

사고 누출 화학물질 중 강산의 생산, 사용 현황 및 사고 사례 분석

신도연¹ · 문희선² · 윤윤열² · 윤 욱² · 이윤호^{2,3} · 하규철² · 현성필^{2*}

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부

²한국지질자원연구원 지구환경연구본부

³강원대학교 지질학과

The Current Status of Strong Acids Production, Consumption, and Spill Cases in Korea

Doyun Shin¹ · Hee Sun Moon² · Yoon Yeol Yoon² · Uk Yun² · Yunho Lee^{2,3}
Kyoochul Ha² · Sung Pil Hyun^{2*}

¹Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

²Geological Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

³Department of Geology, Kangwon National University

ABSTRACT

We reviewed literature focusing on the amounts of domestic production, distribution, and consumption of strong acids and their spill cases. In particular, we investigated the chemistry and toxicity of four strong acids classified as “accident preparedness substances,” including hydrochloric, nitric, sulfuric, and hydrofluoric acid. We recommend sulfuric and hydrofluoric acid as the chemicals of priority control based on the amounts used and toxicity. An advanced prevention/response system needs to be established along with an improved human and social infrastructure to prevent and efficiently respond to chemical accidents. Understanding the behavior and transport of spilled strong acids in the soil and groundwater environments requires a multi-disciplinary approach since they go through a variety of chemical and biogeochemical reactions with complex geomedias. However, no such research has been done in this area in Korea to the best of our knowledge. We expect the results of this study to contribute as basic data to future research.

Key words : Strong acids, Chemical accidents, Toxic chemicals, Sulfuric acid, Hydrofluoric acid

1. 서 언

1.1. 화학물질 누출 사고 개요

산업 발전과 경제 개발과 함께 사용량이 급증한 화학물질들의 누출 사고가 국내에서 빈번하게 발생하고 있다. 2012년 발생한 구미 불산누출 사고에 이어 2013년에 발생한 주요 누출 사고를 보면, 상주 염산누출 사고(2013년 1월), 청주 불산누출 사고(2014년 1월) 등 강산의 누출 사고가 빈번히 발생했으며 구미시에서만 3월에 3건의 대형 누출 사고가 발생하는 등 노후 산단의 안전성에 대한 사회적 우려가 급증하고 있다(Korea Industrial Safety

Association, 2013). 세계적으로도 1976년 이탈리아 세베소의 화학공장에서 다이옥신 누출이 일어난 바 있고, 인도 보팔에서 1984년 미국의 유니온 카바이드 공장의 메틸이소시아나 누출 사고가 발생하는 등(Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research, 2007) 유해화학물질 누출에 의한 사고는 계속하여 발생하여 왔으며 그 대책이 절실한 실정이다. 유류 및 유기용매 등 유기화학물질의 경우 누출 사례 및 대응 방안에 대해 연구가 많이 수행되어 왔으나, 산 계열 물질에 대해서는 누출 사고 증가율에 비해 그 생산량 등 취급 현황과 누출 사고 사례 등에 대해 거의 연구된 바가

*Corresponding author : sphyun@kigam.re.kr

Received : 2014. 9. 30 Reviewed : 2014. 11. 23 Accepted : 2014. 11. 23

Discussion until : 2015. 2. 28

없다. 그리하여 본 연구에서는 다양한 화학물질 중 강산에 초점을 맞추어 생산, 사용 현황 및 사고 사례를 분석함으로써 화학물질 누출 사고에 대해 체계적으로 접근하고자 하고 그에 따른 평가 및 대응기술 개발의 기초연구로 삼고자 한다.

1.2. 유해화학물질로서 강산 특성

불산 누출 사고 후 유해화학물질 관리에 대한 중요성이 환기되어 국내에서 유해화학물질관리법이 2013년 3월 23일 개정 및 시행되었다. 또한, 2013년 6월 4일 화학물질관리법이 제정되어 유해화학물질관리법은 2015년 1월 1일부터 화학물질관리법으로 개정되어 시행되었다. 현행 유해화학물질관리법에서는 각종 화학물질 중 위험성, 독성, 노출 가능성 등을 고려하여 염산, 불산 및 포름알데하이드, 유기용제 등 69개의 사고대비물질을 지정하여 관리하고 있다(동법 제38조, 동법 시행령 제21조). 이 중 산 계열 물질은 염산, 불산, 황산, 질산 등 총 4종이다. 강산은 물과 쉽게 반응하여 음이온과 수소이온으로 분해되며 독성의 주요 원인은 수소이온 증가에 따른 pH 감소 때문으로 알려져 있다. 그 외 산의 종류에 따른 독성을 살펴보면 다음과 같다.

염산은 피부에 대해 부식성이며 눈에 노출될 경우 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 쥐와 생쥐에 대한 침투 독성을 측정한 결과 NOAEL(No Observed Adverse Effect Level: 무독성량) 값이 20 mg/L으로 나타났다. 유전독성은 Ames test 결과 음성으로 나타났다(Organisation for Economic Cooperation and Development, 2002). IARC(International Agency for Research on Cancer)에 따르면 염산은 인간과 동물에게 발암성이 있다고 입증되지 않은 group 3으로 분류된다(IARC 1992-present).

질산 또한 염산과 같이 피부, 눈, 코 및 점막, 호흡기, 위장관 등 모든 접촉이 일어나는 생물 조직에 대해 부식성을 나타낸다. 생물 조직에 닿을 경우 괴사와 화상을 입힐 수 있으며, 장기간 노출될 경우 폐, 기관지, 결막 등에 염증이 발생할 수 있다(Rumack BH POISINDEX(R) Information System Micromedex, I., 2014). 발암성에 대해서는 염산과 마찬가지로 인간과 동물에 대해 발암성이 입증된 바 없다.

불산은 유리, 반도체, 컴퓨터 칩 등의 생산 공정에서 세정을 위해 이용되는 등 주로 산업에서 이용된다. 불산은 모든 생물 조직에 대해 매우 부식성이 강하여 다른 산과 달리 피부를 뚫고 조직 속으로 쉽게 침투해 강력한 독성을 일으킨다. 불산이나 고농도의 불산 증기가 피부에 닿

으면 하얗게 탈색되며 물집이 잡히고, 눈에 닿으면 각막이 파괴되거나 혼탁해진다. 만약 불산이 피부에 닿을 경우 바로 화상과 괴사가 일어나며 뼈의 칼슘이 빠져나갈 수 있다. 피부 노출이나 섭취 이후 침투에 의해 불산이 혈액 속으로 들어가면 바로 아주 심각한 저칼슘혈증이 일어나 부정맥이 발생하고 심장이 멎을 수 있다. 흡입할 경우 심각한 폐 손상과 더불어 폐부종, 기관지 폐렴이 발생할 수 있다. 이는 20% 이하의 희석된 불산이 노출되었을 경우이며, 만약 40% 이상의 불산 원액에 노출되었을 경우 이러한 반응은 더욱 즉각적인 손상과 함께 빠르게 일어날 수 있다(World Health Organization/International Programme on Chemical Safety, 1990). 발암성에 대해서는 염산, 질산과 마찬가지로 인간과 동물에 대해 발암성이 입증된 바 없다.

황산은 피부, 눈, 그리고 점막 등에 대해 부식성으로 에어로졸 형태로 급성 흡입독성에 대해 다양한 생물종을 이용한 연구 결과가 보고된 바 있다. 이는 황산의 부식성과 자극성 때문으로, 기니아피그와 토끼 등에 대한 LC50 (Lethal Concentration 50: 반수치사농도) 값이 0.37 mg/L에서 1.61 mg/L 정도로 나타났다(Organisation for Economic Cooperation and Development, 2001). 황산을 함유하고 있는 무기산 미스트에 대한 노출로 인해 발암성이 증명된 확실한 사례가 있으며, IARC에 따르면 인간에 대해 발암성이 확실한 group 1로 분류된다(IARC, 1992-present). 미국 NTP(National Toxicology Program)와 캐나다 브리티시 콜롬비아에서도 황산을 인간에게 확정된 발암물질로 분류하고 있으며 미국 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서는 동물에게 발암성이 확정된 물질(A2)로 분류하고 있다. 그러나 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부 고시 제2008-26호)에 의거 현재 우리나라는 황산을 발암성물질로 분류하고 있지 않다(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2009).

1.3. 국내 강산물질의 환경규제 현황

강산물질에 대한 국내 환경규제 현황은 구체적으로 정해진 바 없으나, 대기환경보전법에 가스형태의 불소화합물과 염화수소의 배출기준이 명시된 바 있다. 대기환경보전법 시행규칙 제15조 관련 대기오염물질의 배출허용기준에 따르면 염산의 제조시설 및 저장시설의 배출기준은 6 mg/L 이하이며, 불산처리시설 및 무기산 저장시설의 불소화합물 배출기준은 불소로서 3 mg/L 이하이다. 환경매체에서의 강산물질의 환경규제 현황을 살펴보면, 강산물질

자체는 아니지만 수소이온농도(pH)와 황산이온, 질산성 질소, 염소이온 등에 대하여 규제하고 있다. 먹는물관리법 제 5조에 따른 먹는물 수질기준 및 수질검사 등에 관한 규칙에서 먹는물의 수질기준 중 pH는 5.8 이상 8.5 이하 여야 한다고 명시하고 있으며, 염소이온은 250 mg/L 이하, 황산이온은 200 mg/L 이하, 질산성 질소는 10 mg/L 이하 여야 한다. 지하수의 경우 지하수를 음용수로 사용하는 경우는 먹는물 관리법을 따르게 되어 있으며, 생활용수, 농·어업용수, 공업용수로 사용하는 경우 지하수법을 따른다. 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제 11조에 따른 지하수의 수질기준에는 생활용수, 농·어업용수, 공업용수 각각 pH가 5.8-8.5, 6.0-8.5, 5.0-9.0 사이여야 하며 질산성 질소는 각각 20, 20, 40 mg/L 이하, 염소이온은 250, 250, 500 mg/L 이하여야 한다고 명시되어 있다. 토양의 경우 토양환경보전법 시행규칙 제1조의2 관련 토양오염물질에 불소화합물이 포함되어 있고 제1조의5 관련 토양오염우려기준에 불소화합물의 농도가 1지역, 2지역, 3지역에서 각각 400, 400, 800 mg/kg 이하여야 한다고 명시하고 있으나 이는 불산 등에 의한 오염보다는 유무기 불소화합물을 주요 대상으로 하고 있다. 이러한 환경규제 현황을 볼 때, 강산 누출 사고 발생 시 환경오염 기준을 준수하기 위해서는 pH 변화와 강산 유래 음이온 중 질산성 질소의 농도를 중점적으로 관리할 필요가 있다고 판단된다.

2. 국내 화학물질 생산, 유통 및 사용 현황

2.1. 국내 화학물질 생산, 유통 및 사용 현황 개요

화학물질은 산업과 과학기술의 발전에 의해 점점 종류와 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 현재 전 세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 12만여종에 이르며 매년 2천여종의 새로운 화학물질이 개발되어 상품화되고 있고, 향후에도 화학산업의 지속적인 성장이 예상되고 있다. 국내에서는 4만종 이상의 화학물질이 유통되었거나 유통되고 있고, 매년 300여종 이상이 새로이 국내시장에 유입되는 등 화학물질의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 환경부에서는 화학물질을 유해화학물질관리법에 명시되어 있는 유독물 1551종, 취급제한물질 58종, 취급금지물질 101종, 사고대비물질 69종, 관찰물질 66종으로 분류하여 관리하고 있으며, 유독물 사고대비물질 유출 사고 발생 시에는 중앙재난대책본부의 지원기관 역할을 수행하고 있다 (Ministry of Environment, 2014).

2006년 환경부의 제3차 화학물질 유통량 조사 결과 (Ministry of Environment 2007)에 의하면, 화학물질을

Table 1. The number of chemical handling companies and categories of business

연도	순위	대상업종	업체수
2006	1	조립금속제품제조업	2,303
	2	화합물 및 화학제품제조업	2,106
	3	고무 및 플라스틱제품제조업	1,160
2002	1	조립금속제품제조업	1,194
	2	화합물 및 화학제품제조업	1,696
	3	섬유 제품 제조업 (봉제의복제외)	933
1998	1	조립금속제품제조업	1,729
	2	화합물 및 화학제품제조업	1,450
	3	기타사업관련서비스업	1,546

취급하는 것으로 유통량을 보고한 업체는 16,404개 업체로 2002년 대비 2,631개 업체(19.1%)가 증가하였으며, 2006년 국내 유통된 화학물질 종류는 25,449종으로 2002년 대비 3,936종(18.3%)이 증가한 것으로 조사되었다. 이는 2002년 조사와 2006년 조사 사이에 국립환경과학원의 화학물질 취급업체 통합DB 구축으로 인하여 국내에서 화학물질을 취급할 가능성이 있는 모든 업체가 데이터베이스화되었기 때문이다. 환경부백서에 의하면 국내 유독물의 유통은 점차 증가하고 있으며 증가되는 유독물량에 비례하여 사고 발생 빈도도 함께 증가하고 있는 실정이다 (Ministry of Environment, 2014).

2006년과 2010년 제3차와 제4차 화학물질 유통량 조사 결과(Ministry of Environment, 2012) 중 유통량을 보면, 1998년도 화학물질유통량과 2002년도 화학물질유통량은 각각 175.4백만톤과 287.4백만톤으로 조사되었고, 2006년도 화학물질유통량은 417.9백만톤으로 조사되었으며 2010년도 총 화학물질유통량은 2006년도 대비 3.5% 증가한 433백만톤이었다. 또한 화학물질 취급업체 수 상위 업종 현황을 보면, Table 1에서 볼 수 있듯이 총 3차의 조사를 통틀어 조립금속제품제조업과 화합물 및 화학제품제조업이 상위임을 알 수 있다. 업종별 화학물질 생산량을 살펴보면 코크스, 석유정제업이 총 생산량의 44.5%인 127.4백만톤을 생산하여 1위를 나타냈으며, 다음으로 화합물 및 화학제품 제조업이 36.2%인 103.6백만톤을 생산하고, 비금속광물제품 제조업이 10.6%인 30.3백만톤을 생산한 것으로 조사되었다. 이들 3개 업종이 전체 생산량의 91.4%인 261.4백만톤을 생산하며, 2002년도 화학물질 유통량조사에 이어서 2006년도 유통량조사에서도 이들 3개 업종이 화학물질 제조업의 주요 업종으로 조사되었다. 코크스, 석유정제업은 수입량을 고려한 경우에도 전체 생산량과 수입량의 50% 이상을 차지하며 국내 유통량에 커다란 영

Table 2. Production and usage of acidic chemicals

물질	생산						사용		
	사업장 (개소)		생산량 (톤)			사업장 (개소)		사용량 (톤)	
	전체	내수 사업장	전체	비율 (%)	내수량	비율 (%)	전체	전체	비율 (%)
황산	159	28	5,351,519	68.5	3,675,362	67.9	2,162	2,919,045	55.4
염산	110	14	1,416,272	18.1	753,086	13.9	1,618	1,342,619	25.5
질산	82	9	1,020,503	13.1	968,879	17.9	1,078	956,054	18.1
불산	38	2	25,862	0.3	12,362	0.3	270	50,496	1.0
계	389	53	7,814,156	100	5,409,689	100	5,128	5,268,214	100

항을 끼치고 있는 것으로 확인되었다. 화학물질을 용도별로 분류하면, 생산하는 화학물질의 종수는 계면활성제(241종), 염료안료(187종), 안료/도료/잉크/첨가제(180종) 순으로 나타났고, 생산량은 연료(109.6백만톤), 합성출발물질 및 중간체(37.4백만톤), 합성수지(15.1백만톤) 순으로 나타났으며, 생산 제품수는 계면활성제(979개), 합성수지(920개), 염료안료(417개) 순으로 나타났다.

지역별 사고대비물질 생산 및 사용 현황을 분석한 결과, 7개 유역(지방)환경청 중 낙동강유역환경청이 사고대비물질을 생산하거나 사용하는 업체가 가장 많은 116개 사업장으로 나타났고, 그 중 황산의 생산량과 벤젠의 사용량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 반면에 원주지방환경청의 경우는 사고대비물질을 생산하거나 사용하는 업체가 17개 사업장으로 가장 적은 것으로 조사되었다. 화학물질 배출·이동량(PRTR) 정보시스템(<http://ncis.nier.go.kr/prtr/>)을 이용하여 산단별 배출량을 분석한 결과, 2008-2012년 동안 평균 울산미포국가산단이 7,373톤/년(전국대비 14.9%)으로 가장 많았으며, 옥포국가산단(3,050톤/년), 죽도국가산단(1,900톤/년)등이 그 뒤를 이었다. 이러한 국가산단들은 대부분 조성된 지 40년 이상 경과되었으며, 화학물질을 다량 취급하고 있어 화학사고 발생 위험이 상존하고 있다.

2.2. 산 계열 물질의 생산, 유통 및 사용 현황

전체 사고대비물질 산 계열 물질의 현황을 분석한 결과는 다음과 같다(National Institute of Environmental Research, 2013) (Table 1). 사고대비물질 69종 전체의 생산량은 약 26.7 백만톤 이고 4종의 산 물질의 생산량은 약 7.8 백만톤 으로 69종 중 4종 산이 차지하는 비율은 약 29%로 높게 나타났다. 개별 산 물질에 대한 비율은 황산이 55.4%로 사용량이 가장 많고, 생산량 부분과 유사한 비율 분포를 나타냈다. 물질별로는 염산(25.5%), 질산(18.1%), 불산(1.0%) 순으로 나타났다. 산 물질을 생산/사

용하는 사업체수 모두 황산이 가장 많았고, 염산, 질산, 불산 순으로 사업장 수가 많았다. 그러므로 산의 유해성과 사용량 등을 모두 고려했을 때 사고대비물질 중 산 중에서 황산과 불산을 우선적으로 관리할 필요가 있다.

물질별로 사용량이 많은 대표 업종을 업종별 현황을 살펴본 결과, 황산의 경우, 주로 복합비료제조와 석유화학계 기초 화학물질 제조업에서 사용되었다. 염산은 주로 석유화학계 기초화학물질 제조업과 냉간 압연 및 압출제품 제조업에서 사용되었으며, 질산은 기타비료 및 질소화합물 제조업, 석유화학계 기초화학물질 제조업이 주 사용 업종이었다. 불산을 사용하는 업체는 대부분이 분류 안 된 화학물질 제조업으로 구분되었으며, 연마제 제조업에서도 사용되는 것으로 나타났다. 용도별 취급 현황을 살펴보면, 4종 산 중 취급량이 가장 많은 황산의 경우 전체 사용량 중 44%가 복합비료 제조업에서 비료를 제조하는 용도로 사용되었고, pH조절제(22%), 용매제(10%) 순의 용도로 사용되었다. 염산은 pH조절제(29%), 2가지 이상 혹은 특정용도로 구분하기 어려운 기타(22%) 용도로 가장 많이 사용되고, 산화제·노화방지제·안정제(12%), 이온교환수지(9%) 순의 용도로 사용되는 것으로 나타났다. 불산은 전자재료공업 및 반도체 제조과정 중 세정과정에 많이 사용되어 전체 사용량 중 55%가 해당하였으며, 합성출발물질·중간체(15%), 기타(13%) 순의 용도로 사용되는 특성을 나타내었다. 질산은 석유계 화학물질과 기타 비료 및 질소화합물제조 등 여러 분야의 업종에서 사용되어 용도 분포 또한 특정 용도보다는 기타 부분이 55%를 차지하였으며, 산화제·노화방지제·안정제(34%) 용도로 사용되는 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2011; National Institute of Environmental Research, 2013).

3. 국내 강산 누출 사고 발생 현황

대부분의 유해화학물질은 강한 독성과 확산성으로 인해

Table 3. The number and the cause of chemical spill

(unit: case)

연도	계	사업장 내 유출	운반차량 사고	폭발 등에 의한 유출
2007	16	7	5	4
2008	17	10	5	2
2009	16	8	7	1
2010	15	5	9	1
2011	12	4	4	4
2012	9	4	1	4
2013	87	49	21	17

Table 4. Significant chemical spill cases in recent years

업체명	발생일	피해현황	사고물질	사고원인
한국실리콘	'12. 6. 7	부상 62명	삼염화실란	배관이송중 누출
LG화학	'12. 8. 23	사망 8명, 부상 3명	페다이옥신	유기용제배관 이송 중 폭발
휴비스글로벌	'12. 9. 27	사망 5명, 부상 18명, 병원치료 12,000명	불화수소	이송준비 중 누출
영암산단	'12. 10. 31	사망 2명, 부상 8명	인화성가스	용접작업 중 폭발
웅진폴리실리콘	'13. 1. 12	인명피해없음	염산	배관파손으로 누출
지디	'13. 1. 15	인명피해없음	혼산	플랜지 파손 누출
삼성전자	'13. 1. 27	사망 1명, 부상 4명	불산(50%)	배관 수리 중 누출
LG실트론	'13. 3. 2	인명피해없음	혼산	수리 후 재가동 중 누출
구미케미칼	'13. 3. 5	부상 1명, 병원치료 160명	염소	정화장치 고장으로 인한 역류누출
포스코엠텍	'13. 3. 6	인명피해없음	이산화질소가스	원료 혼합과정 중 누출
대림산업	'13. 3. 14	사망 6명, 부상 11명	폴리에틸렌분진	사일로 보수작업 중 폭발
삼성디스플레이	'13. 3. 21	인명피해없음	삼불화질소	배기덕트 교체작업 중 누출
SK하이닉스	'13. 3. 22	인명피해없음	염소가스	배관 지지대 수리 중 누출
LG실트론	'13. 3. 22	인명피해없음	폐혼산	배관 균열로 누출
포스코	'13. 3. 22	인명피해없음	고열코크스	송풍관 탈락으로 코크스비산화재
삼성전자	'13. 4. 2	부상 3명	불산(50%)	탱크교체작업 중 누출
비용도 산단	'13. 5. 18	인명피해없음	황산	탱크 이송밸브 이음부 누출
삼성반도체	'13. 7. 25	부상 5명	암모니아	

누출 사고 발생시 인명 피해와 주변 환경오염을 일으킨다. 2007년부터 2013년까지 조사된 화학물질관련 사고 현황을 Table 3에 나타내었다(Ministry of Environment, 2014). 2013년 화학물질관련 사고가 증가한 것은 2012년 구미 불산누출 사고로 화학물질 관련 사고에 대한 국민적 인식이 확산됨에 따라 신고 건수가 증가하였으며 유독물 업체 관리가 엄격해졌기 때문에 사고 확인이 용이해졌기 때문이다. 화학물질관련 사고 중에서도 Table 4에 나타난 최근 화학물질 누출 사고 빈도를 보면 대부분 강산의 누출에 의한 화학사고의 발생이 주를 이루고 있음을 알 수 있다(Lee, 2013).

단일 산 물질의 화학사고 발생율은 전체 화학사고의 37%이고, 혼합 산 물질을 포함하면 475 건(41%)으로 산계열물질의 화학사고 발생율이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 또한 산 계열의 개별 물질별로 사고 현황을 살펴보

면, 염산이 42%로 가장 높았고, 황산이 26%, 불산이 12%, 질산 7% 순으로 사고 비율이 높았다. 이에 누출 사고 발생빈도가 높은 산 계열 물질에 대한 사고 예방과 누출 사고 발생 시 사고 대응 및 사후영향조사 준비가 더욱 중요하다(National Institute of Environmental Research, 2013).

화학사고 발생현황의 지역적 분포 특성을 유독물 실적 보고 대상 사업체의 지역적 분포현황과 비교한 결과, 화학물질 취급업체 분포 현황과 사고 발생 현황이 지역적으로 유사한 분포 형태로 분석되었다. 화학물질 취급량이 많은 사업장이 분포된 전라남도과 울산광역시에 비해 경기도의 사고 발생이 많은 것은 소규모 영세사업장이 밀집되어 있기 때문에 사고 발생 빈도가 높은 것으로 판단된다. 특히, 영세사업장의 경우는 취급시설에 대한 안전관리 및 지원이 미흡하고 취약하여 이들 사업체에 대한 집중적인

취급시설 관리가 필요할 것으로 판단된다(Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research, 2007; National Institute of Environmental Research, 2013).

화학사고의 원인은 크게 반응이상, 설비노후화, 설비결함, 운전자부주의(탱크로리 경우), 제어실패, 취급자 부주의, 기타로 분류할 수 있다. 전체 화학사고 중 취급자 부주의에 의한 안전관리 미흡 사고가 가장 많이 발생하였고, 그 외 설비결함 및 기타 순으로 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 운전자 부주의가 원인이 된 화학물질 사고 또한 전체의 약 11%를 차지하고 있다. 화학물질 사고가 발생한 시설을 중심으로 분류하면, 고정시설 사고와 이동시설 사고로 나눌 수 있다. 고정시설 사고는 저장탱크, 제조 공정 등에서 발생한 사고 등이 포함되며, 최근 2000-2006년 동안 전체 사고의 약 81%인 257건이 고정시설에서 발생하였다. 이동시설 사고는 화학물질의 운반과정에서 발생하는 사고로 화학물질 운반차량에 의한 사고가 대부분이며, 전체 사고의 약 19%인 62건의 사고가 이동 중에 발생하였다(Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research, 2007; National Institute of Environmental Research, 2013).

4. 요약 및 제언

다양한 화학물질이 유통되는 과정에서 저장 및 사용 중에 발생하는 누출 사고는 산업안전을 위협하는 요인으로 사고 발생 시 인명피해 및 재산손실과 주변 지역주민의 생활에 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 특히 지난 10년간 발생한 화학물질 누출 사고 중 산 계열 물질 사고율이 전체의 41%를 차지할 만큼 매우 높았다. 본 연구에서는 화학사고 발생 빈도가 높고 독성이 강한 강산에 대한 생산량, 유통량, 사용량 등 취급특성을 조사하고, 산에 의한 사고 사례를 물질별, 지역별, 사고 원인별로 조사하여 제시하였다.

1. 산의 유해성을 조사한 결과 염산, 질산, 불산, 황산 모두 부식성이 강하여 피부, 눈, 점막, 호흡기 등이 노출되었을 경우 심각한 괴사 혹은 화상을 입을 수 있음이 확인되었다. 또한 불산의 경우 부식성이 매우 강하여 다른 산과 달리 피부를 뚫고 조직 속으로 쉽게 침투해 강력한 독성을 일으킨다고 알려져 있으며, 황산의 경우 다른 산과 달리 IARC 발암등급 1로, 발암성이 확실한 물질로 분류되어 있다.

2. 국내 화학물질 생산, 유통 및 사용 현황을 조사한

결과 1992-2010년 화학물질 유통량 조사 결과 2010년 기준 모두 증가 추세에 있으며 조사되었으며 2010년도 총 화학물질유통량은 2006년도 대비 3.5% 증가한 433백만톤이었다. 또한 화학물질 취급업체 수 상위 업종 현황을 보면, 총 조사를 통틀어 조립금속제품제조업과 화합물 및 화학제품제조업이 상위로 나타났다. 코크스, 석유정제업은 전체 생산량과 수입량의 50% 이상을 차지하며 국내 유통량에 커다란 영향을 끼치고 있는 것으로 확인되었다.

3. 전체 사고대비물질 중 산 계열 물질인 염산, 황산, 질산, 불산의 현황을 분석한 결과 사고대비물질 69종 전체의 생산량은 약 26.7백만톤 이고 4종의 산 물질의 생산량은 약 7.8백만톤으로 69종 중 4종 산이 차지하는 비율은 약 29%로 높게 나타났다. 개별 산 물질에 대한 비율은 황산이 55.4%로 사용량이 가장 많고, 염산(25.5%), 질산(18.1%), 불산(1.0%) 순으로 나타났으며 이 순서는 생산량, 사용량, 제조업체 수 모두 유사하게 나타났다. 그러므로 독성과 사용량 측면을 모두 고려했을 때 황산과 불산을 우선적으로 관리할 필요가 있다.

4. 화학물질관련 사고 중에서도 최근 강산의 누출에 의한 화학사고의 발생이 증가하고 있음을 확인하였으며, 화학물질 취급업체 분포 현황과 사고 발생 현황이 지역적으로 유사한 분포 형태로 분석되었다. 화학사고의 원인은 크게 반응이상, 설비노후화, 설비결함, 운전자부주의(탱크로리 경우), 제어실패, 취급자 부주의, 기타로 분류할 수 있으며 취급자 부주의에 의한 안전관리 미흡 사고가 가장 많이 발생하였고, 그 외 설비결함 및 기타 순으로 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 화학물질 사고가 발생한 시설을 중심으로 분류하면, 고정시설 사고와 이동시설 사고로 나눌 수 있는데, 최근 2000-2006년 동안 전체 사고의 약 81%인 257건이 고정시설에서 발생하였으며 전체 사고의 약 19%인 62건의 사고가 이동 중에 발생하였다.

최근 잇따라 발생하는 중대산업사고를 포함한 화학사고를 조기에 차단하고 중장기적으로 화학사고의 위협에서 벗어나기 위하여 본 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 선진 사고예방/대응시스템을 갖추고 인적, 제도적 인프라를 시급히 보강해야 할 필요가 있다. 유해성과 사용량 등 위험성이 큰 물질을 중심으로 현실에 맞게 제도를 확대하고, 화학물질 사고 대응예방 기술을 개발하고 방재시스템을 구축하여 국가 경쟁력을 제고하고, 안전문화를 확산시켜 국민 불안감을 불식시켜야 한다. 이를 위해 유해화학물질 라이프 사이클에서 사고 예방, 사고 발생 시 초기 감지, 효율적 대응, 오염 복원 등 누출 사고와 관련된 단계별 대응 전략을 수립하고 전략별 연구를 수행할 필요가 있다.

특히 사고 발생 시 화학물질의 토양 및 지하누출된 유해 화학물질은 공기 중 확산 외에도 지질매체와 다양한 반응 과정을 거치며 토양 및 지하수 환경으로 이동 및 확산되며, 화학물질의 토양 및 지하수 내 이동·확산에 관여하는 과정들은 토양 광물특성 및 지하수와의 반응 과정의 복잡성 때문에 다학제적 연구에 의해 접근할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 “사고 누출 화학물질의 지하수·토양환경 영향 평가기술 개발(GP2014-020)” 과제의 재정적 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

References

- International Agency for Research on Cancer (IARC), 1992-present, Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 54 206.
- Korea Industrial Safety Association (KISA), 2013, Summary of chemical spill cases in 2013, The safety technology, 192, 8-12.
- Korea Occupational Safety and Health Agency, 2009, Patterns of chemicals distribution and usages - Sulfuric acid.
- Lee, C.H., 2013, Recently the Issue of Chemical Accidents and Preventive Measures, *J. Labor Rev.*, 100, 18-25.
- Ministry of Environment (MOE), 2007, The third census of hazardous chemical production, distribution, and consumption.
- Ministry of Environment (MOE), 2011, Workplaces Handling Toxic chemicals.
- Ministry of Environment (MOE), 2012, The fourth census of hazardous chemical production, distribution, and consumption.
- Ministry of Environment (MOE), 2014, 2014 White Paper of Environment.
- Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research (NIER), 2007, Chemical Spill Casebook (#11-1480523-000205-01).
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2013, A study on the method of environmental impact investigation by accident of acidic chemicals (#11-1480523-001642-01).
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2001, SIDS Initial Assessment Reports for Sulfuric Acid (CAS No: 7664-93-9) for 11th SIAM.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2002, Screening Information Data Set for Hydrogen Chloride, CAS # 7647-01-0. 4-5.
- Rumack BH POISINDEX(R) Information System Micromedex, I., 2014, CCIS Volume 162. Englewood, CO, Hall AH & Rumack BH (Eds).
- World Health Organization/International Programme on Chemical Safety, 1990, Poisons Information Monograph, 268. 1-25.