

화학재난 현장에서의 사건원인 화학물질 탐지절차 연구

On the study of Chemical Disaster Cause Chemical Detection Process

Sungbum Kim^{a,*}, Seungyoung Ahn^{a,1}, Jinhwan Lee^{a,2}

Accident Response Coordination Division, National Institute of Chemical Safety, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Republic of Korea

ABSTRACT

The event of a Chemical disaster response personnel are causative events quickly Appearance & residual contaminant concentrations, should be identified accurately. In addition, the chemical disaster response procedure appropriate progress in the field of Chemical Composition and contaminant concentrations in order confirmation is essential. Use in the field to using the characteristics of each equipment. on-Site response equipment can not verify all the chemicals, materials detection, limited by each equipment. Detection range of equipment & specific materials should be considered complementary. In this study, using the equipment on-site detection of detection kit and detector tube, electronic detection equipment utilized for the rapid response procedure for helping a person to cope.

KEYWORDS

Chemical disaster
Detector tube
Detection equipment
Response procedure

화학재난 발생시 현장대응 요원들은 사건 원인물질의 성상과 잔류오염 농도를 신속·정확하게 파악해야 한다. 또한 화학재난 현장에서의 적절한 대응절차 진행을 위해서는 화학물질의 성상과 오염농도 확인은 필수적이다. 이를 위해 현장에서 사용하는 각 장비의 특징을 알아보고자 한다. 현장대응장비는 모든 화학물질을 확인할 수 없으며, 각 장비별로 물질탐지에 제한적이다. 장비별 물질탐지 범위와 상호보완성을 고려해야 한다. 본 연구에서는 현장 활용장비인 간이탐지 키트와 검지관식 탐지장비, 전자식 탐지장비의 신속한 현장 활용을 위한 대응절차를 마련하여 현장대응에 도움을 주고자 한다.

화학재난
검지관
탐지장비
대응절차

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-042-605-7032. Fax. 82-042-605-7036. Email. bumking@korea.kr

1 Tel. 82-42-605-7030 Email. since771220@korea.kr

2 Tel. 82-42-605-7019 Email. schem72@korea.kr

ARTICLE HISTORY

Received Aug. 05, 2014

Revised Sep. 17, 2014

Accepted Sep. 30, 2014

1. 서론

화학물질은 우리에게 풍요와 휴식을 제공하기도 하지만, 자칫 잘못하면 많은 인명피해와 환경오염을 유발 할 수 있다. 화학재난으로 인해 많은 생명과 재산을 우리는 잃고 있다. 2012년 구미에서 발생한 불산사고를 기점으로 화학적 재난에서의 현장대응에 대한 인식을 바꿔놓는 계기가 되었다. 화학물질에 대한 위험성 인식과 더불어 물질확인을 위한 장비의 중요성 또한 부각되었다. 화학재난 대응기관들은 전문 대응인력 양성과 더불어 물질탐지의 정확성과 신속성을 갖춘 전문장비를 절실히 요구하였다. 화학물질 탐지를 위해 도입된 전자식 탐지를 효율적으로 운영하기 위해서는 많은 준비가 필요하다. 화학재난 현장대응요원의 전문적인 활동과 물질확인의 정확성을 제고하기 위하여 개별적인 장비의 탐지 절차를 고려한 대응절차가 필요하다.

2. 연구 목적

환경부는 화학테러 주관부처이며, 화학사고 주관부처로서 화학사건 발생시 사건원인물질 탐지·분석하여 신속히 유관 기관에 전파하여 효율적인 상황조치가 이루어지는 임무를 수행하고 있다. 이를 위해 화학물질안전원은 화학테러·사고 현장의 화학물질을 신속히 분석하고자 다수의 탐지장비를 보유 및 운영하고 있다. 현장 운영장비의 효율적인 활용과 신속한 탐지결과를 얻기 위해 사건현장에서의 운용절차가 필요하다. 화학적 재난에 신속히 대응하기 위해 환경부는 7개 유역(지방)환경청과 주요 국가산단에 6개 화학재난 합동방재센터를 설치 및 운영하고 있다. 지속적으로 발생하는 화학재난에 신속한 출동과 조기 수습을 위해 설치한 합동방재센터에 화학물질 탐지와 현장분석을 위해 각종 탐지장비를 탑재한 분석차량을 보급할 예정이다. 또한 환경부에서는 각 환경청에 신속한 화학물질 확인한 전자식 탐지장비를 지속적으로 보급하고 있다. 전자식 탐지장비의 보급과 더불어 현장대응절차 마련이 늦어진다면 화학재난상황에 있어 신속한 대응을 어렵게 할 수 있다. 신속한 임무수행과 화학재난의 조기 수습을 위해서는 현장탐지절차 즉, 화학물질 확인 절차를 마련하여 현장대응요원의 임무수행에 도움을 주고자 하였다.

3. 연구내용 및 방법

3.1 간이탐지 키트 운용현황

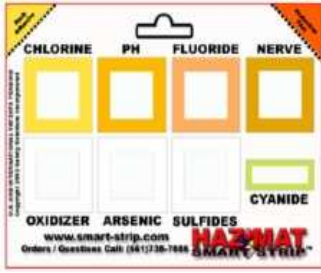
3.1.1 pH 측정기

액상의 산, 알칼리성 성질의 정도를 파악하기 위하여 pH 지시종이를 사용한다. 산, 알칼리도는 수용액상태에서 측정이 가능하다. 측정하는 도구로써 pH 지시종이는 액체를 종이에 묻혀서 그 색의 변화를 보고 산, 알칼리를 판단하나, 구체적인 농도를 제공하지 않는 한계성을 갖고 있다. 통상 산성은 붉은색을 띠는 반면 염기성은 남색/보라색을 띤다. 또한 공기중의 산·가스 존재여부도 지시종이에 물을 적시면 더 쉽게 탐지 할 수 있다.

3.1.2. Haz - mat Smart Strip

염소, pH, 황화물, 산화제, 불화물, 신경작용제, 시안화물 및 비소를 색상변화를 통해 존재 여부를 확인할 수 있다. 클립을 사용하여 부착하거나, 스티커를 붙일 수 있는 구조로 되어 있어 보호복을 착용한 상태에서 손목 및 발 등에 붙여 활용할 수 있다. 해당 화학물질의 존재여부 및 최소 탐지농도는 다음 Table 1과 같다.(NIER, 2011)



Table 1. Haz-mat Smart Strip Detection Range

Reagent	Negative	Positive	Minimum Detection Range	
	Chlorine	Yellow	Blue, White, Blue halo	1ppm
	pH acid/base	Orange	Red, Blue	Acid - Base
	Fluoride	Pink	Yellow, White	20ppm
	Nerve	Tan	Red, Gold, Green	G, H, V agent
	Oxidizer	White	Blue, Violet	1ppm
	Arsenic	White	Brown, Black	0.5ppb
	Sulfide	White	Brown	5ppm
	Cyanide	Green	Dark Blue	0.2ppm

3.2 검지관식 탐지장비 운용현황

검지관은 기는 유리관 속에 가스 검지제를 충전하여 사용한다. 현장에서 사용시 양 끝을 절단하고 펌프를 이용하여 검지관 내부로 가스가 흡입한다. 이때, 가스제의 성분과 검지제가 반응하여 색이 변하는 것을 이용하여 대기중의 유해물질 농도를 확인한다. 검지관은 조작이 간단하고, 재현성이 높으며, 부피가 작아 이동이 간편하다. 화학사고 발생시 사고물질의 즉각적인 탐지를 위해 사용되고 있는 Kitagawa, Drager의 특징에 대해 내용은 아래의 Table 2에 정리하였다.(Ahn, S.Y., et al., 2012)

Table 2. Kitagawa & Drager Feature Comparison of Detection Equipment




Division	Equipment	Features
Kitagawa		<ul style="list-style-type: none"> · Detection of atmospheric pollutants · Check the concentration · Dedicated by the detector tube and disposable materials · Substances requiring preparation for accidents 39 kinds 69 kinds of measurable
Drager		<ul style="list-style-type: none"> · Detection of atmospheric pollutants · Check the concentration · Dedicated by the detector tube and disposable materials · Substances requiring preparation for accidents 30 kinds 69 kinds of measurable

※ Provenance : Drager-Tubes & CMS-Handbook, Kitagawa Gas Detector Tube System Handbook

3.3 현장대응용 복합가스 탐지장비 운용현황

화학재난 현장에서는 간이탐지 키트, 검지관 사용 후에 복합가스탐지기를 이용하여 사건원인물질을 탐지한다. 복합가스 탐지기는 초동대응요원들이 간단한 사용자 교육을 통해 조작할 수 있으며, 탐지시간은 1분이내로 아주 짧은 장점을 가지고 있다. 복합가스지기는 기기별 화학물질 탐지센서 장착해야 하며, 최대 4종까지 장착가능하다. 아래의 Table 3에서는 기기별 측정 가능한 물질목록과 측정범위 및 특징을 각 장비별로 구분하여 정리하였다.





Table 3. Multi-gas Detection Equipment

Equipments		Measurement	Range	Features
MultiRAE lite		<ul style="list-style-type: none"> · Oxygen · Chlorine · Phosphine · Formaldehyde 	<ul style="list-style-type: none"> · 0 to 30% Vol. · 0 to 50 ppm (TWA 0.5 ppm) · 0 to 20 ppm (TWA 0.3 ppm) · 0 to 10 ppm (TWA 0.5 ppm) 	<ul style="list-style-type: none"> · on site analysis of gas · Time : 1 min within · on site analysis of gas · Qualitative analysis
MX6 iBrid		<ul style="list-style-type: none"> · Chlorine · Hydrogen cyanide · Hydrogen chloride · Ammonia 	<ul style="list-style-type: none"> · 0~99.9ppm (TWA 0.5 ppm) · 0 to 30ppm (TWA 10 ppm) · 0 to 30ppm (TWA 1 ppm) · 0~200ppm (TWA 25 ppm) 	
MX6 iBrid		<ul style="list-style-type: none"> · V O C s (general) · Carbon monoxide · Hydrogen sulfide · Inflammable gas 	<ul style="list-style-type: none"> · 0~2,000ppm · 0~999ppm (TWA 30 ppm) · 0~500ppm (TWA 10 ppm) · 0~100% LEL 	

3.4 전자식 탐지장비 운용현황

전자식탐지장비는 사건현장에서 최종적으로 사용가능한 장비이며, 대응요원이 사용하기 위해서는 일정수준의 사용자 교육이 필요하다. Table 4의 각 장비는 물질 유형에 따라 사용이 달라진다. Portable FT-IR은 고체와 점성의 액상화합물 질 탐지하며 푸리에 변환 적외선분광법을 이용한다. Portable Gas-ID는 기체상 화학물질의 유무를 확인할 수 있다. Portable XRD는 결정형을 가진 화학물질의 정성확인에 효율적인 반면, 기체 화학물질의 현장분석에는 Mobile GC/MS 가 효율적이다.(Kim, S.B., et al., 2012)

Table 4. On-site Analytical Equipment(FT-IR, Gas-ID, XRD, GC/MS)

Equipments		Features	Analysis range
Portable FT-IR		<ul style="list-style-type: none"> · on site analysis of solid, liquid · Time : 1 min · qualitative analysis 	<ul style="list-style-type: none"> · Chemical agents · Explosives · TIC · White powders
Portable Gas-ID		<ul style="list-style-type: none"> · on site analysis of gas · Time : 1 min · qualitative analysis 	<ul style="list-style-type: none"> · Organic matter · Chemical agents · Toxic chemicals
Portable XRD		<ul style="list-style-type: none"> · on site analysis of solid · Time : 15 min · qualitative analysis 	<ul style="list-style-type: none"> · Crystals or crystalline powder
Mobile GC/MS		<ul style="list-style-type: none"> · A variety of sample injection (X-Sorber, Tedlarbag, Direct injection) · Create a user library · Special vehicle installation 	<ul style="list-style-type: none"> · Gas, Liquid, Solid chemical · Toxic, Agent, Explosive etc

3.5 주요 탐지대상물질

유해화학물질관리법에서 사고발생 우려가 높거나 사고가 발생하면 피해가 클 것으로 우려되는 사고대비물질로 인화성, 폭발 및 반응성, 누출가능성 등 물리·화학적 위험성이 높은 물질과 경구투입, 흡입 또는 피부에 노출될 경우 급성독성이 큰물질, 국내 유통량이 많아 사고 노출 가능성이 높은물질을 정하여 별도로 관리하고 있다.(MEV, 2012) 사고대비 물질중 많은 물질이 산업현장에서 다량 취급되고 있으며, 탱크로리 등 운반차량을 통해 외부로 노출되어 사고발생빈도가 높은 편이다. 아래의 Table 5는 '08년부터 '12년까지의 화학사고 발생현황으로 염산, 암모니아, 황산, 불화수소, 질산, 과산화수소 등 주로 사고가 발생하고 있으며, 관리부주의와 시설 및 운반과정에서 많은 사고를 보이고 있다.(MEV, 2013) 이 사고발생 현황을 바탕으로 각 탐지장비의 운용 및 현장 탐지절차를 적립해야 할 필요가 있다.

Table 5. Status of Chemical Accidents

Year	'08	'09	'10	'11	'12
No. of accidents	17	16	15	12	9
Cause substance	Hydrogen chloride, Phenol, Hydrogen peroxide, Chlorine, Ammonia, Phosphoric acid, Nitric acid, Alkybenzene etc. 8kind	Hydrogen chloride, Chlorine, Methanol, Hydrogen peroxide, Nitric acid, Sulfuric acid, Acetic acid, Potassium hydroxide, Sodium hydroxide, Toluene, Phthalate etc. 11kind	Carbon monoxide, Sulfuric acid, Hydrogen chloride, Silane, Ethyl acetate, Nitric acid, Toluene, Methanol, Hydrogen peroxide, Hydrogen fluoride etc. 11kind	Xylene, Sodium hydroxide, Hydrogen chloride, Ammonia, Phosphoric acid, Epichlorohydrin, Sulfuric acid etc. 7kind	Trichlorosilane, Toluene, Phosgene, Ammonia, Hydrogen fluoride, Sulfuric acid etc. 9kind
Cause of accident	·Management carelessness(7) ·Transport(5) ·Facilities(5)	·Management carelessness(8) ·Transport(7) ·Facilities(1)	·Management carelessness(5) ·Transport(8) ·Facilities(2)	·Management carelessness(6) ·Transport(3) ·Facilities(2) ·Etc(1)	·Management carelessness(7) ·Transport(1) ·Facilities(3)

3.6 사건현장 탐지절차

사건현장에서는 사용하는 현장탐지장비인 간이탐지 키트, 검지관식 탐지장비, 복합가스 탐지장비, 전자식 탐지장비의 사용 제한사항은 다음과 같다. 현장대응요원은 호흡보호를 위한 양압식공기호흡기 또는 방독면과 피부보호를 위한 화학보호복을 착용한 상태에서 대응절차를 진행한다. 화학보호복내 양압식공기호흡기를 착용한 현장대응요원에게 탐지결과를 제한된 시야를 통해 보여준다. 이에 각 탐지장비는 사용상의 제한과 더불어 짧은 대응활동을 통해 신속한 탐지활동을 실시해야 하는 어려움을 안고 있다. 또한 현장탐지 활동은 대부분 정성확인을 기본으로 하고 있으며, 복합가스 탐지장비와 전자식 탐지장비는 짧은 탐지시간을 통해 화학물질의 결과를 보여준다. 현장탐지는 단시간에 반복적인 결과 값을 신속하게 도출하여 즉시 현장지휘자에게 보고하여 현장대응활동에 활용해야 한다.(NIER, 2011)

4. 연구결과

4.1. 장비별 탐지현황

간이탐지 키트인 pH페이퍼와 Haz-mat smart strip은 변색을 통해 화학물질 존재 유무를, 검지관식 탐지장비는 검지관의 변색을 통해 사건현장에서의 화학물질의 농도를 신속하게 확인 가능하다. 또한 복합가스 탐지장비는 기체상의 화학물질에 대해 짧은 시간 탐지를 통한 결과를, 전자식 탐지장비는 시료채취를 통한 정밀한 결과를 각각 보여주는 장비이다. 각 장비는 개별적인 사용보다는 상호보완적이고, 복합적으로 사건현장에서 사용되어지고 있다.

4.2. 현장탐지 절차

4.1. 간이 현장탐지장비

간이탐지 키트는 사건현장에 진입과 동시에 일정간격 이동시 화학물질의 존재여부를 확인하기 위하여 사용하며, 현장대응요원을 위해 사용하는 경우 화학보호복의 보호장화 또는 보호장갑 부근에 부착하여 사용한다. 정형화된 절차보다는 신속하게 확인하기 위한 형태로 운영된다. 반면에 검지관식 탐지장비는 현장투입 전 펌프의 이상여부와 사용하기 위한 검지관을 확인하여 장착한 후 사용한다. 다양한 검지관은 사건현장에서 화학물질 확인이 어려운 경우, 사용에 제한성을 갖는 단점이 있다.

4.2. Portable 현장탐지장비

Portable 탐지장비는 크게 복합가스를 탐지하는 장비와 전자식 탐지장비로 구별하여 사용하고 있다. 이중 복합가스

탐지장비는 화학물질별 센서칩을 장착한 각각의 장비로 구분하며 탐지결과를 신속하게 보여준다. 사용방법은 간편하며 누구나 간단한 사용자 교육을 통해 사용이 가능하다. 단, 현장대응요원은 화학보호복을 착용하고 있으며, 이는 장비사용의 제한사항이며, 효율적인 장비활용도를 제고하고자 하는 경우에는 화학보호복 착용상태에서의 화학물질 탐지훈련을 지속적으로 실시해야 한다. 탐지장비중 Portable FT-IR, Portable XRD는 화학물질의 탐지결과를 스펙트럼 형태로 보여주며, 물질별로 나열하여 확인하는 형태이다. 기존에 장비에 탑재되어 있는 라이브러리와 탐지결과를 비교하기 위해서는 수회 반복한 결과 값을 분석해야 한다. 사건현장에서의 신속한 대응활동을 전개하기 위해서는 현장대응요원의 장비활용 이해도와 더불어 반복적인 훈련이 절실히 요구된다.

4.3. 현장 확인절차

화학테러·사고 발생시 사건원인물질을 현장에서 신속하고 정확하게 확인해야 한다. 신속·정확한 분석이 사건진행과 처리에 막대한 영향을 주기에 사건현장에서 화학물질을 확인하는 각종 탐지장비의 활용은 매우 중요하다. 1차적으로는 사건현장에 진입하는 현장 대응요원은 화학보호복의 발목 또는 팔목 부위에 위험예지 키트(Hazmat Smart strip kit)을 부착하고, 펌프를 활용한 간이 검지관으로 화학물질 존재유무를 확인하면서 진입한다. 다음 절차로는 전자식 복합가스 및 단일가스 탐지장비 활용을 통해 사건현장을 탐지절차를 수행한다. 정밀한 전자식 현장탐지장비는 최종적으로 사용하며, 이 절차는 숙달된 대응요원만이 수행 가능하다. 이러한 현장대응절차가 현장에서는 정형화된 형태로 운영되지는 않는다. 사건현장은 각종 장비사용에 있어서 많은 제약사항과 변수를 제공한다. 현장대응요원은 기본적인 탐지절차와 더불어 각 장비의 특징과 사용방법을 숙지해야 한다. 이상의 절차는 화학보호복을 착용하고 수행하며, 양압식공기호흡기를 착용한다면 시간의 제약까지 더해지는 어려움을 안고 있다.

5. 결론

본 연구는 화학테러·사고현장에서의 사건원인물질을 신속하고 정확하게 확인하기 위한 현장대응절차를 마련하는 내용으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

사건현장에서의 사건원인물질을 확인하기 위해서는 많은 탐지장비와 대응절차가 필요하다. 사건현장에서 사용하는 장비중 위험예지 키트(Hazmat Smart strip kit)과 펌프를 활용한 간이 검지관은 가격면에서 저렴하며, 사용의 편리성과 결과값의 신속성을 가지고 있다. 다음의 복합 및 단일가스탐지기와 정밀한 전자식 탐지장비는 사용자 교육과 더불어 현장 활용도를 제고하고자 반복적인 현장훈련을 포함해서 사용해야 한다. 사건현장에서의 화학물질 존재여부를 시작으로 물질명 확인까지 진행하는데 많은 절차와 다양한 대응장비가 사용되어진다. 또한 모든 화학물질을 현장에서 탐지, 확인하기에는 장비별 한계성을 각각 지니고 있다. 사건발생시 현장대응활동 범위를 넓히기 위해서는 탐지범위가 넓은 전자식 대응장비 확충과 장비별 간편한 사용자 매뉴얼을 개발·보급 해야한다. 또한, 대응장비별, 사건원인물질별 현장탐지 방법과 절차는 지속적으로 연구되어 현장에서 활용되어야 한다.

References

- Kim, S.B., Noh, H.R., Lee, J.S., Kim, J.M., Cho, M.S., Park, C.H., Chun, K.S., Ahn, S.Y., Seok, G.S. (2014). "The chemical reactivity of detecting tube equipment for incident responder." *Journal of Korea of Disaster Information*, Vol.10 NO.1, pp.33-39.
- Ahn, S.Y., Kim, S.B., Chun, K.S., Park, C.H. (2013). "Solid chemical material site analysis research of event site." *Journal of Korea of Disaster Information*, Vol.8, NO.3, pp.304-309
- Ministry of Environment. (2012), Toxic chemicals control act, pp.1-3
- National Institute of Environment Research. (2011), "Chemical safety & hazard investigation terrorist action manual site preparation." pp.70-102
- Ministry of Environment. (2013), White Paper of Environment, pp.86-88