가스계 소화설비의 인명 안전 개선방안에 관한 연구

A Study on Personal Safety Improvement of the Gaseous Fire Extinguishing System

구재현*

Ku, Jae-Hyun*

Abstract

Personal safety accidents due to incorrect gas discharge of a gaseous fire extinguishing system continue to be generated. Gaseous fire extinguishing agents are analysed as hazards to the human body depending on the concentration of the gas to be analysed in self-toxic, its own toxicity, the choking effect of breathing and combustion by-products. Also, compared with advanced regulations, domestic regulations of a gaseous fire extinguishing system are analysed as insufficient in life saving breathing apparatus, prevention plans for system malfunction, warning signs, education and training in terms of personal safety. As a result of analyzing personal safety accident cases by a gaseous fire extinguishing system, personal safety accidents from the carbon dioxide fire extinguishing system occupy a large proportion and most accidents occur due to the system malfunctions, failures and on-site verification after gas discharge. Consequently, four improvement schemes for personal safety of a gaseous fire extinguishing system are proposed including in equipped with breathing apparatus for life saving in terms of safety management of especially halogenated extinguishing systems and clean agent fire extinguishing systems, strengthening the legal and regulatory carbon dioxide extinguishing system, qualified warning signs and preventing incorrect gas discharge.

Key words : Gaseous fire extinguishing system, Personal safety, Respiratory hazard, Incorrect discharge, Improvement

요 지

가스계 소화설비의 오방출로 인한 인명 안전사고가 계속적으로 발생하고 있다. 가스계 소화약제는 자체독성, 질식효과 및 연소생성물에 의해 농도에 따른 인체 유해성이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 국내 가스계 소화설비 관련 규정은 선진 규정과 비교하여 인명구조용 호흡장치, 설비 오작동 대책, 경고표시, 교육·훈련 등 인명안전 규정에서 미흡한 것으로 분석되었다. 가스계 소화설비에 의한 인명 사고 사례를 분석한 결과, 이산화탄소 소화설비에서 발생한 인명사고가 많은 비중을 차지하고, 대부분의 사고가 시스템 오동작, 고장 및 가스방출 후 현장 확인 과정에서 발생하는 것으로 분석되었다. 결과적으로, 본 연구에서는 가스계 소화설비 관련 4개의 인명안전 개선방안을 제시하였으며, 특히 할로겐화합물과 청정소화약제 소화설비의 안전관리 측면에서 인명구조용 호흡장치 구비, 이산화탄소 소화설비의 법적 규제강화, 경고표시 규정화 및 가스 오방출 대비책 도입 등을 포함하고 있다.

핵심용어 : 가스계 소화설비, 인명안전, 호흡 유해성, 오방출, 개선 방안

1. 서 론

가스계 소화설비는 화재시 CO₂, 할론, 청정 소화 약제 등의 불연성가스를 일시에 대량 방출하여 공기 중의 산소농도를 저하시키거나 또는 연소의 연쇄반응을 차단하는 부촉매효과 등의 작동 메카니즘에 의해 소화한다. 주요 설치장소는 전기실, 발전실, 통신기기실 및 전산실 등에 설치되며, 물 소화설

비와 비교하여 수손피해가 적고 전기화재에 적응성이 있으나, 통상 방출 가스에 사람이 일정시간 이상 노출될 경우 질식의 우려가 높다는 문제점이 있다(Kim, 2004).

그림 1은 가스계 소화설비 중에서 이산화탄소 소화설비의 개략도를 나타낸 것으로, 작동방식은 화재시 화재감지기에 의한 신호가 수신기로 자동 전달되면서 선택밸브(Selective Valve) 및 소화약제 용기(Extinguishing Agent Cylinder)가 개

*교신저자. 정회원. 목원대학교 소방안전관리학과 교수(Tel: +82-42-829-7707, Fax: +82-42-829-7705, E-mail: kujh@empas.com)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Fire Safety Management, Mokwon University

Fig. 1. Schematic Diagram of Carbon Dioxide Fire Extinguishing System.

방되어 가스방출이 되는 자동 작동방식이 있고, 수동조작기 (Manual Starter)에 의해 수신기로 신호가 전달되면서 가스용기가 개방되어 가스방출이 되는 수동 작동방식으로 분류할 수 있다(Air Water Safety Service Inc., 2014). 이때 화재감지기 또는 수동조작기의 작동으로 인하여 화재경보 사이렌 (Siren)이 울리며, 그 후 재실자의 안전 관련 피난시간 등을 위한 지연시간을 고려하여 약 30~60초 후에 가스계 소화약제가 방출되어 화재를 자동 진화하게 된다.

가스계 소화설비에서 방출하는 소화약제는 일반적으로 이산화탄소 소화약제, 할로겐화합물 소화약제 및 청정 소화약제로 분류된다(Nam, 2012). 특히, 고온의 화재시 가스계 소화약제를 방출하는 경우, 소화약제 자체의 독성과 함께 소화약제가 고온에 의해 분해되면서 발생하는 생성물에 의한 독성에 의해 인명피해를 가져 올 수 있다. 또한, 화재시 밀폐실 내부로 방출되는 가스계 소화약제는 구조자와 요구구조자에게 산소 부족에 기인하여 질식 피해의 위험성을 가지고 있다(Lee, 2002). 이와 관련하여 가스계 소화설비의 오작동 및 과실 조작 등으로 인한 인명 안전사고가 계속적으로 발생하고 있는 실정이다.

이러한 가스계 소화설비의 인명 안전사고의 위험성이 있음에도 불구하고, 국내에서는 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령에서 이산화탄소 소화설비의 경우에 한하여 인명안전 피난설비를 구비하도록 의무화 되어 있다(NEMA, 2014). 그러나, 할로겐화합물 소화설비 및 청정소화약제 소화설비의 경우, 인명 안전에 대한 규정화가 없이 자율적 관리에 의존하고 있으므로 이에 대한 안전사고 위험성이 증가하고 있다. 국외의 경우, 가스계 소화설비 설치, 유지 및 관리 관련 NFPA 12, 12A 및 2001 등 기준에서 호흡장치 등의 인명구조설비를 설치하도록 규정되어 있다(NFPA 12, 12A 및 2001).

따라서, 본 연구는 가스계 소화설비의 인명안전 개선방안에 관한 연구로서, 가스계 소화약제의 호흡 유해성 조사, 국내외 가스계 소화설비의 인명안전 규정 검토 및 가스계 소화설비 안전사고 사례의 비교 분석을 통하여 국내 가스계 소화설비의 인명안전 규정의 개선방안을 제시하고자 한다. 향후 본 연구결과는 가스계 소화설비의 인명안전 향상을 위한 정책적 기초 데이터베이스 구축에 기여할 수 있다.

2. 가스계 소화약제의 인체 유해성 분석

2.1 이산화탄소 소화약제의 유해성

이산화탄소 소화약제는 일반적으로 화재시 질식과 냉각작용에 의한 소화원리를 가지며, 자체 독성은 미약하나, 공기 중의 산소를 차단하는 치환기능에 의한 인체 호흡 질식성의 위험성이 높다. 이와 관련하여 이산화탄소 방출농도(vol.%)는 매우 중요한 인자로 작용한다.

표 1은 이산화탄소의 방출농도에 따른 인체의 증상을 나타낸 것으로서, 이산화탄소 소화설비를 전역방출방식 설비(Total Flooding System)로 작동하는 경우 실내 이산화탄소 농도는 약 1분 내에 20 vol.%를 초과하여 치사량에 도달하므로 방출하기 전에 실내의 사람들은 안전한 장소로 피난하여야 한다. 또한 이산화탄소 방출농도가 8.0 vol.%에서 호흡곤란, 10.0 vol.%에서 2~3분 내에 의식상실의 인체 증상이 발생한다(Kim *et al.*, 2013).

이산화탄소 소화약제는 고압용기에 액상으로 저장하며, 화재가 발생하여 방출시 기화하면서 냉각소화 작용을 하게 되는데, 이때 기체상 이산화탄소의 경우 독성 허용농도는 5,000 ppm으로써 가연물질의 불완전연소시 발생하는 일산화탄소(CO)의 독성 허용농도인 50 ppm과 비교하여 1/100에 해당되거나 장시간 호흡하면 인체에 유해를 초래할 수 있다(Kim *et al.*, 2013).

Table 1. Symptoms of the Human Body by CO₂ Discharge Concentration

CO ₂ (vol.%)	Symptoms of the Human Body
1.0	Public Hygiene Allowance
2.0	No Specific Symptoms During Inhalation for a Few Hours
3.0	Increase in the Depth of Breathing
4.0	Symptoms of Headaches, Elevated Blood Pressure and Vomiting during inhalation a Few Hours
6.0	Significant Increase in the Number of Respiratory
8.0	Symptoms of Dyspnoea
10.0	Loss of Consciousness within 2 to 3 Hours
20.0	Dying

2.2 할로겐화합물 소화약제의 유해성

할로겐화합물 소화약제 물질 자체는 열에 의해 연소하지 않는 물질이며, 탄화수소인 메탄(CH_4), 에탄(C_2H_6)에 할로겐족 원소인 불소(F), 염소(Cl) 및 브롬(Br)을 수소원자와 치환시켜 제조된 물질로서, 화재시 냉각, 질식, 부촉매 작용에 의한 소화원리를 갖는다. 주요 할로겐화합물 소화약제는 할론 1301, 1211 및 2402로서, 이들은 열분해 과정에서 HF, HBr, Br_2 , COF_2 , COBr_2 등의 독성 가스가 발생하며 이들 농도에 따라 인체에 유해성을 나타낸다(Nam, 2012).

표 2는 할로겐화합물 소화약제 종류별 농도에 따른 인체 허용노출시간 및 근사치사농도(ALC)를 나타낸 것으로, 할론 1301의 경우 농도 15% 초과인 경우 인체 허용 노출이 금지가 되도록 규정하고 있으나, 할론 1211은 5%만 초과 되어도 노출 금지가 되고 있음을 파악할 수 있다. 특히 할론 2402의 경우 미소한 농도 0.05~0.10%의 범위에서도 인체 허용노출시간이 작게 규정되어 있으므로, 할론 1301과 1211과 비교하여 상대적으로 독성이 높게 나타남을 보여주고 있다.

또한 근사치사농도 값을 비교하여도 할론 2402가 13 vol.%로서 가장 작은 값으로 나타나므로 인체 안전성측면에서 가장 위험한 것으로 분석된다(NFPA, 2008). 할로겐화합물 소화약제와 이산화탄소 소화약제의 인체 유해성을 비교 분석하면, 이산화탄소의 근사치사농도는 68 vol.%로서 할론 1301 보다 낮으며 할론 1211과 2402 보다는 높게 나타나므로 할론 1301이 가장 인체 유해성이 가장 낮은 것으로 분석된다(Kim *et al.*, 2013).

2.3 청정 소화약제의 유해성

청정 소화약제는 할론 소화약제의 오존층 파괴에 기인하여 개발된 대체 소화약제로서, 화재시 냉각, 질식, 부촉매 작용에 의한 소화원리를 갖는다. 청정소화약제는 그 성상에 따라

Table 2. Allowable Exposure Times by Concentration of Halocarbon Fire Extinguishing Agents

Agents	Concentration (vol.%)	Allowable Exposure Times (min)	ALC (vol.%)
Halon 1301	< 7	15	85
	< 7~10	1	
	10~15	0.5	
	15 <	Prohibition of Exposure	
Halon 1211	< 4	5	25
	4 ~ 5	1	
	5 <	Prohibition of Exposure	
Halon 2402	0.05	10	13
	0.10	1	

Table 3. NOAEL of Clean Fire Extinguishing Agents

NO	Agents	NOAEL(%)
1	FC-3-1-10	40
2	HCFC BLEND A	10
3	HCFC-124	1.0
4	HFC-125	11.5
5	HFC-227ea	10.5
6	HFC-23	50
7	HFC-236fa	12.5
8	FIC-1311	0.3
9	FK-5-1-12	10
10	IG-01	43
11	IG-100	43
12	IG-541	43
13	IG-55	43

HCFC 계열, HFC 계열, FC 계열 등 다양한 종류로 분류되며, 국내외적인 독성 자료로서 50%의 동물이 사망하는 최저 농도인 LC_{50} 과 함께, 소화약제 농도를 증가시킬 때 어떠한 악영향도 감지되지 않는 최대 농도(NOAEL)과 소화약제 농도를 감소시킬 때 악영향이 감지되는 최소 농도(LOAEL)로 나타낸다. 이 중에서 NOAEL 값은 부작용이 발생하지 않는 최대 허용농도이며, 청정 소화약제 소화설비 설계시 최대 허용설계 농도를 의미한다

표 3은 NFPA 기준에 근거하여 제정된 청정 소화약제의 화재안전기준(NFSC 2001)에서 규정하고 있는 13종 청정소화약제별 NOAEL 값을 나타낸 것이다. 여기서 HFC-23의 NOAEL 값이 50%로서 가장 큰 값을 나타내고 있으므로 인체 독성이 가장 낮은 소화약제이며, FIC-1311이 0.3%를 나타내면서 가장 인체 유해성이 높게 나타남을 보여주고 있다(NFPA, 2012).

따라서, 청정 소화약제 소화설비 설계시 NOAEL 값이 큰 소화약제는 설계농도가 높아도 인체 안전성에 문제가 없으나, NOAEL 값이 작은 약제는 설계농도가 큰 경우 인체 안전성에 기인하여 사람이 상주하는 장소에서는 사용이 어려워진다. 그래서 국내외적으로 사람이 상주하는 장소에서는 전역방출 방식의 소화약제에 대한 소화농도가 필수적으로 NOAEL 값보다 낮아야 한다고 규정하고 있다.

3. 가스계 소화설비 인명안전 규정 분석

3.1 국내 가스계 소화설비 인명안전 규정 분석

국내 가스계 소화설비 관련 주요 규정은 대통령령의 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 및 소방방재청 고시의 국가화재안전기준(NFSC)이 있다. 가스계 소화설비의 설치, 유지 및 안전관리에 필요한 사항을 규정하고 있는

국가화재안전기준(NFSC)은 이산화탄소 소화설비의 화재안전기준(NFSC 106), 할로겐화합물 소화설비의 화재안전기준(NFSC 107) 및 청정소화약제 소화설비의 화재안전기준(NFSC 107A)으로 분류된다.

특히, 국내 가스계 소화설비 관련 규정 중에서 인명안전 관련 사항은 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 및 이산화탄소 소화설비 화재안전기준(NFSC 106)에서 제시하고 있다.

소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령의 경우, 제15조와 관련하여 별표 5의 “특정소방대상물의 관계인이 특정소방대상물의 규모·용도 및 수용인원 등을 고려하여 갖추어야 하는 소방시설등의 종류”에서 피난설비에서 가스계 소화설비를 설치하여야 하는 특정소방대상물 중 이산화탄소 소화설비를 설치한 경우 보조마스크가 장착된 인명구조용 공기호흡기를 해당 특정소방대상물의 출입구 외부 인근에 한대 이상 갖추어 두어야 한다는 기준이 제시되고 있다.

그리고, 이산화탄소 소화설비 화재안전기준(NFSC 106)의 제6조(기동장치)와 관련하여 이산화탄소 소화설비 화재안전기준 해설서에서 이산화탄소 소화설비가 작동하기 전·후에는 경보장치가 작동하여야 하고, 작동 전은 대피신호로서 작동 후에는 작동 방호구역 내 이산화탄소가 작동하였음과 이산화탄소의 잔류가 있음을 알려서 사람의 접근을 막도록 규정하고 있다. 이와 함께 이산화탄소 소화설비 주위에 공기호흡기를 두어 가스를 마신 사람에게 사용하도록 하거나, 방출된 지역을 들어갈 때 사용하도록 하여 이산화탄소 가스의 위험으로부터 보호를 받도록 규정화 하고 있다.

그러나, 2장에서 기술한 바와 같이 이산화탄소 소화약제, 할로겐화합물 소화약제 및 청정 소화약제 등의 가스계 소화약제가 인명안전 유해성이 있음에도 불구하고, 가스계 소화설비 관련 규정 중에서 이산화탄소 소화설비에 한하여 인명안전 규정을 명시하고 있다. 따라서, 인체 유해성이 있는 할로겐화합물 소화설비 및 청정소화약제 소화설비 관련 규정에서도 인명안전 관련 기준을 제시할 필요성이 있는 것으로 분석된다.

3.2 국외 가스계 소화설비 인명안전 규정 분석

국외 가스계 소화설비 관련 주요 규정은 NFPA 12(이산화탄소 소화설비 기준), NFPA 12A(할론 소화설비 기준) 및 NFPA 2001(청정소화약제 소화설비에 관한 기준) 등이 있으며, 각각의 기준에서는 인명안전에 관한 사항에 대하여 국내 기준과 비교하여 구체적으로 명시하고 있다.

NFPA 12(이산화탄소 소화설비 기준)에서 이산화탄소 소화설비의 경우 소화농도에서의 이산화탄소 방출은 사람에게 방출시간 동안과 그 이후에 질식 또는 시력감퇴 등의 심각한 위험을 초래하고, 방호지역에 인접한 장소에서 이산화탄소가 체류하고 침전될 가능성을 고려하여 산소통이 부착된 호흡장치

가 구조용으로 제공하는 것을 권장하고 있다. 그리고 사전에 가스의 오방출 방지를 위한 잠금장치 설치에 대하여 명시하고 있다.

그리고, 이산화탄소 방출시 위험한 분위기속으로 사람이 들어갈 수 있는 가능성을 고려하여, 사전 예비 방출경보에 대한 사항과 함께 신속한 대피활동을 위한 인명 안전구조대 마련 및 관련 안전훈련에 대한 규정을 제시하고 있다. 또한 이산화탄소 가스의 방출에 의한 심각한 인명 위험성으로 인하여 가스농도가 축적될 수 있는 방호공간의 외부와 함께 이산화탄소의 이동 또는 누출될 수 있는 인접지역까지 장소별 경고표시의 구체적 사례를 기술하여 규정화 하고 있다. 이러한 경고표시는 방호공간의 경보 작동시 피난활동 표시, 방호공간 입구의 환기시까지 출입금지 사항 표시, 인근지역에서는 방호공간 입구에 근접지역의 이산화탄소 방출의 추적 가능성 주의 사항 표시 등이 상세하게 명시되어 있다.

NFPA 12A(할론 소화설비 기준)에서 할론 1301 소화설비의 인명안전 기준을 규정화하고 있고, 할론 소화약제와 관련 분해물질에 대한 불필요한 노출은 피해야 하며, 고농도 또는 장시간 노출시 현기증, 근육 손상, 심장박동 불규칙 등의 증상을 일으킬 수 있다는 것을 명시하고 있다. 이와 관련 안전요구사항으로서 신속한 대피활동과 인명구조를 위한 안전장치 마련에 대하여 규정되어 있다. 이러한 안전장치에는 이산화탄소 소화설비의 경우와 같이 호흡장비, 방출경보 및 안전훈련 등에 대한 사항과 함께 가스방출 전에 오방출 방지를 위한 잠금장치 설치에 대한 사항이 제시되고 있다.

NFPA 2001(청정소화약제 소화설비에 관한 기준)의 청정소화약제 소화설비의 인명안전 관련 규정에서는 청정 소화약제를 할로겐화합물 청정소화약제 및 불활성 청정소화약제로 분류하여 공통적으로 상시 인명 거주지역에서 사용가능한 것으로 인정된 약제의 경우, 청정소화약제의 인명 위험성에 대하여 미국 환경보호청(EPA)의 SNAP 프로그램에 의해 평가받을 것을 규정하고 있다. 예를 들어, 할로겐화합물 청정소화약제의 경우, 소화약제와 그 분해생성물의 불필요한 노출은 피해야 하고, 상시 주거지역에서는 설계농도가 NOAEL 낮은 약제의 사용이 허용되어야 하며, 설계농도가 NOAEL 보다 높은 약제는 상시 주거지역에서 사용이 허용 금지되는 기준을 제시하고 있다.

이와 같이, 국외 가스계 소화설비 관련 규정에서는 공통적으로 유사하고 구체적인 인명안전 기준을 요구하고 있으며, 화재시 신속한 대피활동과 인명구조를 위하여 호흡장비, 경보발령, 및 화재훈련 등의 안전요소에 대한 사항이 명시되고 있다.

4. 가스계 소화설비 인명사고 사례 분석

국내 가스계 소화설비의 인명사고 사례를 분석한 결과, 주

Table 4. Major Accident Cases of Gaseous Fire Extinguishing Systems

No	Year	Location	Agent	Cause (Damages)
1	2000	Migliore Building (Seoul)	CO ₂	System Malfunction by External Fire (2 People Choke)
2	2001	Kumho Museum of Art (Seoul)	CO ₂	Incorrect System Operation by Children (41 People Casualties)
3	2003	Nuclear Power Plant (Jeollanam-do)	CO ₂	Incorrect System Operation in Fire Drills (4 People in Dyspnea & Unconsciousness)
		Sam Young Building (Seoul)	CO ₂	Eruption of Gas in Verification Process (1 Person Killed & One Person Injured)
4	2007	Art gallery (Gyeonggi-do)	Clean Agent	System Malfunction (No Casualties)
5	2008	Geumgang University (Chungcheong nam-do)	CO ₂	Eruption of Gas in Verification Process (1 Person Killed & 1 Person in Serious Condition)
		Pusan National University Hospital (Busan)	CO ₂	System Malfunction (1 Person Vomiting)
		Daeil Building (Daejeon)	CO ₂	Incorrect System Operation (No Casualties)
6	2009	Thermal Power Plant (Chungcheong nam-do)	Clean Agent	System Malfunction (5 People in Dyspnea)
		Segyeilbo Building (Seoul)	Clean Agent	Incorrect System Operation (1 Person in Dyspnea)
7	2014	Samsung Electronics (Gyeonggi-do)	CO ₂	System Malfunction (1 Person Killed)

로 인명사고는 소화설비의 오작동 및 부주의 등에 의해 누출된 가스계 소화약제에 의한 질식사사고가 대부분의 비중을 차지하고 있는 것으로 분석된다.

표 4는 2000년~2014년 동안 국내에서 발생한 가스계 소화설비 관련 인명사고 사례를 분석한 결과로서, 대부분 이산화탄소 소화설비에서 발생한 인명사고가 많은 비중을 차지하고, 대부분의 사고가 시스템 오동작, 고장 및 가스방출 후 현장 확인 등 과정에서 발생하였으며, 특히 관리자 및 직원들이 인명 피해자인 것으로 분석되었다. 특히, 오동작 또는 자동 화재진압을 위하여 가스방출 후에 우선적으로 현장 확인을 실시하는 관리자에게는 질식의 위험성이 큰 방호구역 내로 접근이 불가피하므로, 치명적인 질식사사고 발생에 크게 노출되어 있는 것으로 분석할 수 있다.

가스계 소화설비 인명 사고 중에서 대표 사고사례는 2001년 5월 28일에 서울 금호미술관에서 어린이날 특별기획 미술전 행사에서 이산화탄소 소화설비의 오작동에 의해 발생한 사고로서, 인명피해 59명(중상 1명, 경상 54명, 귀가조치 4명) 및 2백만원의 재산피해를 발생시킨 것으로 조사되었다. 본 사고는 미술전을 관람중인 어린이들의 부주의에 의해 이산화탄소 소화설비의 수동기동장치를 조작하여 비화재보를 발생시켰으며, 이로 인하여 이산화탄소 소화설비가 동작하여 실내로 이산화탄소 가스가 방출되면서 관람중인 어린이·학부모들이 질식한 사고이다. 이 사건과 관련하여 2002년 소방기술기준

에 관한 규칙에서 이산화탄소 소화설비의 설치기준을 강화하였으며, 이산화탄소소화설비 약제방출 지연장치를 설치하고, 다수인이 출입하는 장소에는 이산화탄소소화설비 설치를 제한하도록 규정하는 계기가 되었다.

5. 개선방안 및 고찰

상기에서 기술한 가스계 소화약제의 호흡 유해성 분석결과, 국내의 가스계 소화설비의 인명안전 규정 비교 분석결과 및 가스계 소화설비 안전사고 사례 조사결과로부터 다음과 같이 가스계 소화설비의 인명안전 관련 4개의 주요 개선방안을 제시할 수 있다.

첫째, 인명구조용 공기호흡기 등의 호흡장비는 이산화탄소 소화설비 이외에 할로겐화합물 소화설비 및 청정 소화약제 소화설비가 설치된 장소에도 설치하는 규정이 필요하다. 국내에서 가스계 소화설비에서 사용하는 이산화탄소 소화약제, 할로겐화합물 소화약제 및 청정 소화약제는 자체 독성, 산소감소에 따른 질식성 및 화재시 연소분해에 기한인 생성물의 독성에 의해 공통적으로 인명 안전사고를 발생시킬 수 있다. 그러나, 현재 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 및 이산화탄소 소화설비의 화재안전기준의 해설서에서 이산화탄소 소화설비에 한하여 인명 안전을 위한 인명구조용 공기호흡기 구비에 대한 규정을 제시하고 있다. 특히 이와 관

련하여 할로겐화합물 소화설비 및 청정 소화약제 소화설비에 대하여도 인명 안전관리를 위하여 인명구조용 공기호흡기 등 구비에 대하여 규정화하여야 할 것이다. 이는 국내 가스계 소화설비 규정의 근거가 되는 NFPA 기준에서도 모든 가스계 소화설비의 인명 안전사고 방지를 위하여 인명구조용 호흡장비의 구비사항을 명시하고 있다.

둘째, 가스계 소화설비 중에서 특히 이산화탄소 소화설비는 설치대상, 피난활동 분석결과 제시 및 관련 관리자 및 출입자 대상의 교육·훈련에 관한 법적인 규제강화가 필요하다. 가스계 소화설비 사고 사례 조사결과에서 나타난 바와 같이, 다수의 사고가 이산화탄소 소화설비에서 발생하였다. 이산화탄소는 자체 독성은 낮으나 방출농도에 따라 산소 차단에 따른 질식사고 위험성이 매우 높다. 따라서, 이산화탄소 소화설비 설치 대상은 사람이 없는 장소에 국한하여 설치하도록 하는 법적인 규제 강화에 대한 규정 검토가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 이산화탄소 소화설비가 설치된 장소에서는 피난방법과 피난시간에 대한 구체적인 분석결과 제시가 요구되어야 한다. 특히, 이산화탄소 소화설비는 설비가 작동한 후에 이를 확인하기 위해 내부로 진입한 사람이 주로 질식한 사고사례가 많다. 또한, 설비의 유지·보수 과정 중에 오작동, 부주의 및 고장 등에 따른 소화약제 방출이 발생하지 않도록 타 가스계 소화설비와 비교하여 관리자 및 작업자 등 출입자에 대하여 철저한 교육·훈련이 요구된다. 피난활동이 어려운 장소에서는 이산화탄소의 사용과 관련하여 지속적인 훈련과 체계적인 규제가 병행되어야 할 것이다.

셋째, 모든 가스계 소화설비는 질식사고의 위험성이 존재하므로, 방호공간, 방호공간 입구, 인근지역 등에서 대표적 경고표시 문구를 구체적으로 규정화하여야 한다. 특히, 이산화탄소 소화설비의 심각한 질식 사고에 의한 인명피해를 예방하기 위하여 설비가 구축된 대상물의 관계자가 그 위험성을 확실하게 인지하는 것이 매우 중요하다. 국내의 경우 가스계 소화설비 인근에 부착되는 경고표지 관련 특별한 규정은 없으나, NFPA ISO, VdS 등 미국 등 해외 규정에서는 대표 경고표시 문구의 사례를 명시하여 구체적으로 명확하게 나타냄으로서 관계자가 사전에 위험성을 인지할 수 있다. 특히, NFPA 규정에서 이산화탄소 소화설비의 경우 방호구역 내부와 입구, 인근지역 및 소화약제 저장실에도 가스 방출 후에 출입금지 등의 경고 표지를 부착하도록 하고 있다.

넷째, 가스계 소화설비의 부주의적 또는 고의적 오방출로 인한 인명피해를 최소화하기 위한 소화설비의 잠금장치와 함께 오방출 방지를 위한 시스템적 방안 마련 관련 규정을 도입하여야 한다. NFPA 규정에서는 이산화탄소 소화설비와 할로겐화합물 소화설비의 경우 설비의 시험 또는 작동시 가스의 오방출 방지를 위하여 배관부 등에 설치하는 잠금장치에 대하여 명시하고 있다. 이를 통하여 가스계 소화설비의 유지 및 관리를 위하여 방호구역에 접근할 경우 사전에 원천적으로

가스계 소화약제의 방출을 차단할 수 있다. 국내의 경우에는 가스계 소화설비의 오방출 대비책으로서 잠금장치 관련 규정이 없으므로 가스 오방출로 인한 사고가 계속적으로 발생할 수 밖에 없는 실정이다. 또한, 이와 관련 향후 인체 유해성을 고려하여 이산화탄소 소화설비가 설치된 방호공간의 경우, 사람이 있는 경우에는 가스방출 작동이 되지 않도록 하는 방안 마련과 함께 오동작으로 방출된 가스의 배출설비에 대한 구체적인 설치기준 대책이 요구된다.

6. 결 론

본 연구는 가스계 소화설비의 인명안전 개선방안에 관한 연구로서, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 이산화탄소 소화약제, 할로겐화합물 소화약제 및 청정 소화약제의 호흡 유해성을 조사한 결과, 약제 자체독성, 산소차단에 따른 질식효과, 연소 후 분해생성물에 의해 모두 농도기준에 따라 발생하는 인체 유해성이 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 가스계 소화설비 관련 국가화재안전기준(NFSC)과 NFPA 규정을 비교 분석한 결과, 국내 규정은 NFPA 등 미국 등 해외규정을 기반으로 제개정하고 있으나, 인명구조용 호흡장치, 설비 오작동 대책, 경고표시, 교육·훈련 등 인명안전 관련 규정에서 부분적으로 아직 미흡한 사항들이 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 국내 가스계 소화설비에 의한 인명 사고 사례를 분석한 결과, 이산화탄소 소화설비에서 발생한 인명사고가 많은 비중을 차지하고, 대부분 사고 원인이 시스템 오동작, 고장 및 가스방출 후 현장 확인 등 과정에서 가스방출로 인하여 관리자 및 직원들이 인명 피해자인 것으로 분석되었다.
- 4) 가스계 소화약제의 인체 유해성, 국내외 가스계 소화설비 관련 규정 및 가스계 소화설비에 의한 인명안전 사고 사례 분석 결과, 미국 등 해외 규정에 근거하여 가스계 소화설비의 인명안전 관련 4개의 주요 개선방안을 제시하였다. 이러한 개선방안은 특히 할로겐화합물 소화설비와 청정 가스약제 소화설비의 안전관리 측면에서 인명구조용 호흡장치 구비, 이산화탄소 소화설비의 법적 규제 강화, 가스계 소화설비 구체적 경고표시 규정화 및 가스 오방출 대비책 규정 도입 등을 포함하고 있다.

References

- Air Water Safety Service Inc. (2014) Carbon Dioxide[®]Halon 1301 Fire Extinguish System, *Internet Website Technical Notes*.
 Kim, D.H. (2004) Analysis on Cause of Fault Discharge from a Gas Extinguishing System and Study on a Measure for Prevention, *2014 Yeungnam University Master's Thesis*.

Kim, Y.S., Park, Y.H., Park, J.T., Jeong, Y.J., Chu, B.G., Hong, S.G., and Hwang, Y.G. (2013) Latest Fire Extinguishing Chemicals, *Dong Hwa Technology Publishing Co.*

Lee, C.W. (2002) A Technical Description on the Safety Aspects Related to Gas Suppression Fire Protection System, *Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference(Spring)*, 21-29.

Nam, S.W. (2012) Design and Construction of Fire-Fighting Facilities, *Sung An Dang Publishing Co.*, 690-887.

NEMA(National Emergency Management Agency) (2013) National Fire Safety Code 106: Carbon Dioxide Fire Extinguishing Systems, *NEMA*.

NEMA(National Emergency Management Agency) (2013), National Fire Safety Code 107: Halogenated Fire Extinguishing Systems, *NEMA*.

NEMA(National Emergency Management Agency) (2013) National Fire Safety Code 107A: Clean Agent Fire Extinguishing Systems, *NEMA*.

NEMA(National Emergency Management Agency) (2014) Enforcement Decree of Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting System Act, *NEMA*.

NFPA(National Fire Protection Association) (2004) NFPA 12A: Standard on Halon 1301 Fire Extinguishing Systems, *NFPA*.

NFPA(National Fire Protection Association) (2005) NFPA 12: Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, *NFPA*.

NFPA(National Fire Protection Association) (2008) Fire Protection Handbook, *NFPA*.

NFPA(National Fire Protection Association) (2012) NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, *NFPA*.

Received ■ May 26, 2014

Revised ■ May 29, 2014

Accepted ■ June 9, 2014