

Improvement on Response System by Analysis of Domestic Chemical Accidents

Sang Jae Lee^{1#}, Joong Don Park¹, Gyeong Seok Seo¹, Woo Sang Park², Young Hwan Kim²,
Sam Su Kim², Chang Hyun Shin¹⁺

¹ National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

² FTII Testing & Research Institute, 21 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup Cheongwon-gu, Cheongju-Si, Korea

Abstract

This study investigated the response manual to cope with chemical accidents and analyzed its applicability to domestic accidents in Korea. It is found that the response system has been properly established to address large-scale chemical accidents as a national disaster, while the response manual has been difficult to be adopted to handle small-scale accidents. This study analyzed the cases of domestic chemical accidents which were inadequately responded by type. The findings include that fire accidents involving metallic materials with high water reactivity have been expanded due to improper spray of water to extinguish fire at the early stage of response. Spills or leaks often have failed to secure golden time due to delays in initial reporting, resulting in ineffective early response and expanded damages to residents and the environment. This study suggested that the accident response organizations in Korea should respond to chemical accidents at an early stage with accurate information and build up an effective response system for each stage of accident by prompt sharing of information.

Key words: Chemicals Control Act, golden time, chemical accident, response

1. 서론

화학물질은 산업원료로 현대문명에 필수적인 요소가 되었지만, 동시에 사람의 건강과 환경에 치명적인 유·위해성을 지니고 있는 양면적인 특성을 보인다. 화학물질은 눈에 보이지 않고, 장거리 확산이 나타나기도 하며, 때로는 확산거리를 예측하기도 어렵다. 또한 미량으로도 생물·생태 독성에 영향을 미쳐 치사량에 이르기도 한다(Yoo, *et. al.*, 2013). 화학물질이 분

해되는 데 상당히 오랜 시간이 걸려 생물농축현상과 (Bioaccumulation)도 밀접한 연관성을 가지고 있어 후손들에게도 직·간접적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Yoon, *et. al.*, 2007). 이와 같은 화학물질의 특성으로 인해 화학사고의 발생은 인체, 환경, 재산에 막대한 피해를 야기하는 대규모 재난의 형태로 발생하기도 한다. 국내 화학물질 산업단지는 사업장이 서로 밀집하여 복잡한 형태로 존재하며, 산업단지 조성이 오래됨에 따라 노후화가 진행되어 화학사고에 의한 산업

[#] The 1st author: Sang Jae Lee, Tel. +82-42-605-7030, Fax, +82-42-605-7035, e-mail, wangmommyson@hanmail.net

⁺ Corresponding author: Chang Hyun Shin, Tel. +82-42-760-7027, Fax, +82-42-605-7007, e-mail, jjoy122@korea.kr

재해의 위험이 내재되어 대형사고로 이어질 가능성이 있다(Jeong & Park, 2014.).

지난 2012년 9월 구미 불화수소 누출사고 이후 정부는 사업장 내 노후·취약시설 개선 투자 확대, 안전교육 강화, 신속한 사고 대응체계 구축, 정보공유, 도급관리 등을 포함한 화학물질 안전관리 종합대책을 수립하였다. 이를 통하여 취급시설의 사전예방제도 신설, 환경부 중심의 화학사고 대응 등이 이루어져 화학사고를 사전에 예방하며 효과적으로 대응하는 기틀을 마련하게 되었다. 하지만 최근 국내 화학사고의 발생은 2013년 86건, 2014년 105건, 2015년 113건, 2016년 78건, 2017년 87건으로 연 평균 약 94건이 발생하는 것으로 나타나 이로 인한 국민들의 불안감이 사라지지 않고 있는 실정이다.

국제적인 유해화학물질 관리 및 예방동향에 따르면, 미국이 화학물질관리는 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)과 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NOISH)에서 관리하는 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act, OSHA)과 유해물질관리법(Toxic Substances Control Act, TSCA)에 따라 산업안전에 관련된 유해화학물질의 유해성을 검토하고 규제기준을 설정하여 유해화학물질에 대한 체계적이며 조직적인 관리가 이루어지고 있다(Park & Suh, 2013). 또한 지역비상계획(Local Emergency Planning)과 사업장 취급물질의 유해성 정보를 대중에게 공표함에 따라 화학사고 시 비상계획 및 대응뿐만 아니라 지역사회의 주민에 알권리를 제공하고 있다.

유럽의 경우 이탈리아 세베소 소재의 화학공장에서 염소가스와 다이옥신의 누출사고가 발생하여, 이후 유럽연합(EU)에서는 유해화학물질에 의한 중대사고 위험관리를 위한 지침(Seveso directive)을 제정하는 계기가 되었다(Yoon, *et. al.*, 2007). 이 지침은 독일, 영국 등 유럽연합 회원국들 자국에서 시행하는 공정안전보고서(safety report) 제출 등 유해화학물질에 관한 사고예방 가이드라인이 되고 있다.

유해화학물질 관리 분야의 선진국인 북미와 유럽의 제도를 기반으로 하여 국내에서도 합리적인 제도 및 법령을 적용하고 있다. 현재 국내에서 적용되고 있는 화학물질 관련법령이 환경부의 화학물질관리법, 고용노동부의 산업안전보건법, 산업부의 고압가스안전관리법, 국민안전처의 위험물안전관리법 등이 있다(Shin, *et. al.*, 2015). 하지만 이들 법령은 서로 다른 부처에서 상이한 명칭과 관리기준으로 분류되고 있다. 각각의 개별법은 목적에 따라 관리기준, 검사주기, 처벌기준 등이 서로 상이하여, 화학물질을 취급하는 사업장에서는 영리를 추구하기 위해 화학물질을 제조, 운반, 보관, 판매에 집중하기보다는 관련법령을 준수하기 위한 교육 이수 및 행정절차를 따르기에 급급한 현실이다. 다만, 화학사고가 발생할 경우에는 위기대응 매뉴얼에 따라 소관부처에서 중앙사고수습본부를 구성하여 사고대응 및 수습을 추진하고 있다.

국내 화학사고에 관한 연구는 주로 화학물질누출에 따른 위험성 평가(Shin & Park, 2016), 사고물질의 탐지 및 분석(Lee, *et. al.*, 2013; Lee, *et. al.*, 2014), 화학사고 실태 및 사례분석에 관한 내용이 주를 이루고 있으며(Lee, *et. al.*, 2015; Lee, *et. al.*, 2016; Ahn, *et. al.*, 2014), 사고대응 매뉴얼에 따른 대응체계 관한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 화학물질의 취급량이 해마다 지속적으로 증가하는 시점에서 현 사고대응체계를 실제 사고사례를 유형별로 분류하여 보다 효과적인 대응체계를 구축하는 데 기여하고자 하였다.

II. 연구방법 및 내용

국가 차원에서 재난 대응을 위해 매뉴얼을 마련하고, 본 매뉴얼에 따라 중앙정부와 지방자치단체(지자체)에서 재난을 대응하고 있다. 화학사고의 경우, 화학사고 대응 표준 매뉴얼, 실무 매뉴얼 및 행동 매뉴얼로 구분되어 있으며 대응기관별로 역할을 규정하고 있다. 본 연구는 사고대응 주관 기관인 환경부를 중심으로 이러

한 매뉴얼이 국내에서 발생하는 화학사고에 효과적으로 적용되는지를 살펴보기 위해 매뉴얼에 따른 위기 대응체계를 살펴보고, 대응단계별 역할과 임무를 분석하였다. 아울러, 국내 화학사고 통계 관리 시스템을 통해 사고 현황을 조사하여 매뉴얼에 따른 위기 대응체계와 이에 맞는 위기경보별 기관의 임무가 효과적으로 작동되었는지를 분석하여 매뉴얼의 효과를 살펴보았다.

1. 유해화학물질 유출사고 매뉴얼 현황

환경부에서는 유해화학물질로 인한 사고가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 신속하고 효과적인 사고대응을 위하여 매뉴얼을 제정하여 관리하고 있다. 매뉴얼은 세 가지로 구분되며, 유해화학물질 유출 위기관리 표준매뉴얼, 위기대응 실무매뉴얼, 현장조치 행동매뉴얼이 있다. 환경부에서 관리하는 위기관리 표준매뉴얼은 사고유형별 위기관리체계 및 주관기관의 임무와 역할이 주요 내용이다. 이를 토대로 10개 중앙부처 등이 관리되는 위기대응 실무매뉴얼은 화학재난에 필요한 지원 및 협조사항을 규정하고 있으며, 지방(유역)환경청 및 화학물질안전원 등이 관리하는 현장조치 행동매뉴얼은 화학사고 재난현장 조치기관의 행동절차 및 요령을 주요내용으로 규정하고 있다.

유해화학물질 유출사고 매뉴얼에서는 국가·지자체 대응·수습 수준을 사고규모에 따라 위기경보수준을 관심(blue), 주의(yellow), 경계(orange), 심각(red)단

계로 구분한다(Table 1). 관심수준은 국가 위기로 발전할 우려가 없는 평상시 상태, 주의수준은 유해화학물질에 의한 피해정도가 경미하여 지자체 차원의 대응이 필요한 사고, 경계수준은 중앙정부차원의 대처가 필요로 하는 사고를 말하며, 유해화학물질에 의한 인명 재산의 피해정도가 매우 심각하고 영향이 광범위하여 범정부적 대처가 요구되는 상황을 심각수준으로 구분하며 중앙재난안전대책본부와 협력을 강화하는 등 즉각 사고대응태세에 돌입한다. 한편 유해화학물질 유출사고 매뉴얼은 정부조직법 개정, 매뉴얼 실태점검 회의 결과 등에 따라 사고현장에서 보다 신속하고, 효과적이며, 선진화된 대응을 위하여 제·개정이 이루어진다.

2. 단계별 화학사고 대응체계

환경부 유해화학물질 유출사고 위기관리 표준매뉴얼에서는 화학사고 대응체계를 크게 4단계로 구분하고 있다.

1) 초기발생 단계

일반적으로 소방에 접수된 화학사고 신고 내용을 바탕으로 환경부는 사고규모를 판단하여 물질정보, 누출방재정보, 위험성 평가정보를 소방, 경찰 등 유관기관에 상황을 전파하거나 보고를 한다. 또한 화학사고 초기상황 판단을 위하여 사고봉쇄조치 상황, 인력, 장비 투입현황을 파악한다.

Table 1. Crisis alert level in Chemical Control Act

Category	Criteria	Remarks
Blue	• Normal situation where there is no possibility of developing into national crisis	Safety checks and training
Yellow	• The accident caused by toxic chemical spill accident is minor	Related Institutions Cooperative operation
Orange	• The damage caused by harmful chemical spill accidents is large and the effects are wide, so the government needs to take action • Ministry of Environment Establishment of central and local accident investigation center • Requesting support for the Central Emergency Response Team • Request for support from the Central Disaster Safety Headquarters	Response plan operation
Red	• Accidents involving people and property due to toxic chemical spill accidents are very large • Establishment and operation of accident center for central and local accidents • Strengthen cooperation with Central Disaster Safety Headquarters	Ready for immediate action

※ Source: Ministry of Environment(2015).

2) 초기대응 단계

화학사고 추가 피해상황을 파악하여 현장 대처 및 환경정, 지자체의 대응태세를 파악한다. 또한 자체위기평가회의를 개최하여 위기수준 평가 및 필요에 따라 위기정보발령 지시를 한다.

3) 중·대규모 사고 확대 시

중앙사고수습본부 운영하며, 지역사고수습본부 및 사고수습지원본부를 연계 운영하여 화학사고 피해상황 및 대처상황을 지속적으로 모니터링을 한다. 유관기관 사고수습 협력, 현장수습조정관 파견, 응급조치 및 신속한 대처, 사고상황에 따른 신속·정확한 대국민 전파 및 홍보가 이루어진다.

4) 상황수습

사고조사 및 재발방지대책 마련을 위해 사고지역 환경오염 모니터링 및 사후영향조사를 실시한다. 또한 피해상황을 수습하고 재난복구를 위해 유관기관 협력체계를 강화한다. 필요에 따라 특별재난지역 선포를 건의하여 신속한 시설복구와 피해주민을 적극적으로 지원한다.

3. 국내 화학사고 발생현황

환경부 화학물질안전원에서 운영하고 있는 국내 화학사고 통계관리 시스템인 화학안전정보공유시스템

(Chemistry Safety Cleaning-house, CSC)을 분석한 결과, 2013년부터 2017년까지 최근 5년간 총 469건의 화학사고가 발생한 것으로 조사되었다. 연도별로는 2013년 86건, 2014년 105건, 2015년 113건, 2016년 78건, 2017년 87건이 발생하였으며, 2015년을 기점으로 화학사고 발생이 줄어드는 경향을 보였다. 이는 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에 따라 화학안전을 위한 법적관리가 비교적 안정적으로 산업계에 정착하여 화학사고 발생을 줄이는 데 일부 기여한 것으로 사료된다. 하지만 사고예방에 대한 법적인 강화에도 불구하고 작업자 부주의, 시설관리 미흡 등으로 인해 화학사고를 완전히 차단하기는 어렵다는 것을 통계를 통해 알 수 있다. 이러한 이유로 사고예방 정책과 더불어 사고대응체계를 구축하고 신속하게 가동이 되도록 대비해야 한다.

사고유형별로는 시설관리 미흡에 의한 사고가 190건으로 전체의 41%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 작업자부주의 168건(36%), 운송차량사고 103건(22%), 기타 자연재해 8건(2%) 순으로 나타났다. 주요 사고원인물질로는 염산이 45건으로 가장 빈번하게 사고발생을 초래하였고, 암모니아(37건), 질산(27건), 황산(22건), 폼알데하이드(17건) 순으로 나타나 사고대비물질을 취급하는 중 화학사고가 주로 발생하는 것으로 확인되었다(Figure 1).

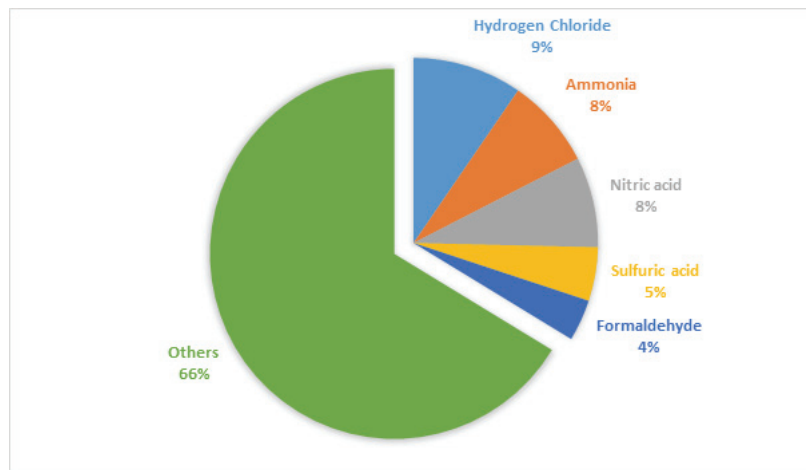


Figure 1. Major chemical accident-causing substance

4. 위기경보 발생 사례분석 및 시사점

최근 5년간 발생한 469건의 화학사고 중 사람이나 환경의 피해규모가 크거나 외부로 확산되는 정도가 매우 커서 국가 또는 지자체 차원에서 사고대응을 위해 위기경보가 발령된 사례는 지금까지 없었다. 사고대응 매뉴얼은 화학사고 피해를 최소화하기 위해 사고대응 기관의 역할을 명시하여 정부차원의 대형 화학사고 대응에 초점이 맞춰져 있기 때문에 국내에서 발생하는 중소규모의 사고에 규모에 효과적으로 적용하기는 한계가 있다. 보다 현실적으로 접근하기 위해서는 화학사고의 규모를 세분화하여 위기경보 발령하기 위한 중대규모의 사고의 경우에는 현재의 매뉴얼 시스템을 적용하고, 사고의 규모가 작거나 피해규모가 적은 중소규모의 사고는 사고대응 매뉴얼을 단순화하여 적용할 필요가 있다. 즉, 사고의 규모를 고려한 사고대응 매뉴얼을 이원화하여 개발하고 현장에 적용하는 것이 적절하다고 볼 수 있다.

아울러, 화학사고의 유형이 화재·폭발, 유·누출 사고로 구분이 가능하나 사고대응 매뉴얼에는 구체적인 대응체계가 미비한 실정이다. 화재·폭발, 유·누출 사고의 대응 방법은 다르기 때문에 이를 구분하여 대응하는 것이 필요하고, 이 경우 사고의 대응단계별로 세분화하는 것이 필요하다. 하지만 매뉴얼에는 사고 유형별 구분이 명확하지 않고, 화학사고를 총괄적으로 대응하기 위해 규정되어 있어서 현장 적용성이 저하되는 문제점이 제기될 수 있다. 따라서 실제 사고사례 중 대응이 미흡하여 반드시 개선이 필요한 사례를 살펴보고자 의미 있는 사고를 면밀히 조사하여 사고대응 유형에 따른 대응 단계별 문제점을 도출하여 사고사례에서 얻은 시사점이 반영되도록 개선할 필요가 있다.

III. 연구결과

본 연구는 화학사고 유형을 일반적으로 구분하는 방식을 적용하여 화재사고와 유·누출에 의한 확산사고로 분류하였다(Lee, *et al.*, 2015). 다만, 화재사고의

경우 소방용수 등을 이용하여 화재 진압이 가능한 일반 사고는 제외하고 사고대응이 어려운 금속성 물질에 의한 화재사고를 조사하였다. 확산사고는 화학물질 유·누출 사고와 이상반응 확산사고로 세부적으로 구분하였다. 이러한 사고의 대응과정을 CSC를 통해 조사하여 화학사고 대응 매뉴얼이 효과적으로 가동되지 않은 문제점을 분석하여 그 원인과 시사점을 도출하였다. 이를 통해 본 연구에서는 사고대응체계 및 매뉴얼의 문제점을 보완하고자 하였고, 특히 사고대응 단계별로 구분하여 사고대응 매뉴얼의 개선방안을 세분화하여 제시하였다.

1. 화학사고 유형별 대응현황 및 문제점

1) 금속성 물질의 화재사고

금속성 물질이란 공기 중의 수분이나 물과 접촉 시 금속화재를 야기할 수 있는 금속으로 나트륨, 칼륨, 리튬, 마그네슘, 알루미늄 분말 등이 해당된다(Jung, *et al.*, 2013). 금속물질에 의한 사고는 물과의 높은 반응성을 보여 폭발의 우려가 있어 작업 중은 물론 방재작업에도 각별한 주의가 필요하다. 특히 분진형태의 금속물질의 경우 전기적 스파크, 정전기 등의 점화원에 의해 쉽게 발화가 이루어지며, 이를 보관할 때도 습도를 고려하여 적절한 보관장소를 선정하여야 한다.

사고가 발생하게 되면 건사, 건토를 이용한 질식소화를 실시한 후 모든 화학반응이 끝나면 사고물질을 포함한 방재물품을 폐기처리 하여야 한다. 하지만 실제금속성 물질에 의한 사고발생 현장을 보면 물질안전보건자료(MSDS: Material Safety Data Sheet)에 따른 방재방법을 따르지 않고 자체적으로 분무주수를 실시하여 오히려 사고가 확대되기도 한다. 또한 건사, 건토와 같은 방재장비와 보호장비를 충분히 확보하지 않아 초동대응이 이루어지지 못한 사례가 빈번하다. 따라서 사업장에서는 적절한 방재장비를 우선 확보하고 지자체에서는 거점별로 방재물품 및 보호장비 동원 계획을 수립하여 신속한 대응을 위한 지원이 요구된다. 실제 금속성 물질에 의한 사고 대응사례와 시사점은 아래와 같다.

(1) 충북 청주시 마그네슘 화재사고

- (1) 사고일시 : 2016년 2월 17일 20시 29분경
- (2) 사고장소 : 충북 청원군 소재 사업장 마그네슘 분말 보관창고
- (3) 사고개요 : 사업장 마그네슘 분말 보관창고에서 시작된 화재가 자재창고로 확산되어 1시간 40분여 만에 진화
- (4) 피해현황 : 인명피해는 발생하지 않았으나, 창고 컨테이너 10 m²와 마그네슘 1.7 t이 소실돼 386만원의 재산피해가 발생
- (5) 사고원인 : 금속성 물질 마그네슘과 수분과의 반응
- (6) 시사점 : ① 마그네슘 등 금속성 물질은 물과 반응하여 폭발가능성을 가지고 있어 건사 및 건토를 이용한 질식소화를 권고
 ② 빗물 혹은 습기 등과 같은 물과의 반응성 때문에 마그네슘 및 금속폐기물 실외저장의 경우, 지붕이 설치된 창고에 보관 필요
 ③ 이와 같은 내용은 물질안전보건자료에 물성특성이 명시되어 있으나 이런 점이 사고현장에서 지켜지지 않음
 ④ 지자체에 초기 대응을 위한 건사·건토와 같은 충분한 방재물품 자원이 필요하였지만, 방재물품 지원이 지연되어 신속한 초기대응이 미흡

(2) 대전 유성구 폴리실리콘 화재사고

- (1) 사고일시 : 2016년 3월 24일 15시 54분경
- (2) 사고장소 : 대전 유성구 소재 사업장 내 폐기물 적재함
- (3) 사고개요 : 폴리실리콘 생산 후 남은 슬러지 13여 톤을 모아둔 폐기물 적재함에서 자연 발화사고가 발생
- (4) 피해현황 : 인명 피해 없었으나 화재가 2~3일간 지속
- (5) 사고원인 : 폴리실리콘과 수분과의 반응
- (6) 시사점 : ① 일반적으로 폴리실리콘 슬러지 1 kg당 약 400 L의 수소가 발생하며 화재위험성이 높으나, 사고 당일 일기예보를 대비하여 천막으로 덮어 가연

성 가스가 밀폐된 공간에 체류하여 위험성이 증가

- ② 물질안전보건자료에서도 수소화재 대응 시 폭발에 대한 화재 및 폭발 위험특성을 명시하고 있지만, 사고 발생 초기 분무주수로 인해 인화성 가스발생이 확대되어 사고대응 시간이 지연
- ② 평소 물질안전보건자료를 숙지하여 수소가스 발생 가능성이 있는 화재 대응 시 물 또는 폼을 이용한 소화 작업을 지양하고, 건토, 건사 등을 활용하여 화재 진압

(3) 경남 밀양시 마그네슘 화재사고

- (1) 사고일시 : 2016년 11월 11일 9시 57분경
- (2) 사고장소 : 경남 밀양시 소재 사업장 내
- (3) 사고개요 : 사업장에서 용접작업 중에 불씨가 마그네슘으로 튀어 화재가 발생
- (4) 피해현황 : 사망자 1명을 포함한 4명의 사상자가 발생하였으며, 약 2억 5천만 원 가량의 재산피해 발생
- (5) 사고원인 : 마그네슘과 용접불꽃과의 반응으로 인한 화재
- (6) 시사점 : ① 금속물질 취급사업장에서는 용접과 같은 위험작업이 적절한 이격거리 확보를 통해 사전에 사고예방이 필요하나 이에 따른 대비가 미흡
 ② 화재사고 발생 시 사업장이 건토를 이용한 질식소화 작업이 필요했으나, 적절한 대응이 이뤄지지 않아 초기대응이 미흡

2) 화학물질 유·누출 및 이상반응 확산사고

화학물질에 의한 사고는 크게 유·누출, 화재, 폭발, 이상반응, 복합적인 요인 등에 의해 발생한다. 유·누출에 의한 사고는 전체 화학사고의 74%이상으로 나타나 화학사고의 주요원인으로 나타났다(〈Figure 2〉). 유·누출에 의한 사고물질은 염산, 암모니아, 질산, 황산, 폼알데히드 순으로 높은 발생빈도를 보였으며, 해당물질 모두 사고대비물질로 지정되어 있어 사고 발생 시 대규모 사고가 발생할 수 있어 철저한 관리 감독이 요구된다. 과거 화학물질의 유누출에 의한 사고사례에

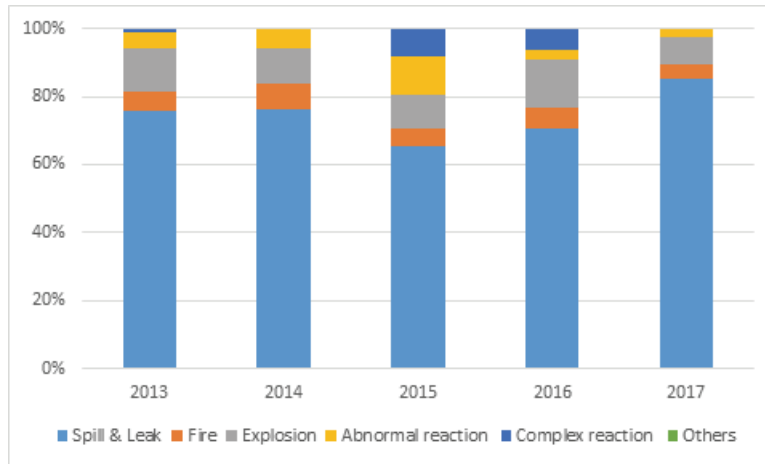


Figure 2. Types of domestic chemical accidents

서 나타난 대응상의 문제점과 시사점은 아래와 같다.

(1) 전북 군산시 사염화규소 누출사고

- (1) 사고일시 : 2015년 6월 22일 16시 3분경
- (2) 사고장소 : 전북 군산시 소재 폴리실리콘 제조공장
- (3) 사고개요 : 폴리실리콘 공정 내 재증발기 상부배관에 설치된 벨로우즈 밸브 보닛에서 미세균열이 발견되어 보수 작업을 하던 중 균열부위가 커지면서 사염화규소 등 혼합물이 유출
- (4) 피해현황 : 사염화규소 혼합물의 누출량은 약 108 kg(추정), 공기 중 반응하여 생성된 염화수소는 최대 87 kg(추정). 또한 이 사고로 근로자 1명 포함 310여명의 병원검진, 8만 3,594 m²의 농지 피해
- (5) 사고원인 : 밸브 보닛의 제작 결함 또는 보닛 목부위에 가공불량으로 노치(notch)가 형성된 상태에서 보수작업에 따른 외력의 영향으로 균열이 성장된 것으로 추정
- (6) 시사점 : ① 사고발생 당시 사염화규소가 공기 중의 수분과 반응하여 사고대비물질인 염화수소가 생성될 가능성이 있음에도 유해화학물질로 지정되지 않음
 ② 사고사실에 대한 신속한 주민 전파지연으로 주민 불신을 야기하여 주민 건강에 악영향을 미침
 ③ 초기 사업장의 화학사고 신고 지연으로 사고대응을 위한 골든타임 확보 미흡으로 인해 신속한 초동대응에 실패

④ 화학사고 발생 시 사업장에서 신고하여야 할 사항을 구체적으로 명시하는 등 즉시 신고 기준 강화가 요구

(2) 충남 금산군 램테크놀로지 불산유출 사고

- (1) 사고일시 : 2016년 6월 4일 18시 34분경
- (2) 사고장소 : 충남 금산군 소재 사업장
- (3) 사고개요 : 식각액으로 이용되는 불산(55%, Hydrofluoric Acid) 이송과정 중 필터하우징에 부착된 파열판이 파열되면서 집수조내로 유입되었으나 이송펌프 고장으로 하역장 밖으로 흘러넘쳐 옥외 트렌치를 통해 폐수 집수조로 유입된 사고
- (4) 피해현황 : 주민 60여명이 진료를 받았으며, 일부는 입원치료
- (5) 사고원인 : 불산 설비 및 각종 가동장치의 점검·정비 상태 불량
- (6) 시사점 : ① 사업장 내 시설물에 대한 자체점검이 미흡하고, 유해화학물질의 하역 및 적재작업 중 안전관리자가 현장을 이탈하여 입회 절차가 비정상적으로 이뤄지는 등 기본적인 안전관리에 관한 법적 사항을 이행하지 않음
 ② 과거 화학사고 사례에서 사고사실을 주민에게 신속히 전파하지 않아 주민이 대피할 기회마저 빼앗아 갔으나, 적절한 행정처분이 미흡
 ③ 사고대응기관에 사고신고 지연으로 사고대응을

위한 골든타임 확보 미흡으로 인해 초동대응이 지연
④ 사고물질에 관한 대응정보 및 피해범위 정보를 신속히 현장대응요원에게 전달하거나 공유하는 시스템(통신 등)이 미흡

2. 사고대응 단계별 개선방안

정부는 재난 예방 및 대응을 위하여 인적조직 구성, 예산집행, 자원 조정 및 통제 등 일련의 과정을 관리하고 있다. 특히 화학사고에 의한 위기관리활동은 예방, 대비, 대응, 복구로 크게 구분하여 인명피해의 최소화 와 재산피해의 경감에 중점을 두고 있다. 이를 토대로 환경부는 사고대응 매뉴얼을 통해 화학사고 대응 체계를 상황 접수 및 전파 단계, 초동조치, 현장대응조치, 후속조치로 단계별 구분하여, 구체적인 대응사항을 갖추고 있다. 하지만 이와 같은 구체적인 매뉴얼에도 불구하고 꾸준히 화학사고가 발생하고 있는 실정이다. 또한, 상기 매뉴얼에 의해 위기경보가 발령되는 등 실제 매뉴얼이 사고현장에 적용된 사례는 전무한 실정이다. 따라서 사고현장 적용성을 고려하여 재난대응 단계별 조치 내용 개선이 요구되며, 소규모 사고에도 적용될 수 있는 체계적인 대응체계가 필요하다.

1) 상황접수 및 전파단계

과거에는 화학사고 발생 시 사고사업장이 소방서, 환경부, 경찰 등 다수의 사고대응기관에 사고를 직접 신고를 해야 했으나, 2015년 화관법이 시행되면서 신고체계가 일원화되었다. 이제는 화학사고 신고를 하나의 기관(통상 소방)에 하면 정부기관이 신고를 전파하여 대응하는 방식으로 개선되어 사업장의 신고부담이 줄어들었다. 신속한 대응체계 구축을 위하여 소방, 환경부 등 사고대응기관은 국가재난관리정보시스템(National Disaster Management System, NDMS), 화학사고공유앱(Cheical Accident Response Information System Application, CARIS App)을 통해 사고접수·전파, 물질·방재정보 제공, 피해예측 범위 제공 등 골든타임확보를 위해 다양한 정보시스템을 활용하여 전송하고 있다.

사고신고는 유선을 통한 방법이 가장 일반적이나 문자, 팩스, SNS 등 다양한 방법으로도 이루어진다. 한편 국민안전처에서 제공하는 ‘안전디딤돌’은 정부 대표 재난안전포털 앱으로 재난발생 시 또는 일상생활에서 필요한 다양한 재난안전 정보를 제공하고 있으며 유해화학물질 유출신고도 가능하다. 사고 접수 시 사고 발생 일자 및 시간, 장소, 사고물질, 피해 현황 등의 내용을 육하원칙에 의거하여 상세하게 기록하여야 한다.

화학물질관리법에서는 화학사고가 발생할 경우 신속한 초동대응을 하고자 사업장에서 화학사고 발생 15분내 신고하도록 화학사고 즉시 신고에 관한 규정을 제정하였다. 접수된 유해화학물질 유출사고가 대규모 인명 및 환경피해가 발생하였고 그 피해가 광범위하게 확산되어 범정부적 대처가 필요한 경우에는 그 위협 또는 위험수준을 평가하기 위한 자체위기평가회의를 개최하여 운영한다. 상기 회의에서는 위기상황 평가 및 우선 조치사항을 검토하고 필요에 따라 위기경보를 발령, 변경 및 해제조치를 취하며, 유관기관 협조에 관한내용을 검토한다.

자체위기평가결과에 따라 범정부적인 차원의 평가와 조치가 요구되는 수준, 즉 심각수준의 경보 발령 시에는 국가안보실 및 국민안전처와 사전 협의 후 최종 경보를 발령하며, 신속한 대응이 필요한 위급한 상황의 경우 사전경보 발령 후 통보를 실시한다. 경계수준 이하의 경보 발령 시에는 국가안보실, 국민안전처 및 유관기관에 사고상황을 전파한다. 다양한 형태의 상황접수·전파시스템에도 불구하고 가장 중요한 것은 신속한 초기대응을 위해 사고 발생 시 사업장이 즉시 신고를 이행하는 것이 필요하다.

2) 초동조치 단계

사고대응의 핵심은 골든타임을 확보하는 것이다. 소방, 지자체 등 관계기관이 사고현장에 도착하는 시간은 10분 내외가 소요되기 때문에 초기대응 측면에서 사업장의 역할이 매우 중요하다. 사고가 발생한 사업장에서 가장 먼저 요구되는 것은 신속한 주민보호를 대응조치

이다. 사고발생 즉시 대피방송, 문자 등을 통하여 사업장 주변 주민이나 근로자가 신속하게 대피하거나, 밀폐된 실내에서 안전하게 머물도록 적절하게 조치하여야 한다.

또한, 지속적인 훈련과 교육 등을 통해 사업장 자체적인 초동조치 능력 강화가 우선시되어야 한다. 사고대응 중에는 정부기관 중심으로, 특히 소방이 사고물질의 추가적인 유·누출 확대를 방지하기 위하여 건사, 건토, 흡착제 등 사고물질 특성에 맞는 적절한 방재장비·물품을 활용하고, 화학물질이 수계, 우수로 및 상·하수관 등으로 유입되지 않도록 조치하여야 한다.

지자체는 방재장비·물품을 충분히 확보하여 소방 등 방재전담기관에 지원하고, 경찰은 대응기관에서 효율적인 사고대응이 이루어 질 수 있도록 진출입로의 확보가 필요하다. 소방은 사고원점에서 유·누출 지점을 봉쇄하여 오염확대 방지조치를 실시하는 등 추가 재난 방지조치를 실시한다. 인명피해가 발생하였을 경우 환자의 구조와 응급처치 후 신속하게 의료기관으로 후송한다. 또한 경찰은 사고현장 접근 통제와 비상출동로를 확보하며 주변지역 교통정리를 통해 충분한 활동구역을 확보하는 것이 필요하다.

환경부의 현장수습조정관 및 환경청은 사고현장에 출동하여 사고원인물질에 대한 탐지와 사고수습을 위한 초동조치를 지원한다. 화학물질안전원은 사고현장의 기상 조건과 공정조건을 기반으로 하여 화학물질사고대응정보시스템(CheMical Accident Response Information System, CARIS)을 통한 오염물질 피해 확산범위를 제공하는 등 사고대응을 위한 정보제공의 역할을 수행하며, 사고의 규모나 형태에 따라 현장 기술지원팀을 구성하여 현장대응 지원한다.

3) 현장 대응조치 단계

화학사고 현장 대응단계에서는 사고물질의 위험성에 맞는 적절한 대응조치가 요구된다. 예를 들면, 금속성 물질에 의한 화재사고는 건사·건토를 이용한 질식소화가 권고되며, 강산의 유출에 의한 사고발생시 부적

절한 방재물품의 사용은 오히려 이상반응을 일으켜 증기와 반응열에 의한 2차사고로 확대우려가 있으므로 신중한 대응이 필요하다.

화학사고 발생 시 사고의 규모가 클 경우 환경부장관은 중앙사고수습본부설치하여 정부차원에서 대응한다. 중앙사고수습본부에서는 위기상황을 지속적으로 모니터링 하여 위험정보를 수집, 화학사고 대응조치에 관한 의사결정과 현장지휘 협조의 임무를 맡게 된다. 해당 환경청에서는 지역사고 수습본부장을 설치하여 운영하는데 이때 본부장은 관할지역 환경청장으로 구성된다 주요임무로는 현장수습조정관을 파견하여 사고수습 등을 조정 지원하는 역할을 한다.

이때 현장수습조정관은 화학사고의 신속한 대응 및 상황관리, 사고정보의 수집과 통보를 위해 화학사고 발생현장에 파견되는 지방환경관서의 장 또는 소속공무원으로서 화학사고 대응, 영향조사, 피해의 최소화·제거, 복구 등에 필요한 조치 등의 업무를 수행한다. 화학물질안전원은 화학사고 대응의 전담기관으로 사고수습지원본부를 설치하여 사고대응에 필요한 기술지원을 제공한다. 24시간 상시 운영되는 화학안전종합상황실에서는 사고물질, 누출량, 기상정보 등을 바탕으로 CARIS를 구동하여 위험지역(hot zone), 준위험지역(warm zone), 경계지역(cold zone) 예측 정보를 제공한다. 또한 CARIS App을 통해 사고물질 특성, 유해성, 방재방법 등의 정보를 사고대응요원에게 제공하여 효과적인 방재가 이뤄지도록 기술지원을 한다.

한편 지자체는 피해 예측정보를 활용하여 주민대피 범위를 설정하고, 필요시 주민대피 조치를 실시하고, 경찰은 대피를 지원하는 업무를 수행한다. 아울러, 지자체는 현장응급의료소를 설치하여 피해자 수습을 지원하고, 군에서는 제독반을 편성하여 제독활동을 실시하게 된다.

4) 후속조치 단계

사고수습 및 복구활동을 위해서 지자체의 역할이 매우 중요하다. 사고물질에 의해 오염된 폐기물을 수거하

는 폐기처리가 우선 이뤄진다. 사고로 발생한 사상자의 치료와 장례 등에 대한 대책협의와 전력, 가스 전화 등과 같은 파손된 시설의 응급복구활동이 이루어진다. 또한 피해현황 및 이재민을 파악하여 임시숙박을 위한 공공시설을 확보하여 생필품 등의 응급구호용품을 적십자사와 협의를 통해 지속적으로 지급한다. 한편 자체 위기평가회의를 통해 대응상황을 분석, 평가한 후 위기경보 단계를 조정 및 해제 후 유관기관에 전파하는 것으로 사고를 종결한다.

환경부 훈령 화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사에 관한 지침에 의거하여 사고로 인해 인근주민의 건강 또는 환경에 미친 영향조사를 실시한다. 지자체와 사업장에서는 사후 관리를 위하여 화학사고 영향조사 결과에 따라 사고의 복구와 사후관리에 필요한 조치사항을 이행한다.

IV. 결론

그동안 사고대응 매뉴얼은 2012년 구미 불화수소 누출사고 이후 국가차원의 사고대응에 대해 기초적인 대응체계의 토대를 마련하는데 기여했으나, 현장 적용성에는 한계를 보였다. 이에, 본 연구는 국내 화학사고 대응체계 개선을 위해 최근 5년간의 국내 화학사고 사례를 분석하여 매뉴얼에 구분된 단계별 대응조치에 따라 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 2013년부터 2017년까지 발생한 총 469건의 화학사고 중 화학사고 대응매뉴얼에 따른 위기경보가 발효된 사고는 발생되지 않았다. 사고대응 매뉴얼은 국가차원의 대형 화학사고 대응에 초점이 맞춰져 있기 때문에 규모가 보다 작은 사고에 적합한 매뉴얼 개발이 필요하다.

2) 사고대응 매뉴얼을 세분화하여 단계별로 사고사례에서 얻은 시사점이 반영되어 효과적인 협업 대응체계가 마련되어야 한다. 특히 사고신고 지연으로 사고대응을 위한 골든타임 확보 미흡으로 인해 효과적인 대응이 이루어지지 못한 사고가 종종 발생하는 것으로 나타나 초동대응을 위한 골든타임 확보가 가장 절실히 요구된다.

3) 초기단계의 핵심은 사업장으로 사고 발생시 신속한 신고, 주민 우선전파, 초기대응이 유기적으로 이루어져야 하며, 정부기관은 신속한 신고전파를 실시하고, 기관 특성에 맞는 역할 분담 수행한다. 환경부는 물질 특성에 맞는 물질·방재정보를 CARIS App을 통해 소방, 경찰, 지자체에 제공하며, 소방은 현장에 도착하여 신속한 방재를 실시하여 초기대응의 골든타임 확보가 필요하다.

4) 인명피해의 최소화를 위해서는 환경부가 사고현장 정보를 입수하여 CARIS를 활용하여 피해 예측정보를 지자체에 제공 주민 대피를 위한 기초자료를 제공해야 하며, 경찰과 지자체는 이를 통하여 주민대피 범위 설정 및 대피 조치가 신속하게 이루어져야 한다.

5) 후속조치 단계로 지자체에서는 사고수습 및 복구를 위해서 이재민 구호 등 주민 불편사항 해소 활동을 진행하며, 부상자 응급 의료진 협조를 실시한다. 마지막으로 사고지역 내 오염물품을 수거, 폐기하여 2차로 사고확대를 방지하도록 하는 등 사고수습을 체계적으로 실시해야 한다.

6) 사고대응을 현장에서 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 사고대응기관별 정보공유가 핵심이다. 골든타임 확보, 현장대응, 피해복구 등은 사고대응기관 상호간의 정보가 원활하게 공유되어야 각 기관이 역할을 제대로 수행할 수 있다. 이를 위해서는 현재 기관별로 정보공유 체계를 일원화하여 정보공유 시스템 구축하고, 기관별 역할 정립 및 주기적인 훈련 등을 통해 현장에서 즉시 가동되기 위한 노력이 필요하다.

References

- Ahn, Sung Ryoung, Sung Bum Kim, Jin Hwan Lee, and Kwang Soo Chun. 2014. Study on Chemical Incident Response Plan Identified as a Chemical Accident Statistics. *Korean Journal of Hazardous Materials*. 2(1): 50-54.
- Jeong, Gyeong Sam and Eun Sun Baik. 2014. A Study on the Improvement of Safety Management of Hazardous Chemicals Handling in the Workplace. *Fire Science and*

- Engineering*. 28(1): 12-19.
- Lee, Jin Seon, Ki Joon Kim, Jun Heon Yoon, Kyung Hee Choi, and Seok Yeon Cho. 2013. Study on the Sampling Bag Stability for the Substances Requiring Preparation for Accidents: Focusing on Acrolein and Propylene Oxide. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*. 16(2): 71-76.
- Lee, Jin Seon, Young Sam Yoon, Ki Joon Kim, Jun Heon Yoon, Gwang Seol Seok, and Kyung Hee Choi. 2014. Comparison Study On the Air Sampling for Rapid Response Chemical Accident: Hydrogen Chloride and Hydrogen Fluoride. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*. 17(1): 46-53.
- Lee, Tae Hyung, Deok Jae Lee, Joong Don Park, and Chang Hyun Shin. 2016. Study of the Characteristics Analysis of Laboratory Chemical Accidents. *Fire Science and Engineering*. 30(3): 110-116.
- Lee, Tae Hyung, Joong Don Park, Sang Jae Lee, Byung Sun Bang, Kyeong Pil Kim, Min Sun Kim, and Jin Soo Park. 2015. Characteristics of Chemical Substance Accident in Korea. *Korea Journal of Hazardous Materials*. 3(1): 35-39.
- Park, Jeong Gue and Yang Won Suh. 2013. A Study on the Improvement of Safety Chemical Accident Response System. Korea Environmental Institute. Policy Report.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. An Evaluation of the Off-site Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid. *Crisisonomy*. 12(3): 187-200.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals. *Crisisonomy*. 12(1): 83-93.
- Shin, Chang Hyun, Chung Soo Lee, Jae Eun Kang, Beyong Chol Ma, and Yi Yoon. 2015. Review on the Inspection System of Facilities Handling Hazardous Chemicals under the Chemicals Control Act. *Crisisonomy*. 11(6): 245-262.
- Yoo, Byung Tae, Jae Mo Yang, and Keum Ho Oh. 2013. Trend Analysis and Activating Study on International Societal Security Standard for Chemical Accidents Prevention. *Korean Society of Societal Security*. 6(2): 9-14.
- Yoon, Yi, Hee Sun Yang, Choon Hwa Park, Mun Sik Cho, Sung Bum Kim, and Moon Soon Lee. 2007. Major Policies and Current Status of Ministry of Environment(MOE) for the Response to Chemical Accidents. *Crisisonomy*. 3(2): 18-29.
- Korean References Translated from the English*
- 박정규, 서양원. 2013. 화학물질 사고대응을 위한 제도 개선 연구. 한국환경정책평가 연구원 정책보고서.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. *Crisisonomy*. 12(1): 83-93.
- 신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크의 유출사고에 대한 장외 위험성 평가. *Crisisonomy*. 12(3): 187-200.
- 신창현, 이청수, 강재은, 마병철, 윤이, 윤준현, 박재학. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. *Crisisonomy*. 11(6): 245-262.
- 안성용, 김성범, 이진환, 천광수. 2014. 화학사고 통계로 확인된 화학사고 대응방안에 대한 고찰. *한국위험물학회*. 2(1): 50-54.
- 유병태, 양재모, 오금호. 2013. 화학사고 예방을 위한 재난안전 분야 국제표준 동향분석 및 활성화 연구. *한국방재안전학회*. 6(2): 9-14.
- 윤이, 양희선, 박춘화, 조문식, 김성범, 이문순. 2007. 환경부의 화학사고 대응 현황 및 주요 정책. *한국위기관리논집*. 3(2): 18-29.
- 이진선, 김기준, 윤준현, 최경희, 조석연. 2013. 가스상 사고대비물질 시료채취 백 보존성 연구 - 아크롤레인과 산화프로필렌을 중심으로. *한국환경분석학회*. 16(2): 71-76.
- 이진선, 윤영삼, 김기준, 윤준현, 석광설, 최경희. 2014. 화학사고 신속 대응을 위한 대기 시료 포집방법 비교연구 - 염화수소와 불화수소를 중심으로. *한국환경분석학회*. 17(1): 46-53.
- 이태형, 박중돈, 이상재, 방병선, 김경필, 김민선, 박진수. 2015. 국내 화학물질사고 특성 분석. *한국위험물학회지*. 3(1): 35-39.
- 이태형, 이덕재, 박중돈, 신창현. 2016. 실험실 화학사고 특성 분석에 관한 연구. *한국화재소방학회*. 30(3): 110-116.
- 정경삼, 백은선. 2014. 유해화학물질 취급작업장의 안전관리 개선에 관한 연구. *한국화재소방학회*. 28(1): 12-19.

국내 화학사고 사례 분석을 통한 대응체계 개선

국문초록 본 연구는 화학사고 대응 매뉴얼을 조사하여 국내 화학사고에 대한 적용성을 분석하였다. 대형 화학 사고는 국가 재난차원에서 대응하는 체계가 구축되었으나, 규모가 작은 화학사고는 본 매뉴얼이 적용하기가 어려운 문제점이 있는 것으로 나타났다. 문제점을 개선하기 위해 본 연구는 사고대응이 미흡했던 국내 화학사고 사례를 유형별로 분석하였다. 분석 결과, 물과 반응성이 높은 금속성 물질의 화재사고는 대응 초기단계에서 소화를 위해 물을 분사하여 사고가 확대되는 사례가 빈번히 나타났다. 유·누출에 의한 확산사고는 사업장의 초기 신고지연으로 골든타임을 확보하지 못해 초기대응이 미흡하여 주민과 환경에 해로운 사고로 확대되는 사고가 종종 발생했다. 본 연구를 통해 사고대응기관이 신속하게 정보를 공유하여 정확한 정보로 초기에 대응하고, 사고단계별로 효과적으로 대응하는 체계를 구축하는 것이 필요하다는 것을 제안하였다.

주제어 : 화학물질관리법, 골든타임, 화학사고, 대응

Profiles **Sang Jae Lee** : He is a first author. After a master degree of Bioscience and Biotechnology in Chungnam National University, working at the National Institute of Chemical Safety and studying for his doctorate in Bioscience and Biotechnology in Chungnam National University. The major paper is "A study on Characteristics Analysis of Chemical Accident in Accordance with Chemical Substance Transporting Accident(2016)". The interested areas are chemical accident response, ecological risk assessments, nutrient dynamics, ecosystem health assessments and so on(wangmommyson@hanmail.net).

Joong Don Park : He is a second author, working at the National Institute of Chemical Safety. The major task is chemical accident prevention. The interested areas are RMP(Risk Management Prevention), training, root cause analysis of accidents and so on(donnydonny@korea.kr).

Gyeong Seok Seo : He is a third author, working at the National Institute of Chemical Safety. The interested areas are handling facility standards, risk assessment, terrorism and so on(skkm03@korea.kr).

Woo Sang Park : He is a fourth author, working at FITI Testing & Research Institute. The major paper is "Evaluation of Whole Effluent Toxicity Proficiency Testing for Water Quality Measurement Agencies in Korea"(2013). The interested areas are toxicity, risk assessment and so on(idol1982@fitiglobal.com).

Young Hwan Kim : He is a fifth author, working at FITI Testing & Research Institute. The interested areas are atmospheric analysis, atmospheric modeling and so on(yhkim80@fiti.re.kr).

Sam Su Kim : He is a sixth author, working at FITI Testing & Research Institute. The interested areas are atmospheric analysis, noise & vibration and so on(sskim1124@fiti.re.kr).

Sam Su Kim : He is a corresponding author. After a doctor's degree of safety engineering in Chungbuk National University, He is working at the National Institute of Chemical Safety. The major papers are "Design of the safety standard at hydrofluoric acid handling facilities for risk reduction(2018)" and so on. The interested areas are safety engineering, handling facility standards, machine safety(yjoy122@korea.kr).