 지수 등으로 구성된 독성 유해 · 위험성 식을 제안하여 고위험, 중위험, 저위험의 3등급으로 독성물질을 분류하고, 규정량의 조정에 반영하였다. 본 연구결과의 규정량 개선안은 유사 공정안전관리제도의 규정량 차이로 인한 사업장의 혼란과 부담 완화 및 합리적 개선에 도움을 줄 것으로 기대된다.

Abstract - Process safety management(PSM) system was implemented in Korea since 1996. It helps reduce and prevent the occurrence of chemical accidents. There has been no review on the feasibility of the threshold quantities of the existing 21 species and the newly added toxic substances such as hydrogen bromide in the PSM system. The threshold quantities of the target toxic substances(25 species) of PSM were compared with domestic and foreign PSM systems similar to those of Korea. Also, we proposed the toxic harmfulness and hazard equation consisted of inhalation toxicity, NFPA index and others. According to this equation, high risk, medium risk and low risk are classified and reflected in the adjustment of threshold quantities. From the above research, It is expected to help to reduce confusion and burden of the workplaces due to the difference from other PSM system and improve in the threshold quantities.

Key words : threshold quantities of toxic substances, toxic harmfulness or hazard, process safety management (PSM)

I. 서 론

공정안전관리(Process Safety Management, PSM) 제도는 석유화학공장 등과 같이 중대산업사고의 발생 가능성이 높은 사업장에서 사고발생 가능성을 감소시켜 사고를 예방하고, 사고발생 시에는 그 피해를 최소화하기 위한 목적으로 1996년도부터 시행되고 있다.

2016년 12월말 현재 2,013개의 사업장에서 시행되

†Corresponding author:kimto@mju.ac.kr
Copyright ⓒ 2017 by The Korean Institute of Gas

고 있으며, 운영절차는 Fig. 1.과 같이 유해・위험설비를 보유한 PSM 대상사업장이 공정안전보고서를 작성하여 안전보건공단(Korea Occupational Safety & Health Agency)에 제출하면 안전보건공단은 심사 및 확인을 실시하여 사업장과 고용노동부(Ministry Of Employment and Labor)에 결과를 통보하고, 고용노동부는 최종확인이 끝난 후 신규 이행상태평가를 실시하고 그 후에는 4년마다 정기 이행상태평가를 실시하여 PSM 대상사업장이 자율적으로 화학사고 예방시스템을 구축・운영하도록 권장하고 있다[1].

PSM 제도의 법적근거는 산업안전보건법 제49조의2(공정안전보고서의 제출 등)에 따라 산업안전보건법 시행령 제33조의 6(공정안전보고서의 제출 대상)에 명시된 7개 업종(원유 정제처리업, 기타 석유정제물 재처리업, 석유화학계 기초화학물질 제조업 또는 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업, 질소, 인산 및 칼리질 비료 제조업, 복합비료 제조업, 농약 제조업, 화약 및 불꽃제품 제조업)의 사업장의 경우에는 보유설비가 적용되고, 그 외의 사업장의 경우에는 동 시행령 [별표 10] 유해・위험물질 규정량에 명시된 51종의 유해・위험물질을 규정량 이상 제조・취급・저장하는 설비 및 그 설비의 운영에 관련된 모든 공정설비에 대해 적용된다.

이와 같은 PSM 제도는 2014년 9월에 제출대상 물질이 21종에서 51종으로 확대되고, 2015년 9월에는 제출대상 사업장이 5인 이상에서 전 규모 사업장으로 확대되어 시행됨에 따라 불산, 황산, 염산 등의 부식성 물질을 취급하는 중소규모 사업장의 공정안전보고서 제출이 증가하였고, 위해관리계획서, 장외영향평가서 제출 등으로 인하여 내・외부환경이 크게 변화하고 있다.

이를 대비하기 위해 2013년에 박달재 등[2]은 불산 등 유해물질의 위험성 조사 및 PSM 제도 등 규제 강화에 관한 연구에서 불산, 염산, 황산 등의 농도에 따른 위험성, PSM 대상물질로 적용될 경우의 적정 농도 및 규정량을 제시하였다. 또한 2014년에 김태옥 등[3]은 화학사고 예방을 위한 공정안전관리제도(PSM) 제도 개선방안 마련에서 PSM제 도의 운영실태를 파악하고, 이를 바탕으로 PSM 제도의 전반적인 사항을 검토한 후 PSM 보고서 작성・심사・확인 방법의 합리적 개선방안, 이행상태평가 항목 개선, 공정안전보고서를 통한 도급업체 관리기준 강화방안 및 작동 가능한 비상조치계획 수립방안을 마련하였다.

그러나 PSM 제도의 도입부터 적용하고 있던 기존 물질 21종 중 암모니아, 염소 등의 독성물질 및 새로 추가된 30종 중 브롬화수소 등의 독성물질의 규정량에 대한 타당성 검토와 합리적 개선이 이루어지지 않았고, 위해관리계획서 대상 적용에 사용되는 사고대비물질 69종의 규정량과의 차이로 인하여 기업의 수용도 제고 곤란과 제도권 유입에 대한 저항이 야기되고 있다. 더불어 기업부담이 가중되어 시장불만 요인으로 작용하고 있다. 따라서 현행 PSM 대상물질 전반에 대한 물리・화학적 위험성을 적용한 타당한 규정량 제시를 통한 현장의 적용성 제고와 국내 화학산업의 특성에 적합한 개선의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구에서는 국내・외 공정안전관리제도와 관련된 독성물질 규정량을 비교・분석하고, 물질의 유

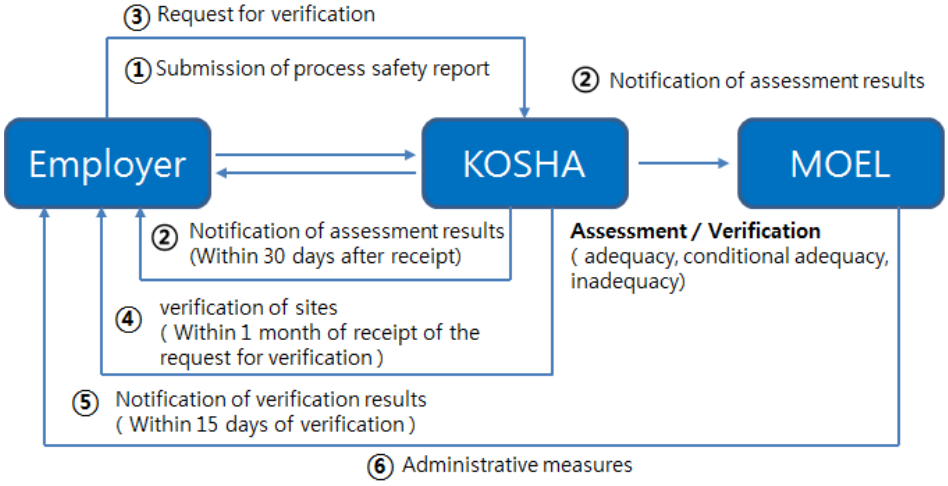

Fig. 1. Assessment and verification procedures of process safety report.

해 · 위험성을 고려하여 합리적이고 타당한 규정량을 제시함으로서 기업의 혼란과 부담을 경감시키고 나아가 화학사고 예방에 기여하고자 하였다.

Ⅱ. 국내 · 외 PSM 관련 제도의 규정량 고찰

2.1. 국내 PSM 관련 제도의 규정량

국내에서는 고용노동부의 산업안전보건법, 환경부의 화학물질관리법, 산업통상자원부의 고압가스안전관리법, 국민안전처의 위험물안전관리법 등을 산업현장의 안전관리에 적용하여 유해 · 위험물질의 제조, 취급 및 저장 시에 발생되는 화학사고를 사전에 예방하고, 관리하기 위해 노력을 하고 있다.

산업안전보건법에서는 시행령 제33조의6(공정안전보고서의 제출 대상) 제1항 [별표 10]에 인화성 가스, 인화성 액체, 메틸 이소시아네이트와 포스겐 등의 독성물질을 포함하여 51종의 유해 · 위험물질에 대하여 제조 · 취급 · 저장 설비에서 공정과정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루 동안 최대로 제조 · 취급 또는 저장할 수 있는 양을 규정량으로 정하여 규정량 이상인 사업장은 공정안전보고서를 제출하도록 하고 있다.

화학물질관리법에서는 시행규칙 제45조(위해관리계획서 제출대상) [별표 10]에서 시안화수소, 포스겐, 포스핀 등의 69종의 화학물질을 급성독성 · 폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생 가능성이 높거나, 화학사고가 발생한 경우에 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 사고대비물질로 지정하고, 1년간 제조하거나 사용할 수 있는 최대 수량인 제조 · 사용수량(연간)과 저장소, 저장탱크 등 사고대비물질을 보관 · 저장하는 시설에서 보관 · 저장할 수 있는 최대 수량인 보관 · 저장수량으로 규정량을 정하여 규정량 이상인 사업장은 위해관리계획서를 제출하도록 규정하고 있다.

고압가스안전관리법에서는 유해 · 위험물질에 대해 시행령 제9조(종합적 안전관리대상자)에서 시설에 따라 규정량이 나타나 있으나, 시행규칙 제2조(정의) 등에서 분류된 가연성 가스, 독성가스, 액화가스, 압축가스, 특수고압가스, 특정고압가스에 따른 규정량을 별도로 정하고 있지는 않다.

위험물안전관리법에서는 시행령 제3조(위험물의 지정수량) [별표 1]에서 유해 · 위험물질을 제1류 산화성 고체부터 제6류 산화성 액체까지로 분류하고 있다. 그리고 지정수량을 명기하여 규정량을 정하고 있으며, 이에 따라 제조소, 저장소 및 취급소의 허가 등에 적용하고 있다.

공정안전보고서와 위해관리계획서의 독성물질 규정량의 비교는 Table 1과 같이 포스겐, 불화수소, 염화수소, 황화수소는 동일한 양을 적용하고 있으나, 암모니아, 톨루엔디이소이아네이트, 염화 벤질, 불소는 위해관리계획서 보다 공정안전보고서의 규정량이 10배 이상 크므로, 감소 방안을 검토할 필요가 있다.

Table 1. The comparison of the threshold quantities of between PSM and RMP

Substances	Threshold quantities(kg)	
	PSM[a)]	RMP[b)]
Methyl isocyanate	150	-
Phosgene	750	750
Ammonia(anhydrous)	200,000	20,000
Chlorine	20,000	10,000
Sulfur dioxide	250,000	-
Sulfur trioxide	75,000	-
Hydrogen cyanide	1,000	1,500
Hydrogen fluoride(anhydrous)	1,000	1,000
Hydrogen chloride(anhydrous)	20,000	20,000
Hydrogen sulfide	1,000	1,000
Phosphine	50	500
Toluene diisocyanate	100,000	20,000
Hydrogen bromide	2,500	-
Benzyl chloride	750,000	10,000
Chlorine dioxide	500	20,000
Bromine	100,000	-
Nitric oxide	1,000	750
Boron trichloride	1,500	-
Boron trifluoride	150	-
Chlorine trifluoride	500	-
Fluorine	20,000	1,000
Cyanuric fluoride	50	-
Nitrogen trifluoride	2,500	-

a) Threshold quantities of manufactures, handlings & stores
b) Threshold quantities of keeps & stores

2.2. 외국의 PSM 관련 제도의 규정량

화학공장 등의 공정안전관리를 위해 해외에서 적용하고 있는 화학물질의 규정량은 미국의 29 CFR 1910.119 (PSM)과 CFR 68 (RMP) 그리고 영국의 COMAH 등에 규정되어 있다.

미국의 PSM 제도는 산업안전보건청(OSHA)에 의해 연방법 29 CFR 1910.119로 확장되어 사업주의 의무사항으로 규정되어 있으며, 화학물질의 폭발, 화재, 반응성 및 독성 누출로 인한 커다란 피해결과를 최소화하거나, 예방하기 위해 실행되고 있다. 규제대상은 29 CFR 1920.119에서 정하는 화학물질의 기준수량 이상을 보유하고 있는 사업장과 한 장소에서 양이 10,000 pounds(4535.9 kg) 이상이고, 인화성 가스 중에서 category 1, 2와 인화점이 100 °F (37.8 °C) 이하인 인화성 액체도 포함된다.

RMP 제도는 Clean Air Act 112(r)을 근거로 환경보호청(EPA)에서 1996년에 공표하였으며, 해당시설 보유 사업장은 위험관리계획을 문서로 작성하여 주정부 및 지방관서에 제출하여야 한다. RMP의 적용을 받는 시설은 Program Level 1, Program Level 2, Program Level 3의 분류되며, RMP program의 2와 3에 해당하는 사업장은 위험성 평가 시 임의의 시나리오에 대해서도 위험성 평가를 실시해야 하고, 최소 5년마다 갱신하여야 한다. 이 제도는 독성물질 77종과 가연성물질 63종의 고위험물질을 규정량 이상 저장하는 공정이 있는 시설에 적용된다.

영국 COMAH 제도는 Seveso II의 안전관리시스템을 제도로 기초로 제정되었다. 이 제도에는 사고예방 프로그램에 관리정책을 포함하고 있어서 미국 RMP와 차별화되고 있으며, 규정량에 따라 대상 사업장을 하층구조(lower tier)와 상층구조(upper tier)로 구분하여 상층구조에 해당되는 경우 안전보고서를 관할기관에 제출하고, 평가받도록 하고 있다. 규정량은 건강 위험성(H), 폭발성, 인화성, 산화성 등의 물리적 위험성(P), 환경 위험성(E), 기타(O)의 4개 물질군으로 분류한 <Part 1>과 48개의 물질로 분류한 <Part 2>로 제시하고 있다.

국내 PSM 제도와 미국의 PSM 제도 및 RMP 제도 그리고 영국 COMAH 제도의 독성물질 규정량을 비교하면 Table 2와 같다. 이 중에서 포스핀, 브롬화수소, 삼불화붕소 및 염소 트리플루오르화는 규정량의 증가 방안을 검토할 필요가 있으며, 포스겐, 암모니아, 염소, 이산화황, 삼산화황, 시안화수소, 염화수소, 톨루엔디이소아네이트, 브롬 및 불소는 규정량 감소 방안의 검토가 요구된다.

Table 2. The comparison of the threshold quantities of among PSM(Korea), PSM(USA), RMP(USA) and COMAH(UK)

Substances	Threshold quantities(kg)			
	PSM[a] (Korea)	PSM (USA)	RMP (USA)	COMAH[b] (UK)
Methyl isocyanate	150	113.5	4,540	-/150
Phosgene	750	45.4	227	300/750
Ammonia (anhydrous)	200,000	4,540	4,540	50,000/ 200,000
Chlorine	20,000	681	1,135	10,000/ 25,000
Sulfur dioxide	250,000	454	2,270	-
Sulfur trioxide	75,000	454	4,540	15,000/ 75,000
Hydrogen cyanide	1,000	454	1,135	5,000/ 20,000[c]
Hydrogen fluoride (anhydrous)	1,000	454	454	50,000/ 200,000[d]
Hydrogen chloride (anhydrous)	20,000	2,270	2,270	25,000/ 250,000
Hydrogen sulfide	1,000	681	4,540	5,000/ 20,000
Phosphine	50	45.4	2,270	200/ 10,000
Toluene diisocyanate	100,000	-	4,540	-
Hydrogen bromide	2,500	2,270	-	50,000/ 200,000[e]
Benzyl chloride	750,000	-	-	-
Chlorine dioxide	500	454	454	5,000/ 20,000c)
Bromine	100,000	681	4,540	20000/ 100,000
Nitric oxide	1,000	114	4,540	-
Boron trichloride	1,500	1,135	2,270	-
Boron trifluoride	150	114	2,270	5,000/ 20,000
Chlorine trifluoride	500	454	-	50,000/ 200,000d)
Fluorine	20,000	454	454	10,000/ 20,000
Cyanuric fluoride	50	45.4	-	-
Nitrogen trifluoride	2,500	2,270	-	-

a) threshold quantities of manufactures, handlings & stores
b) lower tier/upper tier requirements
c) category 1 of toxic hazards in COMAH
d) ategory 2 of toxic hazards in COMAH
e) category 3 of toxic hazards in COMAH

Ⅲ. PSM 제출대상 독성물질 규정량 개선방안

3.1. 독성물질의 유해 · 위험성 비교

독성물질의 유해 · 위험성을 구분하는 방법으로 GHS 분류, NFPA 지수 등이 사용된다.

GHS는 화학물질의 분류 · 표지에 관한 국제표준화(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)로, 분류기준에 따라 화학물질의 유해 · 위험성을 분류하고, 통일된 형태의 표지 및 MSDS 정보를 전달하는 체계로써 물리적 위험성, 건강 및 환경 유해성의 3가지 범위에 대해 각 범주별 세부기준이 정해져 있다. 이에 따라 건강 유해성은 급성독성(구분 1~5), 피부 부식성/자극성(구분 1~3), 심한 눈 손상성/자극성(구분 1~2), 호흡기 또는 피부 과민성(구분 1A, 1B), 생식세포 변이원성(구분 1~2), 발암성(구분 1~2), 생식독성(구분 1~2), 특정표적장기독성(1회 노출)(구분 1~3), 특정표적장기 독성(반복 노출)(구분 1~2), 흡인 유해성(구분 1~2) 등 10개 항목으로 구성하여 분류하고 있다. 그리고 환경 유해성은 수생환경 유해성(급성)(구분 1~3)과 수생환경 유해성(만성)(구분 1~4)으로 구분하고 있다[4].

NFPA 지수는 미국 국립소방방재청(National Fire Protection Association, NFPA)에서 응급대응 시 물질의 위험성을 규정하기 위한 표준시스템으로, 건강위험성, 화재 위험성, 반응 위험성 그리고 기타 위험성(물반응성, 방사선 등)에 대하여 등급을 일반적으로 화재 다이아몬드로 불리는 기호로 표기하고 있다. 일반적으로 물질안전보건자료에서 「2. 유해 · 위험성」의 「다. 유해성 · 위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해성 · 위험성」에 기타 위험성을 제외한 건강, 화재 및 반응의 3가지 위험성에 대한 0 등급(위험하지 않음)~ 4 등급(매우 위험)의 5단계(5 등급)을 표시하고 있으며, 건강 위험성 0 등급인 경우 건강상 위협이 되지 않으며, 특별한 주의가 필요하지 않고 4등급인 경우 매우 짧은 신체적 노출로도 사망 혹은 심각한 부상을 야기할 수 있다[5].

독성을 나타내는 기준은 동물 실험결과를 바탕으로, 폭로시간에 따라 인간에게 적용한 기준으로 비상대응의 세 가지 수준에 대해 평가된 화학물질의 공기 중 농도인 ERPG(Emergency Response Planning Guidelines), 생명에 즉각적인 위협을 가하거나, 돌이킬 수 없는 건강상의 악영향을 초래하거나, 위험한 분위기에서 개인의 대피 능력을 손상시키는 농도인 IDLH(Immediately Dangerous to Life or Hearth), 근로자가 일주일에 40 시간, 하루에 8 시간씩 정상 근무할 경우에 근로자에게 노출되어도 아무런 나쁜 영향을 주지 않는 최고 평균농도인 TLV-TWA, 실험동물 50%를 사망시키는 독성물질의 농도인 LC50 등 여러 가지 기준들이 사용된다. 이와 같은 기준들을 사용하여 독성물질의 NFPA 지수, 독성 기준, GHS의 건강 유해성을 비교하면 Table 3과 같이 요약할 수 있다.

NFPA 건강 위험성은 질소 트리플루오르화물을 제외하고, 모두 3~4 등급이며, 4등급은 흡입독성이 1,2 등급이고, 3등급의 흡입독성은 이산화염소가 1등급, 삼산화황은 5등급이나, 나머지는 3등급이며, NFPA 건강 위험성이 1등급인 질소 트리플루오르화물은 흡입독성이 4등급으로 분류된다. 또한 독성물질의 농도가 독성 기준에 따라 각각 상이한 것을 알 수 있다.

3.2. 독성물질의 유해 · 위험성 등급분류 방안

3.1에서 같이 독성물질의 유해 · 위험성을 각각의 다양한 기준들로 판단할 수 있고, 유해 · 위험성을 종합적으로 분류하는 방법으로는 Heikkila의 Chemical index와 Process index로 구성되는 본질안전지수[6]와 Dow의 화재 · 폭발 지수[7] 등의 있으나, 이와 같은 지수에서는 독성물질의 유해 위험성은 하나의 구성요소이고, 다양한 독성기준을 종합적으로 분류하고 있지 않다.

그러므로 본 연구에서는 독성물질의 유해 · 위험성을 종합적으로 분류하고, 규정량의 조정을 위해 다음과 같은 식을 제안하였다.

독성 유해 · 위험성 =
흡입독성 등급점수×10 + 경구독성 등급점수 + 경피독성 등급점수 + 기타 독성위험 등급점수 + 독성기준농도 등급점수 + NFPA 화재 위험성지수 + NFPA 반응 위험성 지수

즉, 독성가스가 호흡기 등을 통해 인체 내부로 쉽게 침입되어 건강 위험성에 주로 영향을 미치므로 흡입독성에 10배의 가중치를 부여하였고, 경구독성과 경피독성의 건강 유해성, 급성 독성을 제외한 피부 부식성 등 기타 독성 유해 · 위험성 및 독성기준 농도를 고려하였고, 동시에 화재와 반응 위험성을 NFPA지수로 반영하였다.

그리고 급성독성(흡입, 경구, 경피)은 각각 5개 등급으로, 등급점수는 1등급 5점부터 5등급 1점으로, 기타 독성위험 등급점수는 GHS 건강 유해성 분류에서 급성독성을 제외한 피부 부식성/자극성(3개 등급), 눈 손상성/자극성(2개 등급), 특정표적장기

Table 3. The harmfulness and hazards for toxic substances

Substances	NFPA	Toxicity criteria(ppm)				Health hazards of GHS
		IDLH	TWA	ERPG-2	LC50	
Methyl isocyanate	4/3/2	3	0.02	0.25	7.47	Acute toxicity(inhalation:vapours)(1), acute toxicity(oral 3, dermal 3), skin corrosion/irritation(2), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1), reproductive toxicity(2)
Phosgene	4/0/1	2	0.1	0.5	49 ㎎/㎥	Acute toxicity(inhalation 1), skin corrosion/irritation(2), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1)
Ammonia (anhydrous)	3/1/0	300	25	150	2,000	Acute toxicity(inhalation 3), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1~2), reproductive toxicity(2)
Chlorine	4/0/0	10	0.5	3	293	Acute toxicity(inhalation 2), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Sulfur dioxide	3/0/0	100	2	3	2,520	Acute toxicity(inhalation 3), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1)
Sulfur trioxide	3/0/2	-	-	10 mg/m3	0.375 ㎎/ℓ	skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1)
Hydrogen cyanide	4/4/1	50	-	10	142	Acute toxicity(inhalation 1, oral 1, dermal 1), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1)
Hydrogen fluoride (anhydrous)	4/0/1	30	0.5	20	342	Acute toxicity(inhalation 2), skin corrosion/irritation(2), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1), reproductive toxicity(2)
Hydrogen chloride (anhydrous)	3/0/1	50	1	20	4.2 ㎎/ℓ	Acute toxicity(inhalation 3, oral 3), skin corrosion/irritation(1) serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Hydrogen sulfide	4/4/0	100	10	30	444	Acute toxicity(inhalation 2), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1)
Phosphine	4/4/2	50	0.3	0.5	11	Acute toxicity(inhalation 1), specific target organ toxicity(1)
Toluene diisocyanate	3/1/2	2.5	0.005	0.15	0.34 ㎎/ℓ	Acute toxicity(inhalation:vapours)(1), skin corrosion/irritation(2), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1)
Hydrogen bromide	3/0/0	30	-	-	1,430	Acute toxicity(inhalation 3), skin corrosion/irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Benzyl chloride	3/2/1	10	1	10	0.74 ㎎/ℓ	Acute toxicity(inhalation:vapours)(1), Acute toxicity(oral 4), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Chlorine dioxide	3/0/4	5	0.1	0.5	32	Acute toxicity(inhalation 1), skin corrosion/irritation(2), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1), reproductive toxicity(2)
Bromine	3/0/0	3	0.1	0.5	-	Acute toxicity(inhalation:vapours)(1), acute toxicity(oral 3), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Nitric oxide	3/0/0	100	25	15	870	Acute toxicity(inhalation 3), specific target organ toxicity(1)
Boron trichloride	3/0/2	-	-	-	1,270	Acute toxicity(inhalation 3), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(2)
Boron trifluoride	4/0/1	25	-	30	1180 ㎎/㎥	Acute toxicity(inhalation 2), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Chlorine trifluoride	4/0/3	20	-	1	150	Acute toxicity(inhalation 2), skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1), specific target organ toxicity(1)
Fluorine	4/0/4	25	1	5	92.5	Acute toxicity(inhalation 1), serious eye damage/eye irritation(2), specific target organ toxicity(1), reproductive toxicity(2)
Cyanuric fluoride	4/0/0	-	-	-	3	Acute toxicity(inhalation 2, dermal 2) skin corrosion/irritation(1), serious eye damage/eye irritation(1)
Nitrogen trifluoride	1/0/0	1000	10	400	6700	Acute toxicity(inhalation 4), specific target organ toxicity(2),

Table 4. The classification of other toxicity hazards for toxic substances

Class	Score of class	Sum of other toxicity	Classification for sum of other toxicity
1	3	7, 8	Methyl isocyanate(7), Ammonia(anhydrous)(8), Chlorine(7), Hydrogen fluoride(anhydrous)(8), Hydrogen chloride (anhydrous)(7), Hydrogen bromide(7), Benzyl chloride(7), Bromine(7), Boron trichloride(7), Chlorine trifluoride(7)
2	2	4 ~ 6	Phosgene(5), Sulfur trioxide(5), Toluene diisocyanate(5), Chlorine dioxide(6), Boron trichloride(6), Fluorine(4), Cyanuric fluoride(5)
3	1	1 ~ 3	Sulfur dioxide(3), Hydrogen cyanide(3), Hydrogen sulfide(3), Phosphine(2), Nitric oxide(2), Nitrogen trifluoride(1)

독성(2개 등급) 및 생식독성(2개 등급)의 등급점수를 합산하고, 이를 Table 4와 같이 등급분류한 후 점수를 부여하였다. 이때, 기타 독성위험 점수는 피부 부식성/자극성의 3개 등급의 경우 1등급은 3점, 2등급은 2점, 3등급은 1점, 눈 손상성/자극성의 2개 등급의 경우 1등급은 2점, 2등급은 1점을 부여하였다.

또한 독성기준농도 등급점수는 동일한 위험군에서도 IDLH, LC50등의 독성기준이 다르므로, 이를 고려하기 위하여 Table 5와 같이 독성기준농도를 등급화 하고, 등급점수를 부여하였다. 이때, ITF-25[8]에서는 위험물 사용지역 분포, 생산자 수, 독성 및 상태(증기압)의 함수로 총 위험지수를 분류하고, 독성은 IDLH에 따라 1 미만, 1에서 10미만, 11에서 100미만, 101에서 500미만, 그리고 500이상의 5단계로 구분하였으나, 본 연구에서는 IDLH뿐만 아니라 LC50 등 모든 독성기준을 동시에 고려하여 독성기준 중에서 최대농도를 기준으로 독성기준농도를 등급화 하고 등급점수를 부여하였다.

따라서 독성 위해 · 위험성 산출식에 의해 NFPA 화재 위험성지수 및 반응 위험성지수를 고려한 독성물질의 유해 · 위험성 등급분류는 가스는 Table 6과 같고, 액체는 Table 7과 같다. 이때, 흡입독성 자료가 없는 삼산화황은 이산화황 및 발연황산의 흡입독성 등급(3)과 동일하다고 가정하였는데, 그 이유는 삼산화황은 이산화황의 산화물이기 때문에 다소 불안정하고, 독성이 이산화황보다 다소 강하지만, NFPA지수가 거의 동일하기 때문이다. 또한 발연황산에 용해되어 있는 삼산화황 증기의 흡입독성이 3등급으로 분류되어 있기 때문이다.

Table 5. The classification of toxicity criteria concentrations for toxic substances

Class	Score of class	Toxicity criteria concentration(ppm)	Toxicity substance
1	5	1 < max. con.	-
2	4	1 ≤ max. con. < 50	Methyl isocyanate, Phosgene, Sulfur trioxide, Toluene diisocyanate, Benzyl chloride, Chlorine dioxide, Bromine, Boron trichloride, Cyanuric fluoride
3	3	50 ≤ max. con. < 500	Chlorine, Phosphine, Hydrogen cyanide, Hydrogen fluoride(anhydrous), Hydrogen chloride(anhydrous), Hydrogen sulfide, Chlorine trifluoride, Fluorine
4	2	500 ≤ max. con. < 5, 000	Ammonia(anhydrous),Sulfur dioxide, Hydrogen bromide, Nitric oxide, Boron trichloride
5	1	max. con. ≥ 5, 000	Nitrogen trifluoride

Table 6에서와 같이 독성가스의 경우 흡입독성 1등급은 독성위험 점수가 최소 50 점 이상이므로, 총점이 51점 이상을 고위험으로 분류하였고, 41점 이상이고 50점 이하는 중위험 그리고 40점 이하는 저위험으로 분류하였다.

따라서 Table 1과 Table 2의 국 · 내외 독성가스 규정량과 비교 · 검토하면 고위험물질은 500 kg, 중위험물질은 1,000 kg ~ 2,000 kg 그리고 저위험물질은 100,00 kg ~ 20,000 kg으로 규정량을 조정할 필요가 있다. 즉, 국내 PSM 규정량은 하루 동안 제조 · 취급 또는 저장하는 최대량으로 규정하고 있을

Table 6. The classification of harmfulness and hazard for toxic gases

Substance	Fire index of NFPA	Reaction index of NFPA	Rating score of acute toxicity	Other toxicity hazard	Toxicity criteria concentration	Sum	Class of risk
Hydrogen cyanide	4	1	60	1	3	69	High
Phosphine	4	2	50	1	3	60	
Chlorine dioxide	0	4	50	2	4	60	
Fluorine	0	4	50	2	3	59	
Phosgene	0	1	50	2	4	57	
Chlorine trifluoride	0	3	40	3	3	49	Medium
Hydrogen sulfide	4	0	40	1	3	48	
Boron trifluoride	0	1	40	3	4	48	
Hydrogen fluoride (anhydrous)	0	1	40	3	3	47	
Chlorine	0	0	40	3	3	46	
Hydrogen chloride (anhydrous)	0	1	33	3	3	40	Low
Sulfur trioxide	0	2	30	2	4	38	
Boron trichloride	0	2	30	2	2	36	
Ammonia (anhydrous)	1	0	30	3	2	36	
Hydrogen bromide	0	0	30	3	2	35	
Sulfur dioxide	0	0	30	1	2	33	
Nitric oxide	0	0	30	1	2	33	
Nitrogen trifluoride	0	0	20	1	1	22	

뿐만 아니라, 여러 물질을 동시에 사용하는 경우에는 R값을 적용하기 때문에 고위험물질과 중위험물질의 경우에는 동일한 규정량인 경우에도 외국의 경우보다 강화된 기준이다. 그러므로 규정량(안)은 다소 높게 규정할 필요가 있다. 또한 저위험물질의 경우에도 미국 PSM 및 RMP와 영국의 COMAH 이외의 국가에서는 대부분 관리물질로 규정하고 있지 않으며, COMAH의 경우에도 본 연구에서 저위험물질로 분류한 물질이 규정되지 않았거나, 규정한 경우에도 매우 높게 규정하고 있기 때문에 중위험의 경우보다 규정량을 상당히 높게 규정할 필요가 있다.

독성액체의 경우에는 Table 1과 Table 2의 국내・외 규정량을 비교・검토한 결과와 독성가스와의 상대적인 노출위험 및 피해영향을 고려하여 독성액체의 규정량을 독성가스의 2배로 제안하였다. 즉, 위험군에 따라 고위험물질은 1,000 kg, 중위험물질은 2,000 kg ~ 4,000 kg 그리고 저위험물질은 20,000 kg ~ 40,000 kg으로 규정량을 조정하는 안을 제안하였다. 염화벤질과 톨루엔디이소시아네이트는 흡입독성이 1등급으로 고위험에 해당하지만, 증기압이 낮고, 끓는점이 높아서 증기에 의한 흡입 가능성은 다른 고위험물질에 비해 낮다. 또한 미국 PSM과 영국 COMAH에서는 이들 물질을 해당물질로 규정하지 않고 있기 때문에 염화벤질과 톨루엔디이소시아네이트의 유해・위해성은 고위험에서 한 단계 낮은 중위험으로 분류하였다. 이를 반영하여 Table 7과 같이 분류하였다.

Table 7. The classification of harmfulness and hazard for toxic liquids

Substances	Fire index of NFPA	Reaction index of NFPA	Rating score of acute toxicity	Other toxicity hazard	toxicity criteria concentr-ation	Sum	Class of risk
Methyl isocyanate	3	2	56	3	4	68	High
Benzyl chloride	2	1	52	3	4	62	
Bromine	0	0	53	3	4	60	
Toluene diisocyanate	1	2	50	2	4	59	
Cyanuric fluoride	0	0	44	2	4	50	Medium

Table 8. The adjustment for toxic substances of PSM targets

Substances	Threshold quantities(kg)		Remarks
	Exist	Modification	
Methyl isocyanate	150	1,000	Increase
Phosgene	750	500	Decrease
Ammonia, anhydrous	200,000	10,000	Decrease
Chlorine	20,000	1,500	Decrease
Sulfur dioxide	250,000	10,000	Decrease
Sulfur trioxide	75,000	10,000	Decrease
Hydrogen cyanide	1,000	500	Decrease
Hydrogen fluoride, anhydrous	1,000	1,000	-
Hydrogen chloride, anhydrous	20,000	10,000	Decrease
Hydrogen sulfide	1,000	1,000	-
Phosphine	50	500	Increase
Toluene diisocyanate	100,000	2,000	Decrease
Hydrogen bromide	2,500	10,000	Increase
Benzyl chloride	750,000	2,000	Decrease
Chlorine dioxide	500	500	-
Bromine	100,000	1,000	Decrease
Nitric oxide	1,000	10,000	Increase
Boron trichloride	1,500	10,000	Increase
Boron trifluoride	150	1,000	Increase
Chlorine trifluoride	500	1,000	Increase
Fluorine	20,000	500	Decrease
Cyanuric fluoride	50	2,000	Increase
Nitrogen trifluoride	2,500	20,000	Increase

따라서 이상의 연구결과를 종합하여 PSM 제출대상 독성물질의 규정량 개선(안) 및 증감을 요약하면 Table 8과 같다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 PSM 제출대상 51종의 유해・위험물질 중 23종의 독성물질의 규정량에 대해 국내・외 PSM 관련 제도의 규정량을 조사, 비교 및 검토하고, 유해・위험성을 고려하여 합리적인 규정량 조정 방안을 마련하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. PSM 제출대상 독성물질 중 가스의 경우 포스핀은 100 ㎏, 브롬화수소는 10,000 ㎏, 일산화질소는 10,000 ㎏, 붕소 트리염화물은 10,000 ㎏, 삼불화붕소는 1,000 ㎏, 염소 트리플루오르화는 1,000 ㎏, 질소 트리플루오르화물은 20,000 ㎏으로, 그리고 액체의 경우 메틸 이소시아네이트는 1,000 ㎏, 시아누르 플루오르화물은 2,000 ㎏으로 각각 증가시킬 필요가 있다.

2. PSM 제출대상 독성물질 중 가스의 경우 포스겐은 500 ㎏, 암모니아는 10,000 ㎏, 염소는 1,500 ㎏, 이산화황은 10,000 ㎏, 삼산화황은 10,000 ㎏, 시안화수소는 500 ㎏, 염화수소는 1,000 ㎏, 불소는 500 ㎏으로, 액체의 경우 톨루엔디이소아네이트는 2,000 ㎏, 염화 벤질은 2,000 ㎏으로 각각 감소시킬 필요가 있다.

3. PSM 제출대상 독성물질 중 불화수소와 황화수소는 1,000 ㎏, 이산화염소는 500 ㎏의 현행 규정량 그대로의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

이상과 같은 연구결과로부터 도출된 PSM 제출대상 독성물질 규정량 개선(안)은 사업장에서 유사 공정안전관리 제도의 규정량 차이로 인하여 발생되는 혼란과 부담을 완화시키고, 규정량의 합리적인 조정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] Lee, J. Y., Lee, K. W, Kim, K, J., and Kim, T. O., "*A Study on Improvement of Safety Management in Subcontractor through Process Safety Management*", *KIGAS*, **19**(4), 15-21, (2015)

[2] Park, D. J. et al., *A Study on Investigation of Harmful Chemical Substance such as HF and Reinforcement of PSM Regulation*, Ministry of Employment and Labor, (2013)

[3] Kim, T. O., et al., P*reparation of Improvement Plan of Process Safety Management(PSM) System for Preventing Chemical Accidents*, Occupational Safety and Health Research Institute, Ulsan, (2014)

[4] United Nations, *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)*, sixth edition , New York, (2015)

[5] NFPA, *NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response*, National Fire Protection Association, (2017)

[6] Heikkila, A. M., *Inherent safety in process plant design: an index-based approach*, Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, (1999)

[7] Gupta, J. P. et. al., "*Calculation of Fire and Explosion Index (F&EI) value for the Dow Guide taking credit for the loss control measures*", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 16, 235-241, (2003)

[8] Internal Task Force-25, *Final Report of Internal Task Force-25 Hazard from Toxic Industrial Chemicals*, Unclassified Distribution Limited to US/UK/CA Government Agencied and Contractors, (1996)