유해화학물질 유출의 사례 분석

유지선* · 정영진*,**†

*강원대학교 일반대학원 소방방재공학과, **강원대학교 소방방재공학과

Case Analysis of the Harmful Chemical Substances' Spill

Jisun You* · Yeong-Jin Chung*,**†

*Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University, Graduate School

**Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University

(Received October 22, 2014; Rvised November 19, 2014; Accepted November 19, 2014)

요 약

최근 우리나라의 유해화학물질 사고는 반복적으로 재현되고 있다. 본 연구에서는 2008년~2014년 기간 동안 유해화학물질 사고사례의 분석을 통해 유해화학물질의 문제점 및 대처방안에 대하여 조사했다. 우리나라의 유해화학물질 사고의 현황 중 유출에서는 작업장 내에서 유출이 2008년 58.6% (10건)으로 가장 높았고, 폭발에 따른 유출은 2004년 50% (5건), 2007년 25% (4건), 2011년 33.3% (4건)로 불규칙적으로 발생하였다. 유해화학물질의 대부분의 원인은 안전관리 미흡에서 발생하는 것으로 이해된다. 유해화학물질은 다양한 양상을 띠며 잔류성이 매우 높고 비가시적인 특징 때문에 대응 및 복구에 어려움이 많고, 먼 거리까지 이동해 제2의 피해인 환경오염을 일으킨다. 이에 유관기관의 공조체제 및 통합적인 시스템을 구축하여야 하고, 화학사고대응전문기관과 화학물질 대응 치료전문기관을 설립해 효율적이고 신속한 대응을 하여야 한다.

ABSTRACT

Lately accidents of harmful chemical substance in Korea were repeatedly replaying. We studied problems and preparation plan in 2008 years~2014 years through analysis cases of harmful chemical substance. Leakage of chemical substance's accident situation shows that leakage in the workplace is the most 10 cases, accounting for 58.6% is the largest proportion in 2009. Leakage according to explosion accounting for 50% (5 cases) in 2004, 25% (4 cases) in 2007 and 33.3% (4 cases) in 2011 has very irregular change. Therefore, A major cause of accidents is lack of safety management. Harmful chemical substance showed various aspects, high residual substance and non-visible characteristic so response and recovery was easy. And the second damage to move a distance causes environment pollution. So a mutual-assistance system and integrated system of related organization have to build and expert of chemical incident response and therapist of chemical substance response have to establish to do efficient and rapid response.

Keywords : Harmful chemical substance, Accidents, Lack of safety management

1. 서 론

화학물질은 일상생활 또는 산업사회에 밀접하게 이용되고 있어 현재 전 세계적으로 10만여 종의 화학물질이 유통되고, 4만여 종의 화학물질이 우리나라로 들어오고 있다. 국제연합 환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)의 보고서에 따르면⁽¹⁾ 우리나라는 2012년부터 2020년까지 화학물질 생산량이 약 35% 증가할 것으로 예상하고 있을 정도로 화학물질의 사용량은 지속적으로 매우 증가할 것으로 보인다.

이처럼 화학물질 사용량의 증가와 함께 화학 산업은 다른 분야에 비해 빠르게 성장하고 있지만, 우리나라의 위험물질에 대한 안전의식 및 대책방안은 성장속도에 미치지 못하고 있어 크고 작은 사례가 끊임없이 일어나고 있다. 이에 대표적인 사고로 손꼽을 수 있는 사고는 전 국민이 식수로 인해 불안에 떨었던 낙동강 폐놀유출사고가 있다. 1991년 3월 16일과 4월 22일에 폐놀을 두 번 낙동강으로 유출한 사고로 임산부 8명이 자연유산하는 소식이 전해지면서⁽²⁾ 낙동강을 식수원으로 사용하던 국민들의 불안감은 매우 높았고, 기업의 안전의식 뿐만 아니라 환경의 중요성

†Corresponding Author, E-Mail: yjchung@kangwon.ac.kr
TEL: +82-33-540-3121, FAX: +82-33-540-3129

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.6.090>

에 대해 재조명 되었다. 이 사고 뿐만 아니라 2005년 여수 산업단지 염화수소 누출사고와 2008년 김천 폐놀 유출사고가 발생했고, 2012년 (주)휴브글로브 불산 누출사고로 인해 유해화학물질 사고에 대한 국민들의 관심이 증대되었다.

유해화학물질은 다양한 양상을 띠며 분해에 장기간 소요되는 잔류성이 매우 높고, 오염 확인이 곤란한 비가시성으로 대응 및 복구가 쉽지 않다. 또, 먼 거리까지 이동하는 확산성을 가지고 있어 제2의 피해인 환경오염과 주변지역까지 피해를 일으킨다⁽³⁾. 국민의 생활수준이 높아지면서 인간뿐만 아니라 환경에 큰 피해를 끼치는 화학물질 사고에 대한 안전관리는 매우 중요하다.

앞서 연구들은 국내·국제 화학물질 관리 및 대응체계 관련규정을 바탕으로 유해화학물질 관리 실태에 대한 조사, 국외의 화학물질 관련 관리제도 및 선진국 비상대응체계의 특징 등의 일부 연구^(4,5)가 이루어져 왔다. 그리고 유해화학물질이 누출되었을 경우 인간의 몸에 해로운 정도 및 대책방안⁽⁶⁾, 유해화학물질을 다루는 조치방안⁽⁷⁾에 대해서도 일부 다루었다.

그러나 국외의 관리제도나 선진국의 비상대응체계에 대한 연구들로 인해 정작 우리나라의 실정에 맞는 연구, 사고사례를 분석한 연구가 부족해 우리나라의 유해화학물질 사고가 반복적으로 재현되고 있다. 그리고 비슷한 유해화학물질의 사고가 짧은 기간 내에 끊임없이 연달아 일어나고 있어 부분별로 대책방안을 세우고 실행하고 있다는 지적도 나오고 있다. 이에 우리나라는 아직까지도 안전의식이 불완전하게 형성되어 있고, 유해화학물질 사고에 대한 대책방안이 부족한 실정으로 유해화학물질 사고에 있어 매우 위험한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 유해화학물질관리법을 기준으로

최근에 발생했던 사고 사례 분석을 통해 유해화학물질의 위험성을 알려 국민, 기업 및 사회의 안전의식을 향상시켜 문제점을 연구해 우리나라의 실태에 맞는 대책방안을 세워 국민들의 안전 및 재산과 신체를 보호하고자 한다.

2. 본 론

2.1 유해화학물질 통계치 분석

우리나라의 유해화학물질은 7개의 부처(환경부, 고용노동부, 보건복지부, 안전행정부 등)의 각각의 목적과 관리 대상에 따라 14개의 근거법령을 통해 관리되고 있다⁽⁸⁾. 본 논문에서는 환경부에서 관리하는 화학물질(유독물), 근거 법령인 유해화학물질관리법을 기준으로 하여 다음과 같이 화학물질 관련 사고현황 및 유통현황에 대한 통계자료를 나타냈고, 마지막으로 유해화학물질에 따른 사고에 중점을 두어 유출사고의 원인을 분석하였다.

Figure 1에서 보여준 바와 같이 2004년~2011년까지 화학물질관련 사고현황을 작업장 내 유출, 운송수단에서의 사고, 폭발 등에 따른 유출로 구분해 나타내었다. 이 중에서 작업장 내에서 유출과 운송수단에 따른 사고가 가장 높은 발생 건수를 보였다. 즉, 작업장 내에서 유출은 2008년 58.6% (10건)로 가장 높았다. 그 이유는 대부분이 안전관리 미흡 때문이었다. 운송 수단에 대해서는 2006년 53.3% (8건), 상승 후 감소하다가 다시 2010년 60% (9건)로 높게 발생하였다. 과적운행, 전문 수송차량이 아니거나 안전장비를 갖추지 않은 일반차량으로 주행 그리고 교육받지 않은 운전자의 운행 등으로 판단된다. 또 폭발에 따른 유출은 2004년 50% (5건), 2007년 25% (4건), 2011년 33.3% (4건)로 불규칙적으로 발생하였다. 이것은 안전 불감증에서 비롯된 안전관리 미흡 때문이었다. 유해화학물질의 대부분의

Figure 1. 2004~2011 years statistical analysis of an dangerous material: Chemical substance's accident situation⁽⁹⁾.

Figure 2. A quadrennial period statistical analysis of an dangerous material: Present state of distribution in chemical substance⁽⁹⁾.

원인은 안전관리 미흡에서 발생하는 것으로 이해된다.

Figure 1에서 보듯이 유해화학물질의 공정 중과 수송에서 많은 사고가 일어난다는 것을 알 수 있다. 이 부분들은 유해화학물질이 대량으로 저장되어 있는 공장이나 산업현장에 매우 밀접하게 관련되어 있다.

따라서 본 논문에서는 유해화학물질을 많이 다루는 장소인 공장이나 산업현장 및 실험실에서 일어난 사고사례를 분석해 대처방안을 세워 향후 일어날 사고에 대비해 사고발생률을 줄일 수 있도록 하고, 유해화학물질 사고에서 상당히 높은 부분을 차지했던 유출·폭발에 대한 많은 연구가 필요하다고 판단해 본 논문에서는 유출에 관한 유해화학 사고를 다루고자 한다.

Figure 2에 화학물질 유통현황에 대해 나타내었다. 우리나라의 화학물질 유통량 조사는 1998년도부터 매 4년마다 실시하고 있고, ‘유통량=제조량+수입량-수출량’으로 나타내고 있다.

유통량은 그래프에서 살펴보듯이 꾸준히 증가하고 있고, 유통량 증가에 따라 제조량, 수입량도 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 세계화가 진행되면서 수출량, 수입량이 증가되고, 다양화가 진행되면서 사용량이 증가된다.

이에 유해화학물질의 유통현황은 꾸준히 증가될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 4개의 사고사례 분석을 통하여 유해화학물질의 유통량 및 사용량이 늘어남에 따라 취급자나 경영자의 안전의식을 향상시킬 수 있는 여러 방안을 검토 하고자 한다.

2.2 사고사례 분석

사례1. 페놀 유출사고

2008년 3월 1일 오전 3시 10분 경 경상북도 김천시 대광동 (주)코오롱의 유화 김천공장 생산 1공장(합성수지동) (Figure 3)에서 페놀수지 제조 공정의 기계과열로 캡처탱

Figure 3. Upon arrived at the accident⁽¹⁴⁾.

크가 폭발하여 화재사고가 발생했고, 화재 진화과정에서 살수된 소화용수가 공장내부에 있던 수질 오염물질과 섞여 인근 대광천을 경유하여 페놀류 5톤(11 kg 이내)이 유출되어 이 중 1,000 L와 경유 200 L가 인근 하천에 유입되었다. 사망자 2명, 부상자 14명의 인명피해와 소방서 추산으로 22억 원 상당인 재산피해가 발생했다⁽¹⁰⁾.

1) 문제점

이 사고에서는 밀폐된 공간에서 가연성 가스·증기 또는 분진이 폭발범위 내에 있고, 점화원이 있어야 할 폭발의 성립 조건이 모두 갖춰져 있었다.

가연성 기체와 공기의 혼합가스가 밀폐용기 안에 있을 때 점화되면 연소가 폭발적으로 일어나는데 예혼합연소의 경우에 밀폐된 용기로의 역화가 일어나면 폭발할 위험성이 크다. 가연성 증기는 연소와 역화를 일으키는 데 도움을 준다. 이것은 많은 양의 가연성 기체와 산소가 혼합되어 일시에 폭발적인 연소현상을 일으키는 비정상연소이기도 하다⁽¹¹⁾.

직접적인 스파크나 불꽃이 없을 때, 뜨거운 표면은 불이 잘 붙을 수 있는 조건이 되기에 충분한데, 점화원인 열과 기계적 에너지로 고인화성이 된 페놀에 공기가 혼합되어 79℃ 이상에서 폭발성 혼합물을 생성해 폭발연소가 발생했다고 볼 수 있다.

그리고 화재진압을 담당하는 김천소방서와 유해화학물질을 관리하는 김천시 간의 공조체계 미비로 인해 페놀유출에 대한 초기 대응이 지연되었고, 수질오염사고에 대한 상황전파도 체계적으로 이루어지지 않아 전파시간이 지연되는 등 여러 가지 문제점들이 발생했다. 이는 사고 피해를 더 크게 발생시키는 원인이 되기에 충분했다.

따라서 (주)코오롱유화의 공정상 시설관리 및 안전관리를 철저히 하지 못해 유출사고가 일어났고, 유해물질의 하천유출 사고에 대비한 배수로 차단 등의 조치 등 지연되어 대응체계가 미흡한 것으로 평가되어 결국 유해물질에 대한 안전관리 미흡으로 판단된다.

2) 대처방안

수로, 하수구, 밀폐된 공간으로 유입되지 않도록 하는

Figure 4. Making buffer storage facility⁽¹⁵⁾.

것이 매우 중요하지만, 향후 유사사고 발생 시 근원적인 수질오염물질 유출의 차단을 위해 불연성물질(모래나 흙)로 옹덩이나 둑을 만들거나 임시제방, 완충저류시설 등 차단 시설 설치요건을 강화·확대해야 한다. 이 중 완충저류시설은 Figure 4처럼 화재·폭발·누출 등으로 환경피해가 발생했을 때 단지에서 유출되는 유해물질을 일시적으로 저장해 환경재해를 예방하기 위한 시설로⁽¹²⁾, 사고로 새나오는 폐수나 오염물질을 끌고 내려오는 초기 빗물의 하천 유입을 차단하는 안전장치다. 낙동강 수계에서 완충저류시설을 가동해 더 큰 피해를 막을 수 있었는데, 환경부에서는 이 사고로 인해 산업단지에 준하는 공업지역에도 완충저류시설을 설치하는 것을 법적으로 의무화한다고 밝혔다.

화학적으로 살펴보면, 폐놀은 방향족 탄화수소계로 증기가 공기와 접촉하면 폭발성 혼합기체가 될 수 있어 용기에서 누설가스 인화 시 용기 및 용기주위에 물을 뿌려 냉각시킨다⁽¹³⁾. 그리고 폐놀을 다룰 때 열, 화염 및 기타 점화원과 일정한 간격을 두어야 한다.

그리고 유해물질 안전관리 및 대응기반을 강화하여야 한다. 안전관리 강화대책이나 법규를 제정하고, 화학물질 사고 사전예방을 하기 위한 대응기반을 강화해야 한다.

가장 중요한 수질오염사고 통합대응 시스템을 구축하여야 한다. 재난관련 유관기관 통합대응시스템을 구축하고, 유사시 사고에 대비한 정기적인 훈련을 실시해 향후 유해화학물질 유출에 있어 예방과 대책을 강구해 나가야 한다.

사례2. 불산 누출사고

2012년 9월 27일 오후 3시 43분 경 경상북도 구미시 산업단 구미국가산업단지 4단지의 (주)휴브글로벌에서 야외 작업장의 탱크에서 불산을 옮기는 과정에서 가스(화학약품 불산 20톤 중 8톤 정도)가 누출했다. 사망자 5명, 부상자 18명의 인명피해와 Figure 5 등과 같은 소방서 추산으로 약 177억 원 상당인 재산피해가 발생했다⁽¹⁶⁾.

1) 문제점

대부분 화학공장은 1960년~1970년대 건설된 것으로써

Figure 5. A great deal of damage to the crops because of hydrofluoric acid⁽²¹⁾.

사고위험이 항상 도처에 내재되어 있다. 이런 화학공장의 노후화는 현재 시급히 개선되어야 할 문제점으로 보인다.

현재 호흡기 및 피부보호기능이 높은 화학방호복이나 제독분석기능이 높은 생화학차 등 화학 장비도 부족한 실정이며, 구미시가 포함되어 있는 경상북도는 화학구조대를 구성하지 않았고, 화학구조대나 화학테러구조대를 구성해 운영하고 있는 서울, 경기, 부산 등에 비해 전문적인 인력이 많이 부족하다.

또, 불산가스(HF)는 물에 용해될 수 있어서 인체에 매우 유해하며, 기체상태의 불화수소는 특히 공기보다 가벼워 쉽게 확산된다.

이들은 일반적으로 다음과 같이 처리된다.

이러한 불산과 같은 유해화학물질을 취급하는 공장은 주거지에 멀리 떨어져 있어야 하지만, 구미는 공장 근처에 봉산리와 임천리라는 마을이 있었다. 하지만 여기서 더 큰 문제점은, 주민 누구도 불산을 다루는 공장이 있었다는 사실을 몰랐다는 점이다. 또한, (주)휴브글로벌의 종업원이 30인 미만이라는 이유로 환경부의 정보 공개 대상에도 포함되지 않았다.

우리나라는 환경부(유독물 및 사고대비물질), 고용노동부(유해·위험물질), 산업통상자원부(고압가스), 소방방재청(위험물)과 같이 소관물질이 중첩되는 사고가 발생하는 경우 사고수습 주관부처가 모호해지는 사례가 발생해 최근 '유해화학물질 유출사고 위기관리 표준 매뉴얼' 개정을 통해 모든 화학물질사고에 대한 주관부처를 환경부로 일원화하고, 산업통상자원부, 고용노동부는 유관기관으로써 사고발생시 지원으로 역할을 변경했다⁽¹⁷⁾. 하지만, 환경부, 지방자치단체, 자체소방대 등의 유관기관이 있어 이에 대한 공조체계 미흡이라는 문제점도 나타나고 있다.

2) 대처방안

불산은 가연성은 아니지만, 메탈 등과 접촉하면 폭발성

수소가스를 방출시킨다. 이에 불산은 분말 소화약제, 스프레이나 안개 형태로 된 물을 이용해야 하는데, 직접적으로 불산에 방사하게 되면, 난폭성을 일으키므로 탱크를 향해 방사해야한다. 이때, 안전한 거리에서 바람을 등지고 화재를 진압하는 것이 좋다⁽¹⁸⁾.

공장 및 산업시설 등 주의가 필요한 장소에 소방본부 · 환경부 · 지방자치단체 등 합동점검을 실시해 노후화된 장비를 점검 및 수리해야 한다.

또한 우리나라의 화재 특성과 현실을 종합하여 각 지역마다 맞는 화재 성질에 따라 자체소방대 설치와 방재정보시스템 등을 마련해 사고발생 시 각 기관이 유기적으로 빠르게 대처할 수 있도록 해야 한다.

최근 국내 유해화학물질은 4만 천여종, 신규 화학물질은 연간 400여종을 다루고 있다. 즉 2002년 9,358종, 2006년 14,607종, 2010년 15,840종⁽¹⁹⁾으로 조사되었다. 따라서 우리가 다루어야 할 화학물질의 수는 점점 증가하고 있는 추세이나, 이에 대한 전문성에 한계가 있는 문제점이 대두되고 있어 유해화학물질에 관한 사고 발생 시 전문지식을 가진 자체 전담기구가 운영된다면, 좀 더 정확하게 화학물질을 다룰 수 있을 뿐만 아니라 초기 대처를 완벽하게 진행할 수 있다.

유관기관과의 교육과 훈련 등을 통하여 공조체제를 구축하는데 강화하는 방법으로 안전관리에 좀 더 힘써야 한다. 각각의 기관들이 입수한 정보 즉, 미국 환경보호국(United States Environmental Protection Agency: UEPA)의 위험관리계획(Risk Management Planning: RMP) 등을 서로 교환하며 정보력을 키우고 사고발생시 유기적인 조직체계를 형성하여 각 기관들의 역할분담과 공동으로 대처해야 할 일들에 있어서 빠른 대처방안을 강구할 수 있다⁽²⁰⁾.

사례 3. 황산 유출사고

2013년 07월 19일 오후 5시 15분 경 서울 광진구 군자동 세종대 영실관 실험실에서 일어났고, Figure 6에서 식품을 황산에 넣어 끓이던 중 용기가 폭발(황산 0.5 L 유출)

Figure 6. Picking up the pieces⁽²⁸⁾.

했다. 부상자 7명의 인명피해가 발생했다⁽²²⁾.

1) 문제점

가연성 물질과 진한 황산의 접촉에 의해 발생한 열은 축적되어 화재로 이어질 가능성이 있다.

황산은 특히 한정된 공간 내 폭발범위에 축적될 수 있는 수소가스를 생성하기 위해 물로 희석했을 때 대부분의 금속과 반응한다. 또, 물과 함께 유기체는 상당히 많은 열로 전개되면서 격렬하게 반응하고, 탄화물, 시안화물, 황화물과 접촉했을 때 매우 위험한 상태가 된다⁽²³⁾.

지난 6년간 전국 71개 대학과 15개 연구기관 연구실에서 584건의 안전사고가 발생하였고, 연도별로는 2006년에 14건, 2010년 127건, 지난해 157건 등으로 6년간 11배가 늘었다⁽²⁴⁾. 이를 예방하기 위한 안전교육이나 훈련은 많이 부족하다. 더구나 대학과 기업 등 연구소 실험실에 안전 매뉴얼조차 없는 곳이 상당수인 것으로 밝혀졌다.

연구실 안전교육훈련의 실시비율은 약 50%~70%로 나타나⁽²⁴⁾ 실험실에서 발생하는 사고는 78%가 실험자 부주의로 이어지고 있다고 판단된다.

그리고 기관별 연구실안전관리비 확보 현황은 대학이 5천 7백만 원으로 저조하며, 국공립 및 정부출연이 3억 1천 4백만 원으로 대학에 비해 5.5배 높은 것으로 나타났다⁽²⁵⁾.

이런 문제점으로 인해 유해화학물질이 피부에 닿았을 경우 씻을 수 있는 샤워시설이나 눈 세척장비, 소화기 비치 등이 되지 않은 점 등 관리장비가 많이 부족하다. 대부분의 실험실에서 후드를 시약 저장 공간으로 이용하는데, 후드는 24시간 가동하는 곳으로 불꽃이 튀면 화재로 이어질 수 있는 위험한 장소이므로 시약 관리에 주의를 요한다.

2) 대처방안

실험실 사고의 대처방안으로는 안전교육 강화가 가장 중요하다. 실험자 부주의로 대부분의 사고가 일어나는 점 등으로 보아 최선의 대비책으로 볼 수 있다. 그리고 국공립 및 정부출연과 대학의 연구실안전관리비가 5.5배인 차이를 줄이고, 대학이 연구실 안전 관리비를 확보할 수 있도록 국가의 많은 주의와 노력이 필요하다.

또한, 시약을 보관하는 장소는 낙하 방지대가 설치되어야 한다. 이는 시약을 꺼내다가 깨뜨릴 위험이 있기 때문이다. 그리고 후드에 시약을 보관하는 것도 잘못된 행동이다.

고압가스통은 체인 등으로 벽에 고정해 파손을 막아야 한다⁽²⁶⁾. 그리고 실험실 관리감독자를 선임해 일일 안전점검을 의무화하는 방법도 있다.

이 사고에서의 유해화학물질인 황산은 물과의 용해성이 크며, 계란 썩은 냄새가 나는 황화수소(H_2S)가 발생한다.

물과의 희석 시 열 발생과 함께 비산현상이 일어나므로 황산에 물을 가하지 않아야 한다.

Figure 7. Scene of an accident⁽³³⁾.

또, (3)식에서 황산은 산소 존재 시 연소반응에 의해 황산화물이 생성된다.

이 황산화물은 인간에게 매우 치명적이므로 최대한 접촉을 최소화해야 한다⁽²⁷⁾.

사례 4. 암모니아 유출사고

2014년 02월 13일 오후 1시경 경기도 남양주시 도농동 빙그레 제2공장에서 일어났고, Figure 7에서 아이스크림을 제조하기 위해 보관한 액화질소 저장탱크 주변에서 새어나온 암모니아 냄새를 희석하기 위해 물을 뿌리는 과정에서 폭발(암모니아 가스 1.5톤~6톤이 유출)했다. 사망자 1명, 부상자 3명의 인명피해가 발생했다^(29,30).

1) 문제점

폭발 전 아침부터 암모니아 냄새가 났고, 빙그레에서도 암모니아 유출 사실을 알고 직원 30여명을 제 1공장으로 대피를 시켰다. 하지만 여기서 문제점은 자사 직원들은 대피를 시켰지만, 하청 직원들에게는 알리지 않아 사망자 1명이 발생하게 되었고, 또한 이 사실을 관리감독기관인 한국가스안전공사와 남양주시청에 곧바로 알리지 않고 자체적으로 점검을 하려다 피해가 더 커졌다⁽²⁹⁾.

유출된 암모니아의 연소범위는 15.7 vol.%~27.4 vol.%인데, 온도와 압력이 상승함에 따라 연소범위가 확대되어

위험성이 증가한다.

유출된 암모니아는 공기와 혼합되어 가열되면, 연소범위의 확대로 인해 위험성이 증가하게 되고, (4)식처럼 질소와 물, 소량의 이산화질소, 질산암모늄이 생성된다. 여기서 질산암모늄은 온도가 높거나 가연성 물질이 있을 때 폭발의 위험성이 매우 높아진다⁽³¹⁾.

이와 같이 암모니아는 조건에 따라 폭발할 위험이 크므로 유해화학물질로 분류되어 있다. 이 사고는 폭발성이 큰 상황에 물이 닿으면 폭발하는 암모니아 가스의 성질까지 더해져 이 폭발사고는 일어날 수밖에 없었던 결과였다.

여기에 안전 의식 불감증도 지적되고 있다. 안전 의식이 결여되어 있어 안전에 대한 관심을 갖고 있지 않게 되어 가정 내, 기업, 사회 등에서 크고 작은 사고가 지속적으로 일어나고 있기 때문이다.

2) 대책방안

암모니아 가스는 밸브나 공급라인에서 누설 시 냄새로 쉽게 알 수 있다. 이는 독성 및 가연성가스이므로 누설 부위에 화기를 차단시키고, 환기가 잘 되는 곳에서 취급해야 하며 용기 밸브, 배관 연결부 혹은 탱크에서 가스가 누출되는 것을 주의 하고, 열 · 스파크 · 화염 · 고열로부터 가스 용기를 멀리해야 한다.

누설 부위에 접근할 경우 방독면 등의 보호구를 착용 후 바람을 등지고 접근해야 하며, 액체 암모니아가 누출될 때에는 물을 살수하여 암모니아 가스를 흡수시켜 중화한다⁽³²⁾.

그리고 많은 기업들은 하도급 계약을 체결해 사고가 발생했을 경우에는 하청 직원에게 책임을 미루고, 위와 같이 사고발생을 알리지 않아 사망으로까지 직결된 것으로 보아 하청회사 직원들도 자사직원으로 인식하고, 원청업체와 하청업체의 공동책임제를 부여해야 한다.

그리고 자신들의 이미지나 이익에만 급급한 기업이나 공장들의 인식도 바뀌어야 한다. 법적인 기준을 통해 사고발생을 시민들이나 유관기관에게 빨리 알리고, 적극적인 대처를 한다면 나중에 회사의 이미지가 쇠신될 것으로 판단된다.

앞에서 분석한 사례들을 다음과 같이 하나의 표로 정리하였다.

연번	발생일	유해화학물질	사고원인	피해현황
사례 1	2008. 3. 1	페놀	제조 공정의 기계과열로 캡처탱크가 폭발	16명 약 22억 원
사례 2	2012. 9. 27	불산	불산을 옮기는 과정 중 누출	23명 약 177억 원
사례 3	2013. 7. 19	황산	실험 중 황산이 들어있던 용기가 폭발	7명
사례 4	2014. 2. 13	암모니아	암모니아 냄새를 희석하기 위해 물을 뿌리는 과정에서 폭발	4명

통계치 분석에서 공장이나 산업현장에서 높은 유해화학물질 사고가 일어난다는 것을 살펴본 것을 토대로 공장 및 실험실에서 최근에 발생한 유해화학물질의 사고 형태 중 유출을 중점으로 두어 사고 사례를 분석했다. 이에 공통적으로 발생한 문제점들을 분석한 결과 다음과 같은 대책방안을 제안한다.

2.3 대책방안

2.3.1 대응체계

유해화학물질관리법 제40조(사고의 보고 등)<개정 2010. 6.4.>, 위험물안전관리법 제27조(응급조치 · 통보 및 조치 명령), 산업안전보건법 시행규칙 제4조(산업재해 발생 보고) 등 예방 및 대응을 위한 법은 기존에 있었던 ‘위험물안전관리법, 유해화학물질관리법’에 ‘산업안전보건법, 고압가스안전관리법, 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 등’이 더해져 각 부처의 법령에 따라 유해화학물질 사고에 대한 법적 기준이 상이하게 이루어지고 있어 이에 통합적이고 세부적인 법적 기준을 세워야 한다.

또한, 유해화학물질관리법 제63조(과태료)에서는 유해화학물질관리법 제40조(사고의 보고 등)에 따라 사고신고를 하지 아니한 자는 100만원 이하의 과태료만 부과하는 약한 법적 제재를 5년 이하 징역 또는 1억원 이하 벌금, 영업정지 및 폐쇄 등 강력한 처벌규정으로 개정해 암모니아 유출사고와 같은 피해를 막아야 한다.

우리나라도 소방방재청이나 중앙재난안전대책본부에서 미국은 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency: FEMA)과 같은 강력한 권한을 갖고 실시간 모니터링 시스템과 유관기관간의 통합관리시스템의 구축도 함께 이루어져야 한다.

2.3.2 화학사고대응전문가 양성

국내 화학공장은 노후화된 저장시설로 인해 사고 발생률이 높고, 대형화 및 복잡한 구조로 이루어져 있어 복합적인 피해가 발생하므로 전문적인 대응이 필요하다.

미국은 현장파견감독관(on-scene coordinator: OSC)을 두어 사고현장의 감독관으로 직접 지휘하고 관련기관과의 조정활동을 수행하는 중요한 사고대응전문가를 운영하고 있다^(34,35).

우리나라도 미국처럼 사고현장에서 지휘권을 갖고 직접 대응 및 지휘할 수 있는 전문적인 현장파견감독관이 필요하다. 화학사고대응전문가를 양성 및 강화하면, 기술적으로 복잡하고 다양한 양상을 띠며, 고도의 전문성이 요구되는 유해화학물질 사고를 보다 통합적이고 체계적이며, 신속한 사고대응을 할 수 있게 될 것이다.

2.3.3 화학물질 대응 치료 전문가 양성

우리나라는 현재 4만 여종의 국내 유통 화학물질과 연간 400여종의 신규 화학물질을 다루고 있어 유해화학물질

사고가 증가하고 있는 현실 속에서 전문적인 화학물질 대응 치료 전문가가 없다.

유해화학물질 사고 이후 집단적인 외상 후 스트레스 증후군(Post Traumatic Stress Disorder, PTSD)에 주목해야 한다. 피해지역의 주민들은 자연재해 및 사고 등의 심각한 사건을 경험한 후 심한 정신적 충격을 받아 계속적인 공포감을 느끼는데, 이에 대한 대책이나 사람에게 미칠 영향을 분석할 의사 전문가가 없다. 그리고 각각의 화학물질의 지식을 가지고 그에 맞는 치료법이 필요한데 이에 대한 전문적인 의사도 없다.

보건복지부와 협조해 정신건강의학과 전문의 등 치료 전문가를 파견해 피해지역 주민들에게 인지치료, 행동치료, 최면요법 등 심리요법을 시행하고 지속적인 관찰을 해 외상 후 스트레스 증후군의 치료해 예방해야 한다.

그리고 화학물질 노출로부터 인체 영향을 확인하는 실제적이고 기초적인 방법인 위해성 평가는 유해화학물질 사고의 대응에 매우 중요한 평가이다. ‘위해성(risk) = 유해성(hazard) × 폭로량(exposure)’ 즉, 화학물질의 노출이 발암, 심장질환 등을 일으키는 지 유해성을 확인하고, 인체 노출 기간 · 빈도 및 강도를 통해 화학물질의 양과 건강영향 발생 관계를 확인⁽³⁶⁾해 건강에 악영향이 발생할 확률을 계산해 이에 맞는 치료법과 유해화학물질의 전반적 · 전문적인 지식을 함께 갖춘 전문가를 양성해야 한다.

2.3.4 시설 및 장비 관리

우리나라의 화학산업 단지는 대개 70년~80년대에 건설되어 20년 이상 경과된 노후화로 화학물질사고의 3분의 1 정도가 시설 노후화로 인해 발생했다. 철저한 시설점검이 이루어져야 하고, 화학산업 단지의 시설 · 설비의 수명에 대한 명확한 기준이 제시되어 유지 및 관리되어야 한다.

한국인의 체형에 맞는 호흡기 및 피부 보호기능이 높은 화학방호복을 연구해 개발하고, 누출감지경보기를 설치하거나 생화학차 · 생화학, 인명구조차 및 유해화학물질 분석 장비 등을 비치해 지속적인 관리가 이루어져야 한다.

2.3.5 국민 알권리 보장

미국의회는 1986년에 사용하는 화학물질의 종류와 양, 일상적 공정과 사고발생 시 어떻게 환경에 유출될 수 있는지를 주민에게 공개하도록 규정한 “비상계획과 지역주민 알 권리법”을 제정했다.

선진국들은 유해화학물질 관리를 일원화하고 ‘알 권리’도 강화해 관련 정보를 최대한 투명하고 효율적으로 처리하고 있다. 미국과 일본, 유럽연합(EU) 주요 회원국들의 경우 주민 거주 지역 인근 공장에서 사용하는 유해물질의 배출량과 사고 가능성, 대처 요령 등을 상세히 공개하는 실시간 모니터링 시스템이 갖춰져 있다.

이에 우리나라도 주민 알권리를 보장하기 위해 제도를 절차화 · 구체화하여 주민들에게 공정하고 투명하게 정보

를 제공할 수 있는 의사소통 프로그램을 개발해 확대해야 한다. 또한, 미국의 Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office (CEPPO)처럼 기업체, 공공기관들이 사고예방 및 비상대책을 세울 수 있도록 다양한 정보를 제공⁽³⁴⁾하고, 사고 발생 시 신속히 유관기관에게 정보를 제공할 수 있는 프로그램을 연구해 효과적인 대응을 할 수 있도록 해야 한다.

2.3.6 안전의식 향상

안전의식의 첫 번째 문제점으로는 작업자의 부주의인데, 숙련된 경험이 부족하고 유해화학물질에 관한 정보나 대처방안 등 지식 및 정보력이 부족해 발생하는 문제점이다. 취급자 · 관계인에게 안전매뉴얼을 주기적으로 배포하고, 취급사업장에 안전 관리인을 선임해 안전교육 및 훈련을 실시하고 법적인 기준을 마련해 강화해나가야 한다.

두 번째, 경영자 관심부족을 들 수 있다. 경영자 입장에서 보면 안전관리에 관한 장비 등은 직접적이고 빠른 이익 창출을 할 수 없다고 판단해 최대한 적은 금액을 투자하거나 법적인 기준이 제시되지 않으면 되도록 투자를 하지 않는 양상을 보이며, 하청업체를 선정해 안전문제가 발생 시 하청업체에게 책임을 전가하는 구도를 보이고 있다. 이에 원청업체와 하청업체 둘 다 공동책임제를 부여하고, 인가 요건을 강화시켜 전문성을 갖춘 하청업체를 선정하도록 해야 하며, 안전전문가 · 감독관을 지정해 원청-하청간의 정보교류와 안전수칙에 대해 밀착 점검해야 한다.

3. 결 론

우리나라의 유해화학물질 사고의 현황 중 유출에서는 작업장 내에서 유출이 2008년 58.6% (10건)으로 가장 높았고, 폭발에 따른 유출은 2004년 50% (5건), 2007년 25% (4건), 2011년 33.3% (4건)로 불규칙적으로 발생하였다. 유해화학물질의 대부분의 원인은 안전관리 미흡에서 발생하는 것으로 이해된다. 이에 대응체계와 시설 및 장비 관리, 안전의식의 큰 부분으로 나누어 근본적인 대책방안이 이루어져야 한다.

첫 번째, 우리나라의 유해화학물질은 7개의 부처(환경부, 고용노동부, 보건복지부, 안전행정부 등)의 각각의 목적과 관리대상에 따라 14개의 근거법령을 통해 관리되고 있어 사고에 대한 법적인 기준은 각 부처의 법령에 따라 상이하다. 이에 통합적으로 법적인 기준을 세부적으로 세워 유해화학물질 사고를 예방하거나 피해를 줄이고, 100만 원 이하의 과태료만 부과하는 약한 법적 제재를 5년 이하 징역 또는 1억원 이하 벌금, 영업정지 및 폐쇄 등 강력한 처벌 규정으로 개정해야 한다.

두 번째, 화학사고대응전문가 양성이다. 미국의 현장과 건감독관(OSC)처럼 우리나라도 화학사고대응전문가를 양성 및 강화해 사고현장에서 지휘권을 갖고 직접 대응 및

지휘할 수 있어 통합적이고 신속한 사고대응을 하도록 해야 한다.

세 번째, 화학물질 대응 치료 전문기관을 설립해야 한다. 치료 전문가를 파견해 피해지역 주민들에게 심리요법을 시행하고 지속적인 관찰을 통해 외상 후 스트레스 증후군을 치료하고, 치료 전문가에게 화학물질 및 유해화학물질 사고에 대한 전반적이고 전문적인 교육도 지속적으로 이루어져야 한다.

또한 위해성을 산출해 이에 맞는 치료법과 유해화학물질의 전반적 · 전문적인 지식을 함께 갖춘 전문가를 양성해야 한다.

네 번째, 시설 및 장비관리이다. 노후설비 개선과 철저한 시설점검이 이루어져야 하고, 화학 산업 단지의 시설 · 설비의 수명에 대한 명확한 기준이 제시되어 유지 및 관리되어야 한다.

마지막으로 안전의식 수준 향상이다. 주민 알권리를 보장하기 위해 주민들에게 공정하고 투명하게 정보를 제공해야 하며, 원청업체와 하청업체 둘 다 공동책임제를 부여하고, 인가 요건을 강화시켜 전문성을 갖춘 하청업체를 선정하도록 해야 한다. 그리고 경영자들의 의식이 향상되어 안전 분야에 대한 투자를 지속적으로 해야 한다.

후 기

본 연구는 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음.

References

1. United Nations Environment Programme, Global Chemicals Outlook : Towards Sound Management of Chemicals (2012).
2. Ministry of environment, Contamination accident of phenol in nakdonggang (2014).
3. Deputy director general of safety environment in the Office for Government Policy Coordination, Accidents of harmful substance's Crisis management and direction of policy (2013).
4. K. S. Jeong and E. S. Baek, Research about safety management's improvement of harmful chemical substance in work place (2014).
5. J. H. Yun, Reality of chemical substance management through accident case of harmful chemical substance, Korea Environmental Industry and Technology Institute (2013).
6. Department of Public Health, Understanding toxic substances (2008).
7. L. J. Schierow, The Toxic Substances Control Act (TSCA): A Summary of the Act and Its Major Requirements (2013).

8. Gimje Fire station, Plan for reaction of accident involving a harmful chemical substance leak (2013).
9. Ministry of environment, The Environment Statistical Information Service (2014).
<http://stat.me.go.kr/nesis/index.jsp>
10. Ministry of environment, The accident survey report about phenol in kimcheon (2008).
11. Gyeongbuk fire service academy, Combustion theory (2014).
12. J. H. You, Ministry of environment, Installation expansion of buffer storage facility for water pollution's prevention, Edaily (2014).
<http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?SCD=JG11&newsid=02171366606022336&DCD=A00701&OutLnkChk=Y>
13. National Institute of Environmental Research, The prevention ways of harmful chemical substance (2004).
14. J. R. Bak, Fire of kimcheon plants in Kolon Chemical Co....fatality 2, injured person 14, News (2008).
<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=003&aid=0001984472>
15. C. H. Bak, Phenol of nakdonggang...Sluggish response can result in a terrible disaster, Munhwa (2008).
<http://www.munhwa.com/news/view.html?no=2008030301031143002002>
16. Gumi News, Statement of problem and scale of total damage about after effect of Korean Medical Association (2012).
<http://blog.naver.com/papercup?Redirect=Log&logNo=30148915395>
17. Korea Disaster Safety Technology Institute, Chemicals legislation (2014).
18. Caledon laboratory chemicals, Material safety data sheet-Hydrofluoric acid (2014).
19. Ministry of environment, Final report about the amount of chemical substance (4 years period) (2014).
20. United States Environmental Protection Agency, General Risk Management Program Guidance (2009).
21. H. S. Bak, "Dry People because of Hydrofluoric Acid!"...Panic of hydrofluoric acid in Gumi. Newsis (2012).
<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=003&aid=0004747844>
22. D. W. Kim, Accident of the sulfuric acid spill in Sejong University, serious burns of 3 person because container explodes (2013).
http://www.cstimes.com/news/article_View.html?idxno=109228
23. Teck, Material safety data sheet-Sulphuric acid (2012).
24. Ministry of Education and Science Technology, Report is related 'Laboratory accidents have increased 11 times in 6 years' (2012).
25. Ministry of Science and Technology, A total plan about establishment of foundation and make safety environment in laboratory, pp.5-7 (2008).
26. S. I. Bak and T. H. Kim, 'Powder keg of downtown' Laboratory of University...Fire · Explosion · Leakage occurs 100 cases annually, Hankyung (2013).
<http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2013062132881>
27. National Institute of Environmental Research, The prevention ways of harmful chemical substance (2004).
28. E. N. An, Explosion accident of sulfuric acid in Sejong University...7 person burned (3 times). news1 (2013).
<http://news1.kr/articles/1246131>
29. J. S. Hyeon, Ammonia leak is 2 hours, only know Binggrae Co, ohmynews (2014).
http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0001958085
30. S. K. Kim, Explosion accident in Binggrae Co, Leakage 6 ton of ammonia...Missing person 1, injured person 3 (2014).
http://news.chosun.com/index.html?gnb_logo
31. V. I. Chernyshev and S. V. Zjuzin, Improved Start-Up for the Ammonia Oxidation Reaction (2001).
32. Korea Occupational Safety & Health Agency, Safety management of gas (2013).
33. G. H. Gang, Explosion of Binggrae Co's ice-cream plant ... Leakage 6 ton of ammonia, ENS & vop (2014).
<http://www.vop.co.kr/A00000726165.html>
34. National Institute of Environmental Research, Emergency response system of foreign country, pp. 3-8 (2002).
35. National Institute of Environmental Research, Related organization of chemicals safety management of foreign country, pp.2-5 (2014).
36. Ministry of Environment, Chemicals in the life (2005).