

## 이상반응 화학사고 정보제공 개선 연구

# Investigation Study of Information Improvement in Chemical Accident by Extraordinary Chemical Reaction

Sungbum Kim<sup>a,1</sup>, Myunghee Lim<sup>a,2</sup>, Joongdon Park<sup>b,\*</sup>

a Yeongsanriver Environmental Office, Joint Inter-agency Chemical Emergency Preparedness Center, Yeosu Jeonnam 555-080, Republic of Korea

b National Institute of Chemical Safety, Accident Response Coordination Division, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Dajeon 305-343, Republic of Korea

### ABSTRACT

Hydrofluoric acid leakage accident was occurred on Dec. 2012 in Hube Global. That accident has bought many changes of response in national organizations. Chemical companies respond quickly even when small quantities leakage of chemicals and response agencies were put a lot of manpower and equipment in incident response. Incident response to the response activities of the agents is difficult if the accident substance was not identified. Unknown chemicals can be generated by the water for fire-fighting during the emergency response process. In this case, an additional information was needed for response of chemical accident to prevent of great damage. In this study, we investigated the improvement of chemical accident information by extraordinary chemical accident.

### KEYWORDS

Extraordinary Reaction  
Chemical Accident  
Secondary Products

'12년 9월 발생한 ㈜휴브글로벌 불산사고를 계기로 화학사고를 대하는 국민과 대응기관의 인식은 많은 변화를 가져왔다. 화학물질 취급업체는 소량 누출시에도 신속하게 대응기관에 신고절차를 이행하고, 대응기관은 사고대응에 많은 인력과 장비를 투입하였다. 많은 화학사고 중 현장대응요원의 대응활동을 어렵게 하는 사고는 사고발생물질을 확인하기 어려운 경우와 혼합 화학물질, 대응과정 중 방재활동 즉, 소화용수 등에 의해 2차로 오염물질이 생성되는 현상이다. 이러한 경우에는 추가적인 대응정보가 필요하다. 본 연구에서는 대응활동시 이상반응에 의한 화학사고의 확대 또는 2차 생성물로 인한 피해상황을 맞이하는 대응요원에게 조금이나마 도움이 되도록 관련된 화학사고를 고찰하여 해결방안을 찾고자 한다.

이상반응  
화학사고  
2차 생성물

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-042-605-7032. Fax. 82-042-605-7035. Email. donnydonny@korea.kr

1 Tel. 82-061-690-1620 Email. bumking@korea.kr

2 Tel. 82-061-690-1623 Email. mhlhm0904@korea.kr

### ARTICLE HISTORY

Received May. 12 2015

Revised May. 26 2015

Accepted Jun. 17 2015

## 1. 서론

화학물질은 우리에게 편리함을 제공하지만, 자칫 잘못하여 사고로 이어지면 다수의 인명피해와 환경오염을 유발할 수 있다. 지속적으로 발생하는 화학물질로 인한 사고는 국민들에게 화학물질에 대한 위험성을 부각시키고 있다. 또한 사고를 대응하는 기관에서는 누출되는 화학물질을 신속하게 확인하고, 주민 거주지역의 오염농도를 확인해야 한다. 그러나 여러 화학물질이 혼합된 물질 또는 제품, 초동대응 시 분무된 물과의 반응하여 발생된 2차 생성물 등으로 인해 화학물질을 확인하기 어려운 화학사고가 종종 발생한다. 따라서 전문적인 대응활동과 사고수습을 위해서는 누출된 화학물질 확인하기 위한 체계적이며, 과학적인 절차가 필요하다.

## 2. 연구 목적

정부는 화학사고를 신속하게 대응하기 위해 정부3.0 협업기관인 화학재난합동방재센터를 전국 주요 6개 산업단지에 설치하였다. 이로 인해 신속한 사고전파와 효율적인 사고대응 활동이 이루어지고 있다. 합동방재센터 내 환경팀은 사고 발생 시 출동과 더불어 각종 탐지장비로 화학물질의 농도를 측정한다. 단일물질이 누출되는 경우, 신속한 탐지활동 전개가 용이하나, 혼합물질 또는 방제활동을 통한 2차 반응생성물은 사고물질 확인을 어렵게 한다. 화학사고 현장에서 혼합물질 또는 반응생성물의 확인을 위해서 탐지·측정장비의 효율적인 대응절차와 더불어 반응생성물 확인방법 정립 및 개선을 통해 주민과 환경의 보호가 필요하다. 본 연구의 목적은 이상반응을 통한 사고물질 또는 대응활동을 통해 발생하는 2차 반응생성물 정보를 신속하고, 과학적으로 제공하는 절차를 확립하는 것이라 할 수 있다.

## 3. 연구내용

### 3.1. 이상반응 화학사고 발생현황

‘05년부터 ‘12년까지 화학사고는 연간 약 20건 내로 발생하였다. ‘13년에 87건, ‘14년은 104건으로 급격하게 사고 발생수가 증가하였다. 하지만 이러한 현상은 화학사고가 비약적으로 증가하기 보다는 이전에는 화학물질 취급사업장에서 간단하게 처리하는 형태의 누출상황을 모두 신고하면서 사고통계가 늘어 난 형태이다. 직접적인 계기는 ‘12년 9월 27일 발생한 불산사고가 주요하게 작용하였다. 다음 Fig. 1에 과거 10년간의 화학사고 발생현황을 나타내었다.(MEV, 2014)

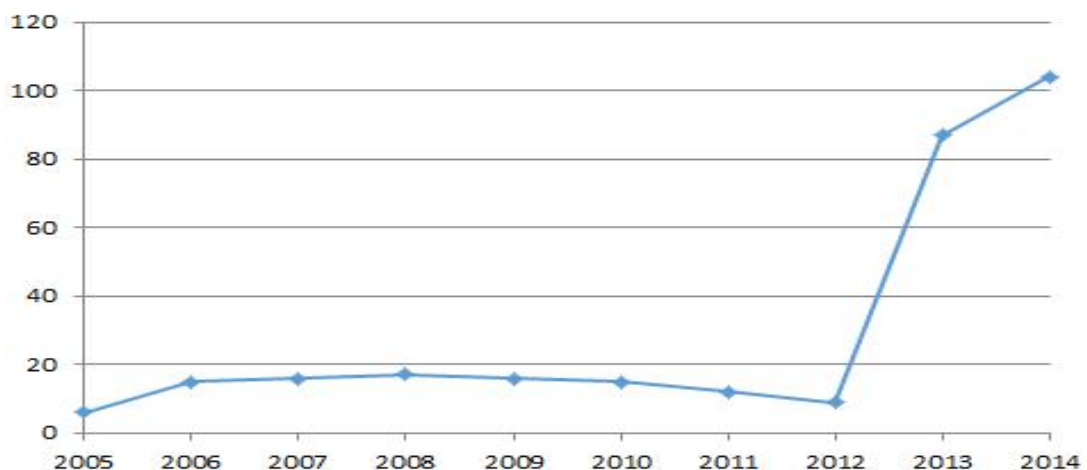


Fig. 1 Status of Chemical Accident(Annual)

화학사고 발생유형은 크게 유출/누출, 화재, 폭발, 이상반응, 복합사고 등으로 각각 구분된다. 화학사고중 많이 발생하는 유형을 살펴보면 유출/누출, 폭발, 화재, 이상반응 순이었다. 이중 이상반응 화학사고는 '09년과 '12년에 각각 1건씩 발생하였으며, '13년 4건, '14년 6건으로 증가하는 상황을 보이고 있으며, Fig. 2의 과거 10년간의 화학사고 발생유형을 통해 확인 할 수 있다.(MEV, 2014)

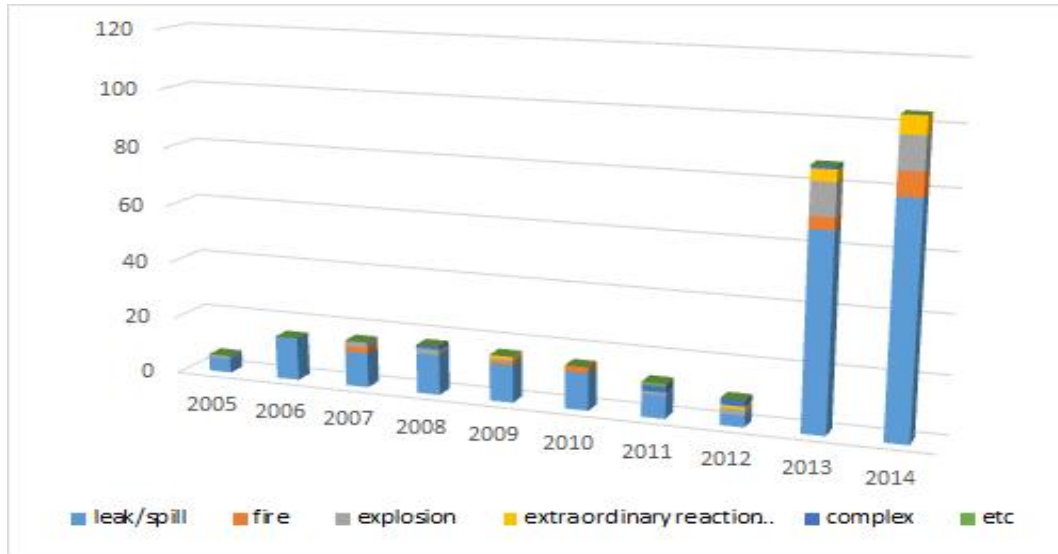


Fig. 2 Status of Chemical Accident(Accident Type)

### 3.2. 이상반응 화학사고 피해현황

Fig. 3에 화학사고를 통해 나타나는 인명피해 현황을 사망과 부상으로 분류하여 나타내었다. 사망자는 '08년에 3명, '11년에 6명 발생에서 '12년 11명, '13년 11명으로 증가하였다. '12년에 OO업체 불산 취급과정에서의 누출사고와 '13년에 OO업체 대정비 기간 중 폭발사고로 각각 5명, 6명의 인명피해가 발생하면서 '12년과 '13년은 전체적으로 사망자가 증가하였다. '14년에는 사망자가 4명으로 감소현황을 보였다. 반면, 부상자는 '05년, '06년 60여명 이상 발생하다가 지속적인 감소현상을 보였으나, '12년 67명, '13년 70명으로 증가하다 '14년에 234명으로 확인되었다. 종합적으로 살펴보면, 인명피해 중 사망자는 감소하는 반면, 부상자는 지속적인 증가현상을 나타내고 있으며, 좌측 수치는 부상자 현황을 우측수치는 사망자 수치를 각각 보여주고 있다.(MEV, 2014)

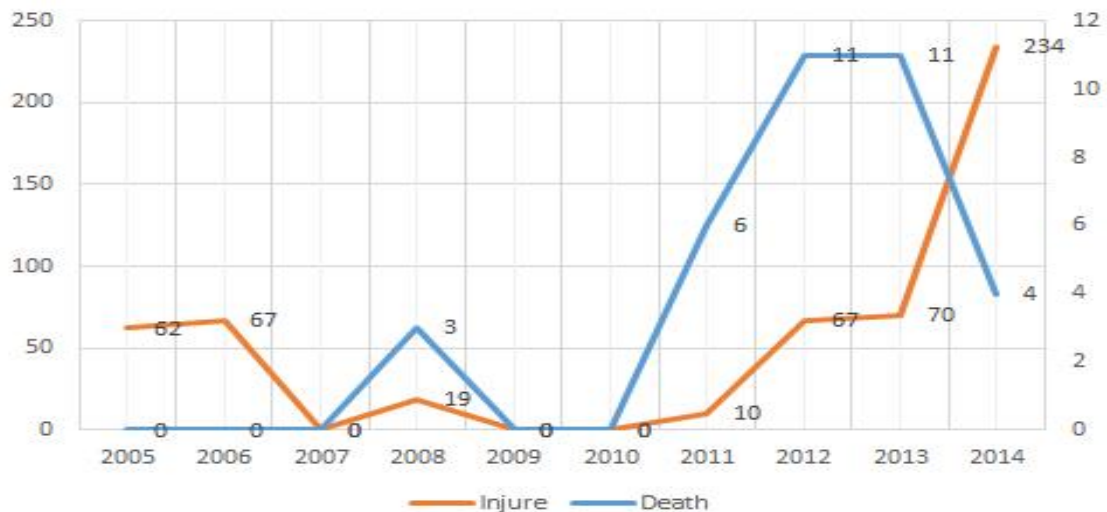



Fig. 3 Chemical Accident Death & Injure Status

이상반응 화학사고 발생현황에서 확인하였듯이 '14년까지 발생건수는 총 12건으로 사망자가 발생하지 않았으며, 부상자와 환경적 피해 즉, 대기 중 누출된 화학물질이 확산된 형태를 보였다. 누출된 화학물질의 확산은 사고업체 인근에 거주하는 다수의 주민과 근로자의 대피를 동반함으로써 보이지 않은 피해현황이 존재하나, 직접적인 확인은 어려운 실정이다. 또한 이상반응 화학사고 발생업체 대부분이 중소기업체로 조사되었으며, 12건의 화학사고중 1건을 제외한 대부분이 작업하는 근로자의 부주의로 발생하였다.

### 3.3. 화학사고 대응제공

기존 화학사고 발생 시 대응기관(환경)에 사고현황이 접수되면 사고경위 파악과 더불어 사고물질 확인을 통해 물질의 독성을 확인한다. 사고물질과 업체현황이 확인되고 동시에 현장에 출동하는 대응기관에 사고물질의 대응방법 즉, 누출시 방제방법, 인체유해성 등을 신속하게 제공한다. 또한, 사고물질의 유출/누출여부를 확인하여 수계로의 유입여부를 확인하는 절차로 대응활동이 순차적으로 전개된다. 동시간대에 화학물질사고대응정보시스템 결과를 통해 사고물질의 확산형태를 파악하며 사고현장에 제공하여 사고물질 측정과 주민대피 판단 자료로 활용할 수 있게 한다. 사고상황 전개와 더불어 환경관련기관은 현장에 출동하여 상황확인과 위험성평가를 통해 사고지역 인근 측정활동과 주민거주지역의 안전확인절차를 진행한다. 환경관련기관의 기능 중 핵심은 주요 사고다발물질의 정보제공과 더불어 사고대응 시 발생할 수 있는 2차 생성물에 대한 정보도 확인해주어야 한다. 다음 Fig. 4에는 대응기관에서 제공하는 사고물질 정보(사고대비물질 키인포가이드)현황으로 대표적인 사고다발물질 중의 하나인 염산의 정보를 나타내었다. 주요 내용은 물리화학적 특징(분자량, 색상, 냄새, 인화점, 발화점 등), 작업장 허용노출기준, 인체노출 유해성/증상, 주요용도, NFPA코드, 물질분류 및 표시, 위험, 화재진압요령, 누출방제요령, 노출 시 응급조치 요령 등이 포함되어 있다.(NICS, 2014)

구조		CAS번호	7647-01-0					
	국문유사명	염산, 염화수소산						
	영문유사명	Hydrochloric acid, Hydrochloride, Anhydrous, Chlorohydric acid, Hydrogenchloride						
	화학물질군	무기 비산화성 산류						
	유해화학물질관리번호	97-1-203(유독물)						
	UN번호	1789(soln), 1050(gas)						
	ERG대응지침번호	액체: GUIDE 157 (Toxic and/or Corrosive : NON-combustible/Water-sensitive) 기체: GUIDE 125(Gases - Corrosive)						
물리화학적 특성								
상태: 기체, 액체(압축액화가스)	옥탄올/물 분배계수(logKow): 0.25							
색상: 무색	인화점: -							
냄새: 자극적인 냄새	발화점: -							
분자식: HCl	폭발한계: -							
분자량: 36.46	용해도							
pH: < 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물: 가용성(6.73x10<sup>2</sup> g/L @ 30 °C), 잘 녹음 ⇒ 생성물: 강산 수용액</li> <li>• 용매: 메탄올, 에탄올, 에테르에 가용</li> </ul>							
끓는점: -85.05 °C @ 760 mmHg	<b>작업장 허용노출기준</b>							
증기압: 35,424 mmHg	<b>일반 인구집단 대상 급성노출기준</b>							
밀도: 1.639x10 <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [노동부]TWA: 1 ppm, 1.5 mg/m<sup>3</sup></li> <li>• [노동부]STEL: 2 ppm, 3 mg/m<sup>3</sup></li> <li>• [NIOSH]TWA: -</li> <li>• [NIOSH]STEL: -</li> <li>• [ACGIH]TWA: -</li> <li>• [ACGIH]STEL: -</li> <li>• [OSHA]TWA: 5 ppm, 7 mg/m<sup>3</sup></li> <li>• [OSHA]STEL: -</li> </ul>	노출 기준	A EGL-1		A EGL-2		A EGL-3	
비중: 1.187 @ -85 °C(물=1)		10분	1.8	2.7	100	150	620	920
증기밀도: 1.268(Air= 1)	30분	1.8	2.7	43	64	210	310	
	60분	1.8	2.7	22	33	100	150	
	4시간	1.8	2.7	11	17	26	39	
	8시간	1.8	2.7	11	17	26	39	
용도	금속처리제, 폐수중화, 양조산업, 피혁, 아교 생산, 설탕/오일류/지방류/왁스 정제							
노출경로	인체노출 유해성 / 증상							
흡입	자극, 화상, 궤양, 기침, 숨막힘, 코, 인후 및 상기도 염증, 두통, 현기증, 마비, 폐부종, 혼수							
피부	자극, 발적, 통증 및 심한 피부 화상, 피부 변색, 궤양							
안구	자극, 화상, 통증, 눈물 분비, 빛에 민감, 시력의 손상 및 상실, 시야 확보 저하							
경구	구강, 인후, 식도 및 소화관에 통증과 화상, 오심, 구토, 설사, 저혈압, 혼수상태, 의식착란							



🇰🇷 국내규제		유독물, 사고대비	-	노출, 작업, 관리	독성
<b>NFPA 코드</b> 		<b>물질분류 및 표시</b> 			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건강: 3(매우 유해, 전신보호복 착용)</li> <li>· 화재: 0(연소성이 없는 물질)</li> <li>· 반응: 1(온도상승 및 가압 시 불안정, 물과 반응하여 약간의 에너지 방출)</li> <li>· 특수: -</li> </ul>		신호어: 위험 유해-위험문구: H280, H314, H331 예방조치문구: P260, P264, P271, P280, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P304+P340, P305+P351+P338, P310, P311, P321, P363, P403+P233, P405, P410+P403, P501			
위험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 독성: 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 증기는 자극성과 부식성이 매우 강함</li> <li>· 비가연성 물질로 타지는 않지만, 열에 의해 분해하여 부식성/독성 증기를 생성할 수 있음</li> <li>· 물과 격렬하게 반응하여 열과 독성/부식성 증을 생성</li> <li>· 혼합금지: 소듐, 인화칼슘, 수산화물, 산화제, 염기, 금속, 아민(금속 접촉 시 인화성 수소 가스 방출)</li> <li>· 연소/열분해 생성물: 이산화탄소, 인화성 가스, 자극적/독성 흡과 가스(염소가스, 수소가스)</li> <li>· 물과 반응 시 생성물: 강산 수용액</li> </ul>				
	<b>화재 진압 요령</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탱크화재의 경우, 최대한 먼 곳에서 무인호스지시대 또는 방수포로 진압</li> <li>· 분무/무상 주수, 일반포말, 내알코올포 사용, 직사 주수는 금함</li> <li>· 배출안전장치의 소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우는 즉시 철수</li> <li>· 탱크가 화재에 휩싸였을 경우에는 접근 금지</li> <li>· 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단. 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단</li> <li>· 용기내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 실린더는 전문가가 처리</li> <li>· 소화제: 물, 일반적인 포말, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소</li> </ul>			<b>화재동반 운송사고 발생 시 대피거리</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 액체: 반경 0.8 km</li> <li>· 기체: 반경 1.6 km</li> </ul>
누출 방제 요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 증기를 줄이고 증기구름의 이동억제를 위해 물 스프레이 또는 물분무 사용</li> <li>· 마른 흙, 마른 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 확산 및 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮을 것</li> <li>· 환기 강화, 가스 축적 가능성이 있는 밀폐공간에는 들어가지 말 것</li> <li>· 중탄산나트륨, 탄산칼슘, 비가연성물질(건토, 건사, 질석 등)로 덮어 흡수</li> <li>· 방제약품: 중탄산나트륨, 탄산칼슘, 석회석, 가성소다, 비가연성 물질</li> <li>· 보호장비: 양압의 자급식 공기호흡기, 내화학성 보호복</li> </ul>				
				<b>초기이격거리</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 액체: 반경 50 m</li> <li>· 기체: 소규모: 반경 30 m 대규모: 반경 60 m</li> </ul>	
<b>노출경로</b>		<b>응급조치</b>			
흡입	신선한 공기, 산소공급, 적절한 장비를 이용한 인공호흡(피해자가 물질을 섭취하거나 흡입한 경우 구강 대 구강 인공호흡은 피할 것), 신속히 병원으로 이송				
피부	다량의 미지근한 물과 비누를 사용하여 적어도 15분 정도 세척, 오염된 옷과 신발을 제거, 병원 이송				
안구	눈꺼풀을 위아래로 들어 올리고 20-30분간 다량의 물 또는 생리식염수로 세척, 병원 이송				
경구	구토방지, 무의식 시 아무것도 주지 말고, 기도를 열고 한쪽 옆으로 머리를 몸 보다 낮게 하여 놓일 것. 유의식시 입을 행구고 천천히 음료(물 또는 우유) 공급, 병원 이송				

Fig. 4 Material Information Provided Content

## 4. 연구결과

### 4.1. 사고대응 정보제공 절차

환경관련기관에서는 물질정보를 기 구축한 정보집(사고대비물질 키인포가이드, Kischem, ERG 등)을 활용하여 사고대응정보를 제공한다. 이런 정보집은 화학물질에 대한 기본 물성정보와 더불어 화재진압 요령 및 누출방제 요령이 제공되어 있으며 현장 대응전략을 숙지한 대응요원의 경우에는 쉽게 활용할 수 있는 반면, 관련 정보와 지식이 부족한 대응요원이 활용하기에는 한계를 가지고 있다. 화학사고시 신속한 현장대응활동을 유도하기 위해 화학물질 정보를 제공하는 단편적인 대응절차에서 탈피하여 정보제공 이후에 사고현장을 지속적으로 확인하여 사고의 확대가능성과 확대 시 2차 반응생성물로 인한 인체 및 환경피해 현황까지 확인해야 한다. 사고대응시 방제활동에 사용되는 약품, 화재진화 및 폭발저감을 위해 사용하는 소화용수 등에 의한 2차 생성물 확인은 주민대피 등 전반적인 사고대응과 수습을 위한 중요한 절차라 할 수 있다.

### 4.2. 이상반응 화학사고 정보제공

이상반응 화학사고의 물질정보는 다양한 변수를 동반하는데 대표적인 것으로 사고 발생 초기 인명구조 활동과 사고물질 확산방지를 위해 사용하는 약품과 소화용수, 사고지역 인근에 위치한 화학물질 등을 들 수 있다. 1차적으로 대부분

의 화학사고가 화재 또는 폭발을 동반함으로 물과 반응 시 독성가스를 발생하는 물질을 확인하여 정보를 제공해야한다. 이는 사고 시 물질정보를 화학물질 유형별로 묶어놓은 유해물질비상대응핸드북 내 물에 유출시 많은 양의 흡입독성유해가스를 발생시키는 물질목록이 있으며 아래의 Table 1.에서 확인 할 수 있다.(NICS, 2014)

Table 1. Material generating toxic gas upon reaction with water

Chemicals	Generating Gas
Dimethyldichlorosilane, Ethyldichlorosilane, Ethyltrichlorosilane, Methylchlorosilane, Methyltrichlorosilane, Trichlorosilane, Trimethylchlorosilane, Vinyltrichlorosilane, Vinyltrichlorosilane(stabilized), Phosphorus pentasulfide(free from yellow and white Phosphorus), Phosphorus pentasulphide(free from yellow and white Phosphorus), Calcium phosphide, Sodium dithionite, Sodium hydrosulfite, Sodium hydrosulphite, Aluminum phosphide, Magnesium aluminum phosphide, Sodium phosphide, Acetone cyanohydrin(stabilized), Potassium cyanide, Potassium cyanide(solid), Sodium cyanide, Sodium cyanide(solid), Acetyl bromide, Acetyl chloride, Allyltrichlorosilane(stabilized), Aluminum bromide(anhydrous), Aluminum chloride(anhydrous), Amyltrichlorosilane, Antimony pentafluoride, Boron trichloride, etc.	HCl, H2S, SO2, PH3, HCN, HBr

※ 유해물질비상대응핸드북(ERG) : Emergency Response Guide Book

이와는 별도로 CAMEO에서는 2가지 화학물질의 반응을 통해 생성되는 반응물을 확인하는 프로그램으로써 화학물질이 반응하여 발생할 수 있는 가스를 예측할 수 있으며, 아래의 Table 2.에서 그 대표적인 결과를 확인 할 수 있다. 프로그램 상에 해당조건을 입력 시 결과는 “유해반응 문제가 발생”, “유해반응 문제가 특정 조건에서 발생”, “유해반응 문제가 발생하기 어려움” 3가지 형태와 더불어 반응 시 생성물질을 보여준다. 위의 2가지 형태를 화학사고 발생 시 활용한다면, 효율적인 현장대응을 유도할 수 있을 것이다.(<http://cameochemicals.noaa.gov/reactivity>)

Table 2. Reactivity prediction of water and Chemical

Chemical	Dimethyldichlorosilane	Hydrogen Fluoride, Anhydrous	Nitric Acid, Fuming	Sodium
	Incompatible Corrosive Flammable Generates gas Generates heat Toxic	Incompatible Corrosive Generates gas Generates heat Intense or explosiive reaction Toxic	Caution Corrosive Generates gas Generates heat Toxic	Incompatible Corrosive Flammable Generates gas Generates heat Intense or explosiive reaction
Water	predict reactivity may produce the following gases : Hydrogen chloride	predict reactivity may produce the following gases : Acid Fumes Chlorine Chlorine Dioxide Hydrogen Sulfide Hydrogen Bromide Hydrogen Cyanide Hydrogen Chloride Hydrogen Fluoride Hydrogen Halide Oxygen Sulfur Dioxide	predict reactivity may produce the following gases : Acid Fumes Nitrogen Oxides	predict reactivity may produce the following gases : Hydrogen

## 5. 결론

본 연구는 화학사고 발생 시 사고물질과 방제약품 또는 소화용수에 의한 2차 반응생성물 대응절차를 마련하는 내용으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화학사고 현장에서는 대응활동 시 다양한 반응생성물이 발생한다. 사업장내 유출시 방제활동을 위해 사용하는 약품과 화재진화 또는 폭발저감을 위해 사용하는 소화용수, 사고업체 보유 화학물질 등을 통해 2차 생성물이 발생할 가능성과 사업장 밖 유출은 물과의 반응을 우선 고려해야 한다. 특히, 사업장 외부로 화학물질 유출 시 화학물질에 의한 수질오염사고로 확대될 가능성이 있으므로 화학물질-물 반응성은 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 사고상황 및 사고 주변 환경을 고려하여 화학물질 정보제공 시 단편적인 물질정보 제공에서 2차 반응 생성물을 고려한 대응상황별 물질정보를 체계적이며, 과학적으로 제공해주어야 한다.

2. 국내 유통되는 화학물질의 물과 반응시 생성되는 유독가스의 확인과 취급사업장에서 주로 취급(제조·사용·보관저장·운반)되는 각각의 화학물질별 반응물을 확인하는 프로그램을 구축하여 신속하게 현장에 제공해야 한다. 이를 위해 기존 사고대비물질 키인포가이드, Kischem, ERG 등의 정보 중 사고대응에 필요한 항목위주로 가공하여 현장대응요원이 손쉽게 주고받을 수 있는 형태가 되어야 한다.

전문기관으로부터 제공되는 화학물질 사고대응 정보를 최대한 활용하여 주민과 환경피해를 저감하는 현장 대응절차 수립이 필요하며, 지속적인 연구를 통해 한국형 2차 반응생성물 확인 프로그램을 구축하여 화학사고 현장대응 환경을 개선해야 할 것으로 판단된다.

## References

- National Institute Chemical Safety. (2014), "Key Info Guide for Accident Preparedness Substances", pp.68-69.  
 Ministry of Environment. (2014), "White Paper of Environment"  
 National Institute Chemical Safety. (2014), "Emergency Response Guide Book"  
<http://cameochemicals.noaa.gov/reactivity>  
<http://kischem.nier.go.kr>