

[Convergence Paper]

## 화학물질 소화약제 안전한 사용에 관한 연구

조중래

한국산업안전보건공단

### Study on the Safe use of the Chemical Extinguishing Agent

Jung-Rae Cho

Korea Occupational Safety & Health Agency

(Received January 8, 2018; Revised February 1, 2018; Accepted February 22, 2018)

#### 요 약

본 연구는 산업재해예방기관인 안전보건공단(KOSHA)에서 실시한 소화약제 중독·질식 재해사례분석을 통해 소화 약제를 포함한 화학물질의 안전한 취급방안을 제안하기 위함이다. 산업재해통계에 따르면 2011~2016년 산업현장에서 발생한 화학물질 중독·질식재해는 해마다 증가 및 다 변화 양상을 보여주고 있다. 일반 사고성재해와 달리 화학물질 재해는 재해강도가 크고 화학물질 위험성 정보 확인이 어려운 특징이 있다. 화학물질 재해의 예방을 위해서는 화학물질 취급 전 위험성을 평가하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문은 유해위험성인지와 위험성평가가 어려운 화학물질의 안전한 사용을 위해 안전보건공단에서 개발한 화학물질 필수정보 확인 프로세스(CHEM-i)와 화학물질위험성평가기법(CHARM)의 활용방안을 제시하고자 한다.

#### ABSTRACT

This study analyzed the recent serious disaster cases of chemical extinguishing agent poisoning and suffocation investigated by KOSHA and proposed the safe use of chemical substances, including the chemical extinguishing agent. An analysis of the statistical figures an increase in the number and variations of chemical poisoning and suffocation cases in industry between 2011~2016 increased. Unlike other physical accidents, chemical accidents are very high in severity and it is difficult to identify the chemical hazard and risk. To prevent chemical disasters, it is essential to develop and use an easy chemical risk assessment tool. For the safe use of chemical substances, in which it is difficult to carry out hazard identification and risk assessments, this thesis presents the useful chemical recognition and risk assessment tools, CHEM-i and CHARM developed by KOSHA.

**Keywords** : Poisoning, Suffocation, Chemical hazard, CHEM-i, CHARM

### 1. 서 론

최근 소화약제 취급으로 인한 화학물질 중독·질식재해가 다발하고 있다. 국내에서 사용 중인 소화약제는 포소화약제, 분말소화약제, 가스계소화약제(할로젠, 청정, 불활성 가스) 등이 있다. 최근 발생한 소화약제 관련 중독재해로는 2017년 청정소화약제 제조업체에서 소화약제(HCFC 123) 충전 작업 급성간염에 의한 1명 사망, 2011년 ㈜이마트탄현점 지하기계실 냉동기 수리 작업 중 누출된 프레온 가스(HCFC 123)에 따른 4명 사망, 2013년 국제냉동자동차시스템 소유 선박 내부 기계실 냉동기 수리 작업 중 프레온 가

스(HCFC 22) 누출에 의한 3명부상·1명 사망 등의 사례가 있다. 소화약제 질식재해는 2011년 한국GM 부평공장 지하 기계실 보수공사 중 이산화탄소 누출에 따른 1명 사망, 2012년 광주도시철도공사 전기실의 이산화소화약제 오작동으로 인해 1명 사망, 2012년 (주)포스코 기계설비 공사 중 이산화탄소 소화약제 방출로 1명 사망, 2015년 경주 코오롱호텔 보일러실 벽면 단열재 작업 중 이산화소화약제 방출로 5명 부상·1명 사망 등이 최근 사례이다. 산업현장에서 발생한 화학물질 재해통계(중독, 질식)를 분석해보면 2011년부터 2016년까지(6년) 산업재해보상보험(산재보험)을 가입한 사업장 중 화학물질 중독·질식재해자는 총

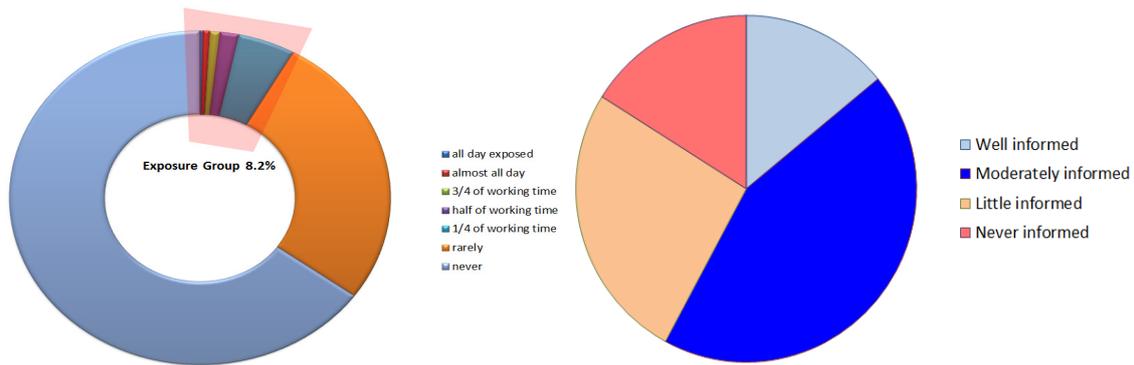


Figure 1. The degree of exposure and hazard information education on chemical risk<sup>(2)</sup>.

2,514명이었고 이중 중독재해 2,445명 질식재해 69명 발생하였다. 재해의 특성을 보면 중독재해의 경우 산업현장에서의 화학물질 사용량 증가로 해마다 중독재해가 증가하고 있으며(2011년 1,092명 → 2016년 1,472명), 질식재해의 경우 과거에는 맨홀 등 단순 밀폐공간에서 산소결핍, 질식성가스(황화수소, 일산화탄소) 중독 등이 대부분이었으나, 최근에는 산업화의 진행으로 산업현장에서 다양한 용도로 사용되는 가스(프레온, 이산화탄소, 질소, 아르곤 등) 누출에 의한 질식재해가 급증하고 있는 추세이다. 안전보건공단의 화학물질 중대재해 원인조사 자료<sup>(1)</sup>를 분석해본 결과 화학물질재해는 화학물질의 유해위험정보를 인지하지 못한 상태에서 미흡한 작업환경관리(환기 미실시, 보호구 미착용 등)에 의한 것이 대부분이었다. 고용노동부에서는 산업안전보건법을 통해 화학물질 취급으로 인한 근로자의 중독·질식재해를 예방하도록 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)를 현장에 비치하고 취급 근로자에 대해 MSDS 교육을 실시토록 규정하고 있다. 또한 작업과 관련한 화학물질 사용 시에는 사전 위험성평가를 실시하여 안전보건대책을 수립토록 하고 있다. MSDS란 화학물질의 안전한 취급을 위해 화학물질의 제조업자가 사용 사업장에 제공하는 안전보건정보자료이다. 하지만 MSDS는 내용이 방대하고 전문적이어서 일반인이 활용하기에는 많은 어려움이 있어왔다. 화학물질 재해는 크게 화재·폭발과 중독·질식으로 크게 구분되며 화재·폭발은 인화성물질 등 화학물질의 물리적 위험성으로 중독·질식은 건강(독성) 위험성에 기인되며, 안전보건공단 재해원인조사결과<sup>(1)</sup>에 의하면 이러한 재해는 모두 화학물질 유해위험정보 확인 및 위험성평가 미실시에 기인된 것으로 파악되었다. Figure 1은 안전보건공단에서 3년마다 실시하는 전국단위 근로환경설문조사 결과<sup>(2)</sup>(안전보건공단 홈페이지-정보마당-산업재해통계-근로환경조사)를 보여주고 있는데, 2014년 설문 결과에서는 전체 설문참여 근로자 49,616명 중 4,070명이 업무 시간 중 2시간 이상 화학물질에 노출되고 있다고 답변하였고(1/4 of working time-all day exposed) 산업현장에서 MSDS교육 등을 통해 화학물질의 유해위험성정보를 적

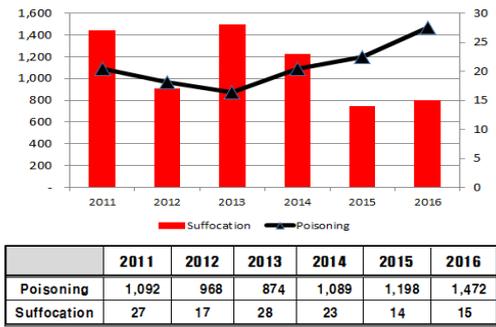
정 수준이상 제공받고 있는 근로자(Moderately informed, Well informed)는 57% (46,976명 중 27,184명)에 불과한 것으로 나타났다. 이처럼 화학물질 취급 근로자의 유해위험정보 전달이 미흡하고 이로 인한 재해위험성이 높은 실정이다.

산업재해예방기관인 안전보건공단(KOSHA)에서는 최근 증가하고 있는 화학물질 재해감소를 위해 화학물질 필수정보 확인 프로세스(CHEM-i)와 화학물질위험성평가기법(CHARM)을 개발하여 사업장에 활용토록 하고 있다. CHEM-i와 CHARM은 사업장의 화학물질재해예방을 위해 개발된 것이지만 소화약제, 일반 생활화학용품 등 화학물질로 인한 사고(재해)를 예방하는 도구로 유용하게 활용될 것으로 판단된다. 현재 국내에는 화학물질 제조사에서 제공하는 MSDS 자료제공·확인을 제외하고 화학물질 취급현장에서 재해예방을 위해 활용 가능한 도구가 없으며, 이로 인해 화학물질로 인한 화재·폭발, 중독·질식 등 재해가 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 최근에 발생했던 소화약제 중독·질식재해사례를 분석해보고 소화약제 등 화학물질 취급으로 인한 재해예방을 위해 화학물질 취급현장에서 유용하게 활용할 수 있는 도구로 안전보건공단에서 최근 개발한 CHEM-i와 CHARM의 활용방안을 제시하고자 한다.

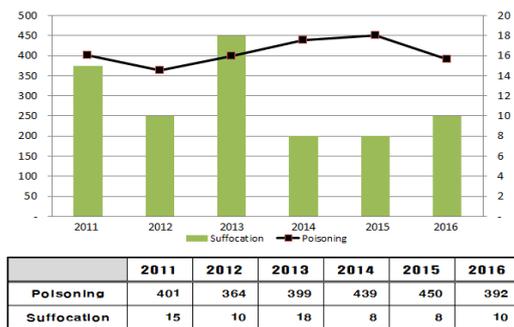
## 2. 본 론

### 2.1 화학물질 중독·질식 재해현황

산재보험에 가입된 사업장을 기준으로 분석한 최근 6년간(2011년~2016년) 2016년 고용노동부에서 제공하는 산업재해통계<sup>(2)</sup>(안전보건공단 홈페이지-정보마당-산업재해통계)에 의하면 산업현장에서 사용하는 화학물질 중독으로 직업병에 이환된 재해자는 총 886명(진폐증에 의한 직업병 제외), 질식에 의한 재해자수는 124명이었다. 산재보험에 가입되지 않은 사업장과 일반인에게 발생된 재해를 포함한다면 더 많은 재해자가 있을 것으로 추정된다. Figure 2는 최근 6년간 산업현장에서 발생한 화학물질 중독·질식에 의한 재해자와 사망자수를 보여주고 있다. 화학물질 중독 재해는 재해자 6,693명, 사망자 2,445명이었고, 질식재해는



(a) Overall disaster by poisoning and suffocation in industry



(b) Death by poisoning and suffocation in industry

Figure 2. Statistical analysis of poisoning and suffocation in industry.

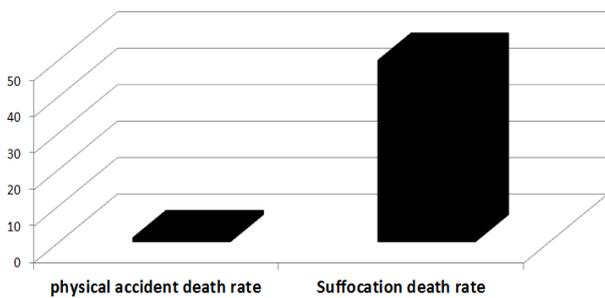


Figure 3. Statistical death rate analysis of suffocation compared with physical accident<sup>(7)</sup>.

재해자 124명, 사망자 69명이었다. Figure 3은 화학물질 재해 중 질식재해의 특징이 재해자 중 사망자가 차지하는 비율이 다른 재해형태와 달리 매우 높다는 것을 보여주고 있다. 재해자 중 사망자가 차지하는 비율은 중독재해는 36%, 질식재해는 56%로서 높은 수준이었고 안전보건공단 자료(2017년 밀폐공간질식재해 매뉴얼)에 의한 일반 사고성재해의 사망비율 1.3%와 비교해 비해 매우 높은 수준인 것을 보여준다.

최근에 발생했던 할로겐소화약제(HCFC 123, HCFC 22 등)에 의한 화학물질 중독재해는 할로겐화합물 소화약제(냉매)의 인체 흡입에 따른 독성작용으로, 이산화탄소 누출에 의한 사망사고는 산소결핍공기 흡입에 의한 질식작용에 의한 것으로 밝혀졌다. 화학물질의 독성에 의한 재해는 화학물질별로 지니고 있는 특정 표적장기에 대한 유해위험성에 기인되고 있으며 화학물질의 인체 흡수기전은 호흡기, 경구, 피부 등 화학물질의 특성에 따라 다양하게 이루어지고 있다. 그 예로 Trichloroethylene (TCE)는 간 독성물질로 호흡기를 통해 흡수되는 물질이고, Tetramethylammonium hydroxide (TMAH)는 피부, 호흡기를 통해 흡수되며 주요 표적 장기는 호흡기·신경계 등이다. 실제 TCE와 TMAH취급으로 인한 산업현장에서 사망사고는 다수 발생한 사례가 확인되었고 안전보건공단의 중대재해 사고원인조사 결과<sup>(1)</sup>에 따르면 사고의 원인은 모두 유해위험성정보인지 부족과 환기 미실시, 적정 보호구 미착용 등 화학물질 작업환경관리 미흡(노출허

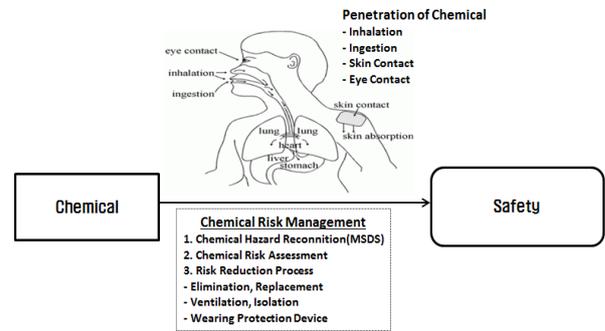


Figure 4. Schematic diagram of chemical penetration and chemical risk management.

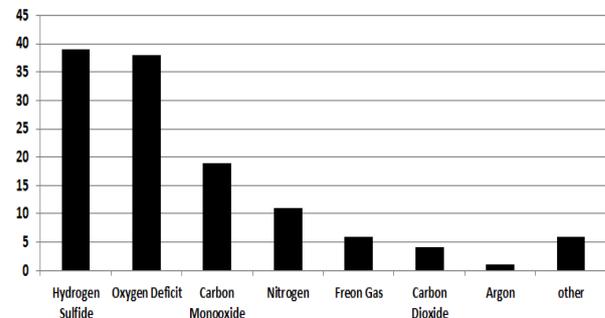


Figure 5. Statistical analysis of chemical suffocation by cause<sup>(2)</sup>.

용기준이상의 초과 노출)에 기인된 것이었다.

Figure 4에 의하면 화학물질 취급 시 화학물질의 특성에 따라 호흡, 소화, 피부/눈 접촉 등에 의해 신체로 흡수가 되고 특정표적장기(간, 호흡기, 심혈관계 등)에 독성작용을 하게 되는 것이다. 화학물질 독성작용을 최소화하기 위해서는 화학물질의 유해성인지를 통한 위험성평가·관리를 통해 화학물질이 인체에 일정농도 이상 흡수되지 않도록 환기, 보호구 착용 등 안전보건관리를 철저히 해야 한다는 것이다.

질식은 우리 몸에 산소가 정상적으로 공급되지 않아 발생하는 재해를 말한다. 질식재해 원인물질은 Figure 5에서와 같이 황화수소, 이산화탄소, 질소, 프레온가스 등의 순이며 예전과 달리 첨단산업의 발전과 더불어 사용량이 증

**Table 1.** The Classification of Suffocant<sup>(7)</sup>

Physical suffocant	· Chemical Having no Toxicity But Lowering the Relative Concentration of Oxygen in Confined Space (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Ar, He etc)
Chemical suffocant	· Chemical Hindering the Oxygen Transport Ability in Blood (CO, Aniline, Nitrosoamine etc)
	· Toxic Chemical Hindering the Distribution Ability in Lung (Hydrogen sulfide, Phosgene, O <sub>3</sub> , Chlorine etc)

**Table 2.** Serum Enzyme Indicators of Hepatotoxicity (Principles of Toxicology Second Edition, Philip L. Williams)

Enzyme Acronym	Comments
ALT	Found Mainly in the Liver; Increase Reflects Primarily Hepatocellular Damage
AST	Less Specific to the Liver Than ALT; Increase Reflects Primarily Hepatocellular Damage
ALP	Increases Reflect Primarily Cholestatic Injury

가하는 불활성가스(프레온, 이산화탄소, 질소 등)누출에 의한 질식사고가 증가하고 있는 경향을 보이고 있다.

질식재해는 산소농도가 낮은(18% 미만)공간에서도 발생하지만 산소농도가 정상범위(18~23.5%)라 하더라도 일산화탄소, 황화수소 등 혈액 중 산소운반을 저해할 수 있는 질식성 독성가스에 노출되는 경우에도 질식은 일어난다. 질식은 산소농도의 상대적(물리적) 농도감소로 인한 단순 질식과 화학물질의 독성 작용에 의한 산소의 혈액 흡수방해에 따른 화학적 질식으로 구분된다. Table 1은 대표적인 물리적 질식제(Physical suffocant)와 화학적 질식제(Chemical suffocant)의 사례를 보여주고 있다.

질식재해의 큰 특징 중의 하나는 일반 사고성재해와 달리 사망률이 높으며(질식재해 사망률: 50%, 안전보건공단) 재해발생 시 동시에 2명 이상이 사망하거나 부상당하는 경우가 많다는 것이다. 이는 질식재해를 일으키는 물질에 대한 유해위험정보전달, 이를 통한 적절한 안전보건관리가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 화학물질로 인한 중독·질식 재해를 예방하기 위해서는 취급 화학물질이 가진 유해위험성 정보를 정확하게 인지하고, 이를 통해 현재 작업환경에서의 화학물질로 인한 위험성을 평가한 후 위험성평가결과에 따라 위험성이 허용수준 이상인 경우(화학물질의 노출기준을 초과하는 경우 등) 화학물질로 인한 재해 예방을 위한 대책(환기설비 설치 등 공학적 개선·보호구 착용 등을 통한 노출량 최소화 방안 등)을 수립·시행하여야 하는 것이다. 다음은 안전보건공단에서 화학물질 소화약제 취급과 관련하여 최근 재해조사를 실시한 사례를 보여주고, 이 사례를 통해 화학물질의 안전한 취급을 위한 방안을 고찰해 보고자 한다.

**2.2 화학물질 중독·질식 중대재해사례**

**2.2.1 사례 1. 소화약제(HCFC 123) 중독재해(안전보건공단 재해조사결과)**

① 재해개요: ‘17.7.27.(화) ~ 17.8.11.(금)까지 경기도 안

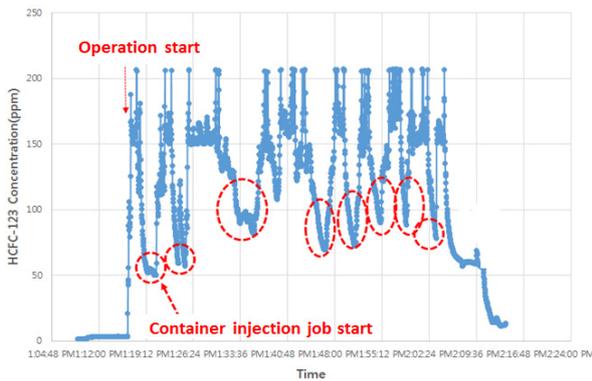
성소재 (주)포트텍 안성공장에서 소화기 약제충진 작업(원료 탱크주입→소화액 충전)을 실시하던 재해자 2명이 간독성 물질(HCFC-123으로 추정)에 의해 몸의 이상을 느끼고 병원에서 치료를 받던 중 1명이 급성 간 부전으로 사망하고 1명이 부상당한 재해임.

② 피해현황: 1명 사망, 1명 부상

③ 재해발생과정: 사망근로자 ○○○은 2017년 7월 27일부터 근무를 시작했고, 2017년 8월 11일부터 발열 증상과 식욕부진이 시작되었으며, 종합감기약을 먹고 일시적으로 호전되었지만 다시 발열 증상을 보여 2017년 8월 13일에 평택 굿모닝병원 응급실을 방문하였다. 내원 후 8월 14일 건강진단 결과 간수치 AST 4,875 IU/L(기준 0~40), ALT 3,287 IU/L(기준 0~40) 이었다. 보존적 치료에도 호전되지 않아 2017년 8월 15일 분당서울대학교병원 응급실에 전원하였고. 이 후 AST 13,537 IU/L, ALT 7,115로 더욱 증가하였다. 2017년 8월 16일 AST 16,152 IU/L, ALT 8,245 IU/L로 수치 증가 및 혈액투석을 시작하였고 2017년 8월 17일 의식이 저하되고 급성 전격성 간염으로 판단되어 중환자실로 옮겨졌다. 중환자실 치료에서도 의식이 점점 저하되어 2017년 8월 24일 0시 40분 사망 최종 사인은 간 부종으로 기록되었다. Table 2은 간 독성 여부를 판단하는 대표적 혈청효소 지표인 ALT, AST, ALP 수치의 의미를 보여준다. 안전보건연구원에서는 재해자가 HCFC 123 노출로 간 독성 효소 수치인 ALT, ALP의 급속한 증가와 이로 인한 전격성 간염 전이 등을 고려해 재해자의 직접적인 원인물질은 HCFC 123로 결론지음

④ 재해발생원인: 화학물질 유해위험 인지 미흡, 환기설비 미설치, 보호구 미착용 등으로 인해 간 독성물질인 HCFC 123에 과도하게(노출기준 이상) 노출되었고 이로 인한 급성간염전이 및 사망

⑤ 재해 현장 재현을 통한 HCFC 123 작업환경측정결과: 안전보건연구원에서 중대재해원인조사를 위해 Figure 6과 같이 재해가 발생한 소화약제 충전 작업공정을 재현한 상태에서 작업환경측정을 실시한 결과 HCFC 123 농도는 노



(a) Measurement (concentration) result



(b) Injection job (Accident occurrence) figure

Figure 6. Monitoring of HCFC-123 concentration at accident workplace.

출기준(인체허용기준) 50 ppm을 초과한 200 ppm 정도의 높은 수준으로 평가되었다.

2.2.2 사례 2. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 소화설비 방출로 인한 질식재해

① 재해개요: ‘12년 8월 28일 8시50분경 광주광역시 소재 광주도시철도공사 변전실에 설치된 이산화탄소 소화설비가 강한 태풍으로 오작동하여 분사되었고 변전실을 확인 하러 들어간 재해자 ○○○은 변전실 내 분사된 CO<sub>2</sub>가스에 의한 산소결핍 공기흡입으로 질식한 재해임.

② 피해현황: 1명 사망

③ 재해발생과정: 태풍으로 인한 소화설비 오작동(이산화탄소 소화약제 설계농도: 34%, 변전실 내 산소농도: 약 13% 추정)으로 변전실 내 CO<sub>2</sub>가스 분출된 상황에서 재해자는 공기호흡기 등 보호 장구를 착용하지 않은 상태로 변전실 점검을 위해 출입하여 산소결핍공기 흡입으로 질식사망하게 됨.

④ 재해발생원인: 화학물질 유해위험성을 인지부족, 공기호흡기 등 보호구를 미착용

⑤ 재해현장(변전실) 산소농도 추정결과(이산화탄소 소화약제량과 작업장 상황 고려)

층높이 (m)	면적 (m <sup>2</sup> )	체적 (m <sup>3</sup> )	방출소화약제량(kg)	용기 수	헤드수량 (개)
4.43	864	3,827	5,265	117	34

$$PV = \frac{W}{M}RT \rightarrow \text{CO}_2\text{기화체적} \rightarrow$$

$$\text{CO}_2\text{농도} = \frac{\text{CO}_2\text{기화체적} (m^3)}{\text{변전실 방호구역 체적} (m^3) + \text{CO}_2\text{기화체적} (m^3)} \times 100(\%)$$

(CO<sub>2</sub> 기화체적: 2,436 m<sup>3</sup>, 변전실 방호구역 체적: 3,827 m<sup>3</sup>)  
 → CO<sub>2</sub>농도(%)=38.9% → O<sub>2</sub> 농도(%)=12.8%

※ 안전 산소농도 범위: 18~23.5%(안전보건공단 질식재

해예방 매뉴얼<sup>(7)</sup>, 2017년)

2.2.3 사례연구를 통한 시사점

상기의 두 사례는 최근에 발생한 대표적인 화학물질 소화약제 사망사고 사례로 HCFC 123사례는 독성화학물질 HCFC 123 노출에 의한 중독사망, CO<sub>2</sub>사례는 불활성(비 독성) 화학물질 누출에 따른 산소결핍에 의한 질식재해이다. 화학물질에 의한 사망사고는 크게 중독과 질식에 의한 것으로 분류될 수 있고 소화약제의 대표적인 재해사례를 통해서도 알 수 있다. 두 재해사례의 원인 모두 화학물질의 유해위험성 인지부족, 화학물질 과다 노출 등 작업환경관리 불량에 기인된 것임을 알 수 있고 이를 통해 향후 화학물질 재해예방을 위해서 아래와 같은 개선활동의 필요성을 인식할 수 있었다.

① 화학물질 취급 작업 시 화학물질의 유해위험성의 사전 인지가 중요하다.

② 화학물질로 인한 재해예방을 위해서는 화학물질의 유해위험성(Hazard)을 확인하고 Hazard가 재해(중독, 질식, 화재·폭발 등)로 이어지지 않도록 환기설비가동, 적정 보호구 착용 등 적정 안전보건관리를 수행함(화학물질 취급 전 위험성평가)이 중요하다.

③ 모든 국민이 화학물질 재해로부터 안전할 수 있도록 화학물질 안전을 담당하는 고용노동부, 환경부 등 여러 정부부처에서 화학물질 재해예방을 위한 법적 제도를 수립·정착시키는 것이 중요하다.

최근 화학물질 재해사례를 통해 화학물질 재해예방을 위해서는 화학물질 취급현장에서 현장 작동성이 높은 구체적인 화학물질 안전관리가 필요하다는 것을 인식하게 되었다. 이와 관련해 안전보건공단에서 산업현장의 근로자 화학물질 재해예방을 위해 최근 개발한 CHEM-i (화학물질 정보인지 프로세스)와 화학물질 위험성평가 프로그램(CHARM)을 간단히 소개하고 이를 통해 국내화학물질 안전보건관리의 방향을 제시해보고자 한다.

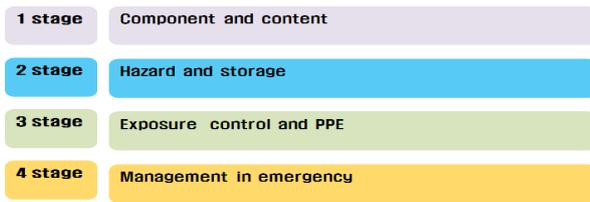


Figure 7. CHEM-i process for chemical accident prevention.

2.3 화학물질 중독·질식 재해예방 실천방안

2.3.1 화학물질 유해위험정보 확인

화학물질의 유해위험성 정보 확인은 화학물질 제조사에서 작성한 물질안전보건자료(MSDS)를 통해 확인토록 되어 있다. MSDS자료에는 화학제품 회사정보, 유해위험성, 구성성분, 응급조치요령, 물리화학적 특성, 독성정보, 환경에 미치는 영향, 운송에 필요한 정도 등 화학물질 안전보건내용 뿐 아니라 화학물질 취급과 관련된 16개의 다양한 항목으로 구성되어 있다. 실제 재해예방을 위해서는 화학물질 안전보

건관리를 위한 MSDS 필수 핵심정보를 인지하는 것이 중요하다. 이러한 점을 고려해 안전보건공단에서는 사업장에서 쉽게 화학물질 재해예방을 할 수 있도록 MSDS내용 중 안전보건관리에 필수항목 4가지 정보를 추출하여 근로자에게 제공하는 프로세스인 CHEM-i (Component, Hazard, Exposure control, Management in emergency, Information)를 개발하여 온라인상으로 제공하고 있다([http://msds.kosha.or.kr/-화학물질정보검색-유해/위험성정보-물질명\(또는 CAS No\)입력](http://msds.kosha.or.kr/-화학물질정보검색-유해/위험성정보-물질명(또는 CAS No)입력)), CHEM-i에서는 화학물질의 재해예방을 위해서 MSDS 16항목 중 화학물질성분, 유해성, 노출방지 및 사고대응 등 핵심적인 항목의 이해가 필수적이라는 것이다. Figure 7은 화학물질 재해예방을 위한 CHEM-i의 구성요소 및 적용절차를 보여 준다. 화학물질 안전관리를 위해서는 MSDS 내용 중 C → H → E → M이라는 정보를 확인하고 안전한 취급방법에 따라 사용해야 된다는 것이다.

CHEM-i의 C는 화학물질의 성분과 함량, H는 유해위험성과 저장방법, E는 화학물질 노출 저감을 위한 관리방안, M은 화학물질 누출 등 비상상황에서 화학물질 취급요령

Table 3. CHEM-i Result of HCFC 123

CHEM-i	HCFC 123			
C (Component and Content)	· CAS No: 306-83-2			
	· Physicochemical Characteristic			
	Boiling Point	Flash Point	Vapor Pressure	Specific Gravity
	28 °C	9 °C	14 Pa	1.5
H (Hazard and Storage)	· Injury of Liver · Injury of Cardiovascular System · Eye Irritation			
E (Exposure Control)	· Substitution or Elimination · Isolation from the Source · Ventilation, PPE (Personal Protective Equipment, e.g, Respirators)			
M (Management of Emergency)	· Elimination of Ignition Source, Fire Extinguisher: Dry Sand · Wash the Eye and Skin with the Pure Water			

Table 4. CHEM-i Result of CO<sub>2</sub>

CHEM-i	CO <sub>2</sub>			
C (Component and Content)	· CAS No: 124-38-9			
	· Physicochemical Characteristic			
	boiling Point	Flash Point	Vapor Pressure	Specific Gravity
	-78.5 °C	-	48,300 mmHg	1.527
H (Hazard and Storage)	· Cause Suffocation in Gas Leak in Confined Space · Respiratory Irritation			
E (Exposure Control)	· Ventilation of Confined Space · PPE (Personal Protective Equipment): e.g, Air Respirator			
M (Management of Emergency)	· Prevent the Gas Leak in Confined Space and Basement			

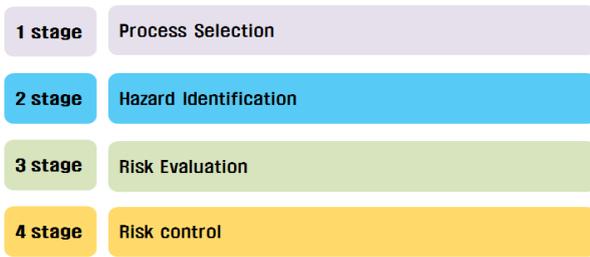


Figure 8. Risk assessment process.

을, i는 이를 위한 핵심정보제공을 의미한다. 즉 CHEM은 화학물질 재해예방을 위한 안전보건 핵심정보인 것이다. 공단 CHEM-i를 통해 HCFC 123과 CO<sub>2</sub>에 대한 유해위험성 정보를 확인한 결과는 Table 3 및 4와 같았다. 즉, HCFC 123은 간 독성이 있고 쉽게 증발해 호흡기로 노출되는 화학물질, 이산화탄소는 불활성 가스로 환기가 잘 되지 않는 공간에 누출 시 산소결핍으로 질식재해를 유발하는 화학물질로 평가되어 있다. 따라서 CHEM-i 정보의 확인을 통해 화학물질이 가진 유해위험성을 인지하고 이에 따른 안전보건대책을 수립할 수 있게 되는 것이다. 현재 공단에서는 1,000개의 화학물질에 대한 CHEM-i정보를 구축되어 제공되고 있으며, 구축되지 않은 화학물질의 경우에도 취급 화학물질의 MSDS 자료 내용 중 CHEM-i프로세스에 따른 핵심정보 추출과정을 활용하면 화학물질 안전보건관리에 필요한 자료를 쉽게 확인이 가능하다.

2.3.2 위험성평가를 통한 화학물질 등 유해위험요인관리

위험성평가란 유해위험요인을 파악하고 해당 유해위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정·결정하고 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정이다. 위험성평가과정에서 말하는 유해위험요인 중 위험요인은 기계·기구·설비, 폭발성 물질, 전기 등 사고성재해를 유발하는 요인을 유해요인은 독성화학물질, 방사선, 소음 등 질병재해를 유발하는 요인을 말한다. 위험성평가의 절차는 Figure 8과 같이 평가하고자 하는 공정(작업)을 선정하고 분류한 후 공정(작업)별 유해위험요인(Hazard)을 찾고 유해위험요인 별 위험정도(위험성)를 추정하고 결정한 후 평가 사업장(담당자)의 허용기준과 비교하여 허용기준 이상의 위험성을 가진 유해위험요소에 대해 안전보건대책(공학적, 관리적)을 수립하는 활동이라 할 수 있다.

화학물질의 위험성평가는 독성학에서 설명하는 양(Dose)·반응(Response)이론을 통해 설명이 가능하다(Principles of Toxicology second edition, 2000). 양-반응이론은 화학물질은 유해성(독성)의 강도에 차이가 있기는 하지만 모든 화학물질은 독성을 가지고 있으며, 화학물질별 유해성을 통해 인체에 독성영향(재해)을 일으키기 위해서는 물질별 특정 양(노출기준) 이상 흡수되어야 한다는 것이다. 화학물질을 안전하게 관리하기 위해서는 화학물질이 가진 고유의 유해성

Table 5. Common and Chemical Risk Assessment

Common Risk	Risk=Severity×Probability
Chemical Risk	Risk=Toxicity×Exposure Level

(독성)을 사전에 인지하여야 하고 독성작용이 발생되지 않도록 화학물질의 인체 노출수준(량)을 노출기준(허용기준) 이하로 적정하게 관리해야 됨을 의미한다. 즉, 화학물질의 위험성평가는 화학물질 유해성(독성)과 노출수준(Exposure level) 조합을 통해 위험성을 평가할 수 있게 하고 화학물질의 독성영향을 저감하기 위한 대책을 제시할 수 있는 기법이라 할 수 있다. Table 5는 안전관리에 사용되는 위험성평가와 화학물질위험성평가를 비교한 것이다. 일반 위험성평가의 위험성은 유해위험요인으로 인한 재해발생 가능성(Probability)과 중대성(Severity)의 조합으로 위험성을 결정하고, 화학물질 위험성평가는 화학물질 노출수준(Exposure Level)과 유해성(독성)의 조합으로 평가된다. 모든 유해위험요인(Hazard)은 재해발생강도와 가능성이 상황에 따라 다르듯이 화학물질의 경우에도 취급 물질별 상황에 따라 유해성 및 노출수준의 차이가 있고 이로 인해 위험성에 있어 차이가 있다. 화학물질을 포함해 재해를 예방하기 위해서는 현장 상황에 맞게 중대성(유해성)과 가능성(노출수준)의 조합을 통해 위험성을 평가해보고 이를 통해 재해예방을 위한 대책을 수립·시행해야 되는 것이다.

국내에는 4만 여종 이상의 다양한 화학물질이 사용되고 있으며, 앞으로도 계속 새로운 화학물질이 생겨나고 있다. 화학제품을 제조(취급)하는 사업장 등 다양한 화학물질의 안전관리를 해야 하는 경우 물질별 MSDS자료를 수작업으로 찾아 유해성을 확인하고 위험성관리를 하는 것은 매우 힘든 일이라 할 수 있다. 이러한 화학물질 위험성평가의 어려운 점을 개선하기 위해 안전보건공단에서는 MSDS 데이터베이스 연동방식의 위험성평가기법인 Chemical Hazard And Risk Management (CHARM)을 개발하여 제공하고 있다. CHARM 기법은 화학물질 입력을 통한 유해성 점수가 자동적으로 산정되고 화학물질의 노출수준(량)을 추가 입력하게 되면 화학물질 취급으로 인한 위험성점수가 최종적으로 산출되는 것이다. Figure 9는 화학물질 취급 공간에서 CHARM기법 적용을 위한 평가모델을 그림으로 나타낸 것으로서 실내 공간(작업장)에 특정 화학물질(소화약제)이 분사(노출)되고 분사(노출)량에 따른 노출정도(농도)가 변하고 이에 따라 화학물질의 유해성(독성)과의 조합에 의해 화학물질 위험성이 결정되게 된다는 상황을 보여주기 위함이다. 공간의 조건은 HCFC-123 등 화학물질 분사(발생)량, 환기상태(환기팬 등) 등을 조건으로 하였다. 즉, 화학물질을 취급하는 실내 공간의 조건에 따라 노출농도의 차이가 나게 되는 것이다. 본 연구에서는 2가지 형태의 화학물질에 대한 위험성평가를 실시하였는데 첫 번째는 화학물질 노출기준과 작업환경측정결과가 있는 경우이며, 두 번째는 노

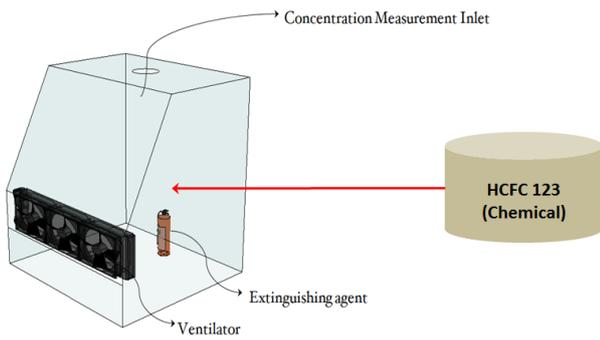


Figure 9. Chemical risk assessment model.



Figure 10. Chemical risk assessment procedure (CHARM).

출기준과 작업환경측정결과가 없는 경우 두 가지 경우에 대해 실시하였다. 화학물질의 노출기준이란 인체역학조사, 동물실험 등의 연구과정을 거쳐 인체에 독성영향을 일으키지 않을 것으로 예측되는 최대 화학물질 노출농도를 의미하는 지표를 의미하며 국가별로 다양한 노출기준을 설정하여 관리하고 있다.

평가모델과 같은 공간 내부에 소화 약제(HCFC 123) 등 화학물질을 일정량 분사한 후 노출량을 결정하고(측정, 계산 등을 통한 노출량 산정가능) 화학물질 위험성평가기법 CHARM을 통해 유해성(독성)자료와 조합하여 현재 실내 공간의 화학물질 위험성을 최종 평가하게 되는 개념으로 Figure 10과 같이 취급 화학물질명과 취급(노출) 수준의 입력, 위험성 점수를 산정하는 순으로 진행된다. 즉, CHARM은 화학물질의 위험성(Risk)을 유해성(Severity)과 노출수준(Probability)의 정보 조합으로 평가하는 것이다. Table 4에서와 같이 유해성은 화학물질의 독성 정도를 의미하는 것으로 CMR (발암성, 생식세포 변이원성, 생식독성) 물질여부, 화학물질별 설정 노출기준(Exposure Standard), 기타 독성정보(위험문구 R-phrase, 유해위험문구 H-code)로, 노출수준은 작업환경측정결과(Measurement result) 및 취급조건(사용량, 비산정도, 환기상태 등) 등을 통해 평가하게 된다. 유해성 정보인 CMR여부, 노출기준, 기타 독성정보는 MSDS자료에서 추출할 수 있으며 공단의 CHARM프로그램은 공단에 구축된 MSDS와 연동되어 있어 화학물질 명칭(CAS 등)을 입력하게 되면 자동적으로 산정을 해주게 된다. CMR물질은 매우 유해성이 높은 물질로 유해성 점수 4로 산정하고, 화학물질 노출기준에 따른 평가의 경우 Table 5에서와 같이 노출기준이 높은 물질일수록 유해성은 적은 순으로 1~4로 산정하게 된다. 그 외에 MSDS자료에서 화학물질의 유해위험정도를 나타내는 문구 및 코드인 R-phrase와 H-code 또한 유해성 정도에 따라 1~4로 분류가 가능하다. 노출수준 정도는 Table 4에서와 같이 화학물질 농도측정결과(노출기준 대비 측정결과)를 통하거나 측정결과가 없는 경우에는 화학물질 취급량, 휘발성, 비산성, 화학물질 물리화학적 특성 등 화학물질 취급상황 입력하여 산정할 수 있다. Table 6은 노출기준이 설정되어 있으며, 작업환경측정결과가 있는 경우에 노출수준을 평가하는 방법으로 화학물질의

Table 6. Chemical Risk Evaluation Method (4×4)

Risk (1~16)	Severity(1~4) (Toxicity)	×	Probability(1~4) (Exposure)
	① CMR (1A, 1B, 2) ※ CMR : Carcinogenicity, Mutagenicity, Reproductive Toxicity ② Exposure Standard ③ R-phrase/H-code		① Measurement Result (Concentration) ② Amount used, Volatility, Etc

Table 7. Classification Criteria for Chemical Exposure (Severity Example)

Level	Contents	Exposure Criteria	
		Dust	Vapor
1	Skin or Eye Irritation	1~10 mg/m <sup>3</sup> less than	50~500 ppm less than
2	One Time Exposure Risk	0.1~1 mg/m <sup>3</sup> less than	5~50 ppm less than
3	Severe Irritation and Corrosion	0.01~0.1 mg/m <sup>3</sup> less than	0.5~5 ppm less than
4	Very Toxic to Single Exposure	0.01 mg/m <sup>3</sup> under	0.5 ppm under

**Table 8.** Determine Exposure Level Rating Based on Measurement Result (Probability Example)

Level	Contents
1	Less Than 10% Chemical Exposure Level
2	Chemical Exposure Level 10~50%
3	Chemical Exposure Level 50~100%
4	Chemical Exposure Level Exceeded 100%

노출기준 대비 측정농도수준(측정농도/노출기준×100%)에 따라 노출수준 점수가 1~4로 평가할 수 있다. 즉, 노출기준이 설정된 물질로 농도측정이 가능한 경우에는 더욱더 정량적이고 정확한 위험성을 판단할 수 있게 되는 것이다. 화학물질위험성평가의 객관성과 정확성을 기하기 위해서는 이처럼 노출기준이 설정되지 않은(유해성이 평가되지 않은) 화학물질에 대한 많은 연구(동물실험 등)를 통해 노출기준을 설정해나가는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

**2.3.3 화학물질(HCFC 123, HFC 125) 유해성(독성) 평가**

1) 유해성(toxicity)

CHARM을 통해 HCFC 123의 유해성(독성) 자료(노출기준, 유해위험문구 등)를 평가한 결과 유해성(독성)점수 2점으로 평가되었고 HFC 125는 유해성(독성) 점수 1점으로 평가되었다.

**2.3.4 노출수준(량) 평가(exposure)**

노출수준의 평가는 노출기준과 작업환경측정결과(작업장소의 화학물질 농도)가 있을 경우와 측정결과가 없을 경우 두 가지 형태로 분류하여 이루어진다.

1) 작업환경측정결과가 있는 경우 HCFC 123(노출기준 TWA=50 ppm)

노출기준 대비 작업환경측정 결과 비교를 통해 노출수준 점수를 평가하게 되며 CHARM을 통한 평가결과 Table 7과 같이 HCFC 123의 경우 노출기준은 50 ppm이고 HCFC 123 사용 중 측정결과가 1~100 ppm으로 증가함에 따라 노출수준 점수가 1~4로 평가되었다.

2) 작업환경측정결과가 없는 경우 HFC 125(노출기준 미제정)

Table 8은 HFC 125와 같이 노출기준이 설정되지 않고 작업환경측정결과가 없는 경우에는 화학물질 취급량(kg, L), 분진 비산성(입경, 중량, 기류 등), 증기휘발성(끓는점, 증기압 등) 등을 통해 노출수준을 평가하는 것을 보여주는 사례이다. 작업환경측정결과가 없는 물질에 대해 화학물질 취급상황을 입력하여 노출수준 점수를 산정한 예이다. CHARM에서는 화학물질 사용량, 작업 조건(화학물질 취급 온도), 물리화학적 특성(끓는점, 증기압 등) 입력을 통해 화학물질의 발생(노출) 정도를 추정해 노출수준을 1~4로 평가하게 된다. 물론, 고체 분말상의 화학물질의 경우에도 입경, 무게, 비산성 등의 특성치 입력을 통해 노출수준의 결정이 가능하다.

**2.3.5 위험성평가 결과 산출**

위에서와 같이 화학물질의 위험성은 유해성과 노출수준 평가결과의 조합을 통해 최종적으로 산출된다. 화학물질 위험성평가는 4(유해성)×4(노출수준) 매트릭스(Matrix)로 위험성을 평가하게 되며 화학물질위험성평가 기법(CHARM)을 통해 대표 청정소화약제인 HCFC 123, HFC 125에 대한 화

**Table 9.** Exposure level of HCFC 123

Measurement result	Exposure standard	Exposure Level	Measurement result	Exposure standard	Exposure Level
30 ppm	50 ppm	3	100 ppm	50 ppm	4
10 ppm	50 ppm	2	70 ppm	50 ppm	4
5 ppm	50 ppm	1	50 ppm	50 ppm	3
1 ppm	50 ppm	1			

**Table 10.** Exposure level of HFC 125

Amount used	Temperature (°C)	Boiling Point (°C)	Exposure Level
1000 L	20 °C	-48 °C	3
300 L	20 °C	-48 °C	3
100 L	20 °C	-48 °C	3
50 L	20 °C	-48 °C	3
10 L	20 °C	-48 °C	3
5 L	20 °C	-48 °C	3
1 L	20 °C	-48 °C	2

**Table 11.** HCFC 123 Chemical Risk Result (Case 1: Measurement Result ○)

Toxicity	Exposure Level	Risk	Evaluation Result
2	4	8 (High)	
2	4	8 (High)	
2	3	6 (High)	
2	3	6 (High)	
2	2	4 (Medium)	
2	1	2 (Low)	
2	1	2 (Low)	

**Table 12.** HFC 125 Chemical Risk Result (Case 2: Measurement Result ×)

Toxicity	Exposure Level	Risk	Evaluation Result
1	3	3 (Medium)	
1	3	3 (Medium)	
1	3	3 (Medium)	
1	3	3 (Medium)	
1	3	3 (Medium)	
1	3	3 (Medium)	
1	2	2 (Low)	

화학물질 위험성평가를 실시해 보았다. CHARM기법의 장점은 안전보건공단에서 제공되는 방대한 양의 MSDS 데이터베이스 정보를 쉽게 활용할 수 있다는 점이다. 즉, 화학물질의 위험성을 평가하기 위해서 평가자는 사용 중인 화학물질명과 노출수준(량) 자료를(측정결과나 취급량 등) 입력하기만 하면 되는 것이다. 100% 완벽한 정량평가는 아니지만 현재 취급하고 있는 화학물질로 인한 위험성의 정도를 정성적으로 알 수 있으며 위험성평가 결과를 통해 화학물질 안전한 사용을 위한 대책을 수립(유해성 또는 노출량 관리)할 수 있게 되는 것이다.

Table 9와 10은 CHARM평가기법을 활용하여 화학물질의 위험성을 평가한 결과이다. Table 9는 HCFC 123의 유해성(독성)이 2점으로 산정되었고 HCFC 123 분사량과 실내 농도증가에 따른 노출수준이 높아짐(1~4)으로 위험성이 2~8로 증가, HFC 125의 경우 Table 10에서와 같이 유해성(독성)은 1점, 노출수준이 2~3으로 높아짐에 따라 위험성은 2~3으로 증가함을 보여주고 있다. 즉, CHARM기법으로 취급 화학물

**Table 13.** Acceptability Level Table

Risk	Acceptability
12~16	Not Acceptable
5~11	
3~4	Acceptable on Condition
1~1	Acceptable

질 종류와 취급량(노출수준)의 입력을 통해 화학물질의 위험성을 알 수 있게 되는 것이다. CHARM을 통한 위험성평가 결과 Table 11과 같이 허용수준 이상(Not acceptable, 5~16)일 경우에는 화학물질 노출로 인체 유해성이 발현될 수 있는 상황을 의미하는 것으로 유해성 및 노출수준 감소를 통해 화학물질로 인한 위험성을 낮추어야 되는 것이다.

**2.3.6 이산화탄소 등 불활성가스 누출에 따른 위험성 평가**

- 1) 중대성(강도) 평가
- 이산화탄소는 불활성가스로 비 독성 물질에 해당 일정

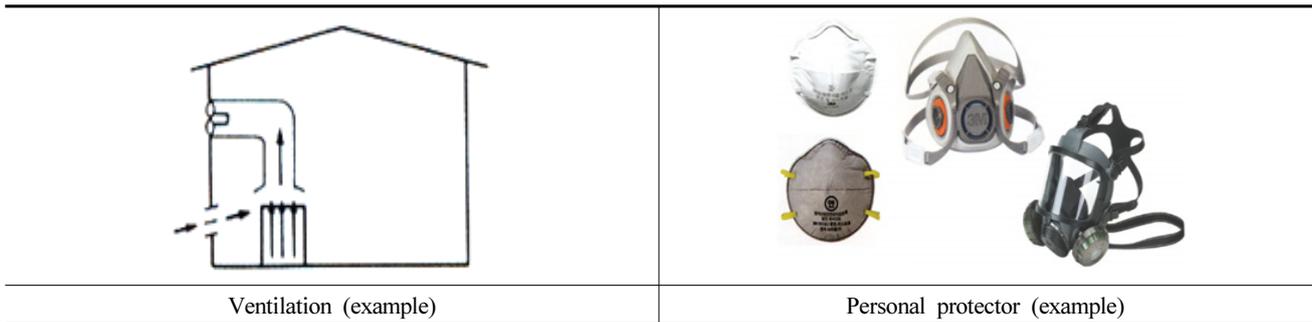


Figure 11. Method example to lower the exposure level of chemicals.

공간에 분출 시 산소농도를 물리적으로 저감시켜 밀폐 공간(질식·화재폭발 재해위험 장소)을 형성하여 질식재해를 유발하는 물질로 CHARM이 아닌 일반적인 위험성평가기법을 통해 평가가 가능하다. 이산화탄소, 질소 등 불활성 가스는 적은 농도에서는 문제가 되지 않으나 환기가 잘 되지 않는 공간에 다량으로 분출 시 공간내부를 순식간에 산소결핍 위험공간으로 만들게 된다. 즉, 불활성가스의 취급 상황(양, 공간상태 등)을 고려해 위험성을 결정할 수 있다. 광주도시철도공사 질식사망사고사례에서와 같이 변전실 이산화탄소 소화설비 설계능도가 34%로 설정되어 있는 경우에는 오작동으로 인한 이산화탄소가 변전실 내 분사될 경우 내부 산소농도는 13%정도의 질식을 일으키는 매우 위험한 공간이 되는 것이다. 따라서 이런 경우에는 위험성평가 시 중대성의 점수를 최고 높은 점수로 평가하는 것이 적절할 것으로 판단되고 가능성의 경우는 오작동 등으로 인한 분사가능성을 추정하여 최종 위험성점수를 산정하면 될 것이다.

## 2) 가능성(빈도) 평가

이산화탄소의 누출 가능성의 경우 이산화탄소 사용량, 실내 공간 내부의 누출 가능성(플랜지, 밸브, 부식, 기기 오작동, 기타 누출요인)을 분석하여 1~5까지 상대 점수를 산정하면 된다. 상기의 중대재해사례(광주도시철도공사)처럼 변전실 소화설비로 사용되는 이산화탄소소화설비의 경우 소화를 위한 이산화탄소의 설계능도는 34%임을 감안하면 이산화탄소 분사 후 변전실 내부의 산소농도는 약 13% 정도로 계산된다. 이는 정상산소농도 18~23.5%를 벗어난 질식 사망사고를 일으킬 수 있는 노출수준인 것이다. 이산화탄소의 위험성평가는 독성 화학물질의 위험성평가와는 달리 좀 더 주관성이 개입되는 정성적인 평가로 볼 수 있다.

### 2.3.7 위험성평가를 통한 화학물질 안전보건관리

화학물질 위험성을 감소하기 위한 방안으로 최선의 방법은 유해물질(HCFC 123, HFC 125, CO<sub>2</sub> 등)의 유해성을 저감시키는 것이다. 이는 물질의 제거 및 변경을 통해 가능하다. 다른 대책으로는 노출수준(량)을 감소시키는 방안이

다. 화학물질 노출량을 낮추는 방법은 Figure 11에서와 같이 환기설비설치 등의 공학적 개선방안과 보호구착용, 물질안전보건자료(MSDS) 유해성 주지 교육 등의 관리적 개선방안이 있다. 필요에 의해 사용되는 화학물질의 제거를 통한 위험성관리는 현실적으로 어려우며 실제로는 노출량관리를 통해 화학물질 위험성관리가 이루어지고 있다. 화학물질 위험성평가결과 보통이상의 위험성을 가진 화학물질 취급 장소에서는 아래와 같은 개선활동을 통해 노출수준 또는 유해성을 감소시켜 위험성을 저감시켜야 한다. 개선대책의 우선순위는 화학물질 제거 → 화학물질 대체 → 공정변경 → 격리(차단, 밀폐) → 환기장치 설치 및 개선 → 보호구 착용 등 관리적 개선의 순으로 진행함이 기본원칙이다.

## 3. 결 론

본 연구는 최근에 다발하고 있는 화학물질 소화약제의 중독·질식 재해사례를 분석하고 이를 통해 안전한 화학물질 안전관리방향을 제시해 보고자 하였다. 안전보건공단의 재해원인조사결과 화학물질 재해원인은 화학물질 정보인 지부족, 위험성평가 미실시 및 이에 따른 화학물질 취급 부주의에 기인된 것으로 나타났다. 화학물질 취급량·종류의 증가에 따라 향후 화학물질재해는 증가할 것으로 예상되고 있는 반면 국내 화학물질 안전관리체계는 미흡한 상황이다. 화학물질 안전관리 전문적인 지식이 필요한 분야로 일반인이 유해위험성을 인지하고 관리하기란 매우 어려운 일이다. 모든 국민들이 화학물질 재해로부터 안전하기 위해서는 화학물질 안전관리를 위한 쉽고 유용한 도구가 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 대표적인 화학물질소화약제 중독·질식 재해사례분석과 안전보건공단에서 화학물질 재해예방을 위해 최근 개발한 화학물질정보인지·위험성평가프로그램인 CHEM-i와 CHARM의 소개를 통해 화학물질 안전관리의 발전적인 방향을 제시하고자 하였다. 현재 국내의 화학물질 안전관리체계는 취급화학물질 MSDS게시, 교육 등이 전부이며 이러한 법 규제준수를 위한 화학물질관리는 미래 화학물질재해예방에 도움이 되지 않을 것으로 판단된다. 화학물질 재해예방을 위해서는 화학물질 취

급현장에서 모든 국민이 화학물질의 유해위험성을 쉽게 인지하고 평가를 수행할 수 있어야 하며 이러한 화학물질 안전관리에 부합되는 안전관리기법이 CHEM-i와 CHARM과 같은 종류의 기법이라 할 수 있다. 실제 재해사례 물질을 동 기법으로 평가해본 결과 화학물질 관리방향설정이 있어 유용한 것으로 평가되었다. 국내 최초로 시도되고 있는 현장 화학물질 안전관리기법인 CHEM-i와 CHARM이 더욱더 업그레이드되어 향후 화학물질 재해로 인한 사망사고가 발생하지 않기를 기대해본다.

## References

1. KOSHA, "Industrial serious disaster investigation report", (2010~2017).
2. KOSHA, "The result of industrial accident statistics and working environment survey" (2010~2017).
3. KOSHA, "Customized chemical hazard information development" (2016).
4. Ministry of Labor, "Industrial accident statistics report" (2016).
5. KOSHA chemical information homepage (<http://msds.kosha.or.kr>).
6. KOSHA, "Risk Assessment Manual" (2017).
7. KOSHA, "Suffocation Disaster Prevention Manual" (2017).
8. P. L. Williams and R. C. James, "Principles of Toxicology", Second Edition (2000).
9. J. S. You and Y. J. Chung, "Study on the Fire Analysis According to Explosion Hazard", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 80-86 (2015).
10. N. S. Baik, J. D. Chung and C. H. Park, "Assessment of Priority Order Using the Chemical to Cause to Generate Occupational Diseases and Classification by GHS", Journal of the Environmental Sciences, pp. 715-735 (2010).
11. D. J. Lee, T. H. Lee and C. H. Shin, "Study of the Improvement of Hazardous Chemical Management for Chemical Accident Prevention", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 74-80 (2017).
12. K. T. Rim, H. O. Kim, Y. K. Kim, H. W. Cho, Y. S. Ma, K. S. Lee, C. H. Lim and H. Y. Kim et al, "Development and Use of Data for Chemical Risk Assessment", J. Environ. Toxicol., Vol. 22, No. 1, pp. 91-101 (2007).
13. J. W. Jung, "A Study on the Implementation of Risk Assessment System at Workplace in Korea", Journal of the Korean Society of Safety, pp. 121-128 (2014).
14. K. J. Hyun, "A study on personal safety Improvement of the Gaseous fire Extinguishing System", J. Korean Soc. Hazard Mitig, pp. 193-199 (2014).
15. K. S. Jung and Y. S. Ahn, "Acute hepatitis case of Chloroform, HCFC-123", Proceedings of 2010 Fall Annual Conference, The Korean Society of Occupational & Environment Medicine, pp. 459-460 (2010).
16. S. D. Lee, "Regulations and Development Trends of HCFCs", Korean Industrial Chemistry News, Vol. 8, No. 2 (2005).
17. T. Takebayashi and I. Kabe, "Acute Liver Dysfunction Among Workers Exposed to HCFC-123", Applied Occupational & Environment Hygiene, Vol. 14, No. 2, pp. 72-74 (1999).
18. Y. M. Cho, H. J. Kim, J. W. Choi, "Perception of Workers and Managers for the Chemical Hazard", J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg. Vol. 22, No. 4, pp. 293-300 (2012).