

소화약제 누기 감시장치의 모듈개발 및 성능검증에 관한 연구

손봉세[†] · 홍성호* · 고아라**

가천대학교 소방방재공학과, *한국화재보험협회 부설 방재시험연구원,
**가천대학교 일반대학원 소방방재공학과

A Study on the Development of a Fire Extinguishing Agent Leakage Monitoring Module and its Performance Assessment

Bong-Sei Son[†] · Sung-Ho Hong* · A-Ra Go**

Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

*Fire Insurers Laboratories of Korea

**Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering Grade School, Gachon Univ.

(Received December 10, 2015; Revised February 22, 2016; Accepted March 2, 2016)

요 약

가스계소화설비는 소화약제의 자연 누기와 소화설비 노후로 인한 누기 등으로 화재진압 능력이 저하되는 문제점이 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 소화약제의 누기를 실시간으로 감지하는 압력누기 체크센서 모듈을 개발하였으며, 개발 모듈에 대한 성능평가를 하였다. 국내·외적으로 압력누기 감시 시스템에 대한 명확한 시험기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 국외 유사 기준 ISO 7240, FM 1421와 국내 수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준을 참고하여 개발 모듈에 맞게 기본 성능과 내환경성에 대한 기준을 마련하고 평가를 실행하였다. 기본 성능 평가는 압축공기를 모듈에 인가하는 방식으로 최저작동 압력이 0.3 bar인 것을 확인하였다. 내환경성 검증은 통상적으로 발생할 수 있는 기후변화에도 오작동 없이 정상적으로 작동하는지를 확인하였다. 그 결과, 고온(50 °C) 및 저온(-10 °C) 환경 기준에서 이상 없이 정상 작동하였다.

ABSTRACT

One of the main problems with gaseous fire extinguishers is the decrease in fire suppression capability due to the leakage of the fire extinguishing agents, either naturally or caused by obsolete equipment. Therefore, in this study, a real-time detector module for monitoring pressure leakages was developed and an assessment on its performance was carried out. Currently, there are no domestic or global standards for testing pressure leakage detection systems. Therefore, similar global standards, such as ISO 7240 and FM 1421, and the domestic law on "Receiver type-approval and technical standards for product inspection" were used as a reference for assessing the performance of the newly developed module. Its basic performance was assessed by applying compressed air to the module, and, as a result, the minimum working pressure was identified as 0.3 bar. Its environmental qualification was carried out to confirm the proper functioning of the module in different climates and the module was confirmed to function properly at both high (50 °C) and low (-10 °C) temperatures.

Keywords : Gaseous fire extinguishing system, Fire extinguishing agent, Leak, Reliability, Performance verification

1. 서 론

1.1 연구의 배경

산업의 발달로 건축물이 대형화·고층화·자동화가 되면서 전기실, 발전실, 통신기기실 등 부속실의 규모도 대형화되었다. 대형화된 부속실의 전력수요, 무인설비, 편의시설 등이 증가함에 따라 화재가 다양한 메커니즘으로 발

생하고 있다⁽¹⁾. 이에 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령에서는 전기실, 변·발전실, 축전지실, 통신기기실, 전산실, 그 밖에 이와 유사한 용도의 방호구역으로 바닥면적이 300 m² 이상인 경우에 물분무등소화설비를 설치하도록 되어 있다⁽²⁾. 따라서 이산화탄소가스, 할로겐화합물소화약제, 청정소화약제 등을 사용하여 특수방호구역인 전기실, 발전실, 전산실 등에서 발생하는 화재를

[†]Corresponding Author, E-Mail: bsson@gachon.ac.kr
TEL: +82-31-750-5713, FAX: +82-31-750-5713

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.2.043>

Table 1. Install Number of Gaseous Fire Extinguishing System⁽³⁾

Year	Install Number
2010	3,873
2011	3,597
2012	4,016
2013	4,823
2014	3,260

Table 2. Annual Satisfactory Rate (%) of Fire Fighting Equipments⁽³⁾

Year	2012	2013	2014
Fire Extinguisher	99.0	98.9	97.9
Indoor Fire Hydrant	71.5	72.8	87.7
Outdoor Fire Hydrant	66.6	68.1	84.0
Sprinkler System	69.7	69.9	87.6
Water Spray Fighting System	81.9	74.7	82.9
Foam Fire Fighting System	66.7	70.1	80.9
Gaseous Fighting System	64.3	64.9	71.8

효과적으로 진압하기 위하여 설치하는 가스계소화설비에 대한 성능향상의 필요성이 요구됨에 따라 본 연구를 실시하게 되었다. 본 소화설비는 인명안전과 재산피해에 영향을 미칠 수 있으므로 완벽한 시공에 의한 작동 및 신뢰성이 요구되는 소화설비이다. 특수방호구역의 연소특성에 따라 어떤 소화설비가 더 안전하고 경제적이며 신뢰성이 있는지를 정확하게 평가하여 최적의 가스계소화설비를 설치하는 것이 중요하다. Table 1⁽³⁾은 최근 5년간의 통계자료에서 알 수 있는 바와 같이 가스계소화설비는 매년 3,000건 이상 설치되고 있다. 이는 전기실, 변전실, 통신기기실의 규모가 과거에 비하여 커지거나 신규물건이 증가함으로 발생하는 현상이라 할 수 있다. 즉, 특수방호구역에서 발생하는 화재를 초기에 효과적으로 진압하기 위해서는 본 소화설비의 작동성능 및 신뢰성 향상에 대한 요구는 앞

으로 더욱 증가할 것으로 판단된다.

Table 2⁽³⁾는 최근 3년 동안 소방시설의 양호율을 나타낸 것이다. 가스계소화설비의 연평균 양호율은 67%로 일반 소화설비에 비하여 낮은 수준이다. 양호율(satisfactory rate)(%)이 낮을수록 가스계소화설비가 화재발생 시 초기 소화 및 방화 대책에 불안정하다는 것을 나타내며 신뢰성이 떨어지는 것을 의미한다. 매해 가스계소화설비의 설치증가하고 있으나 시스템에 대한 전반적인 신뢰성은 낮아 사고가 빈번히 발생하고 있는 것으로 판단된다.

국내에서 발생한 가스계소화설비의 주요 사고사례는 Table 3과 같다. 사고 사례를 분석한 결과, 약 63%의 사고는 이산화탄소 소화설비 설치된 곳에서 발생하였으며, 사고 원인은 시스템의 오작동과 허술한 유지관리이다. 인명피해는 약 88%가 시설물 관계자 및 직원들에게 발생하는 것으로 조사되었다⁽⁴⁾. 현행 소방법⁽²⁾에서는 가스계소화설비의 약제의 특성에 따른 일부 위험성을 고려하여 사람이 상주하는 곳에는 설치하지 않도록 규정하고 있지만 시설물 관계자 등은 내부 작업이나 약제 방출 후 접근하여 사고로 이어졌다. 신뢰성 있는 가스계소화설비를 위해서는 면밀한 점검 및 꾸준한 유지관리가 필요하다. 가스계소화설비의 점검 사항 중 중요한 부분으로는 소화약제량 검사가 해당된다. 현행법상 가스소화설비의 소화약제는 저장용기의 약제량 손실이 5%를 초과하거나 압력손실이 10%를 초과할 경우(불활성가스 청정소화약제는 압력손실 5% 초과 시) 재충전하거나 저장용기를 교체하도록 규정하고 있다⁽²⁾. 소화 약제를 점검하는 방법으로는 약제용기의 무게를 저울 등으로 직접 측정하는 중량 측정법과 액화가스 레벨미터를 이용한 측정법 등이 있다. 이러한 기존 소화약제량 점검 방법은 인력의 과다 투입 및 현장 접근을 통하여 확인해야 한다. 이 경우 사람이 직접 점검하기 때문에 휴먼에러가 발생할 수 있으며, 관리 비용이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 현황을 보완할 수 있는 압력누기 감시장치 모듈을 개발하였다.

1.2 선행 연구 및 연구의 목적

국내에서도 가스계소화설비의 문제점을 개선하고 신뢰

Table 3. Accident Case of Gaseous Fire Extinguishing System in Korea

Year	Place	Cause	Agent
2001	Kumho Museum of Art	Incorrect System Operation	CO ₂
2003	Nuclear Power Plant	Incorrect System Operation	CO ₂
2007	Gyeonggi Art Gallery	Incorrect System Operation	Clean Agent
2008	Geumgang University	Incorrect System Operation	CO ₂
2009	Dangjin Thermal Power Plant	System Malfunction	Clean Agent
2011	Korea GM	Incorrect System Operation	CO ₂
2013	Wangsimni Substation	System Malfunction	Clean Agent
2014	Samsung Electronics	System Malfunction	CO ₂

성을 높이고자 한 다양한 연구가 있었으며 그 동안 연구된 내용을 요약하면 다음과 같다. 도어 팬 실험(door fan test)을 통해 방호구역 내의 누기 면적과 설계농도 유지시간을 확인함으로써 가스계소화설비의 신뢰성 확보를 위한 연구를 하였다⁽⁵⁾. 또한 가스계소화설비의 누출되는 소화약제의 양은 개구 면적뿐만 아니라 개구부의 위치, 소화약제의 농도 및 누출 시간에 따라 달라진다. 따라서 개구부 폐쇄 및 자동폐쇄장치를 설치할 권장하며 그렇지 못할 경우의 개구부라면 별도의 배관과 노즐을 통하여 가산되는 연장 방출방식을 고려해야한다⁽⁶⁾. 소화약제가 배관 내 공기와 함께 방출되면서 약제 농도가 희석되는 것을 공기 조기방출장치를 이용하여 가스계소화설비 성능을 개선할 수 있다⁽⁷⁾. 본 연구와 유사한 선행연구로는 로드 셀(load cell)을 이용하여 각 구역별 소화 약제용기의 중량을 실시간으로 측정하여 누기 여부를 감시하는 시스템⁽⁸⁾과 저장용기에 부착한 압력 센서를 통해 저장 용기 내 압력의 변화를 검출하여 수신반까지 무선으로 송수신하는 모듈⁽⁹⁾이 있다.

본 연구에서는 용기밸브에 압력체크센서를 일체형으로 장착하여 약제 누기 여부를 실시간으로 감시하는 시스템을 개발하였다. 네트워크 기술에 접목하여 중앙감시센터나 원격관리 장소에서 실시간으로 상황이 모니터링 되며, 이상상태 시 자동으로 통보할 수 있도록 하였다. 이러한 개발 시스템의 구성 요소인 압력누기 감시장치 모듈에 대한 최적 성능 검증 기준을 마련하고 평가하였으며 이를 통해, 가스계소화설비의 신뢰성 확보 및 화재에 따른 인명·재산피해 감소를 기대해볼 수 있다.

2. 압력누기 감시장치 모듈 설계조건 및 규격

2.1 기본 설계

Figure 1은 압력누기 감시장치의 설치 위치를 나타낸다. 소화약제 실린더와 이어지는 용기밸브에 약제누기체크센서를 붙여 일체형으로 개발한 제품이다. 누기 되는 가스가 밀폐상태에 있는 플런저(plunger) 전단부에 축적되면서 일

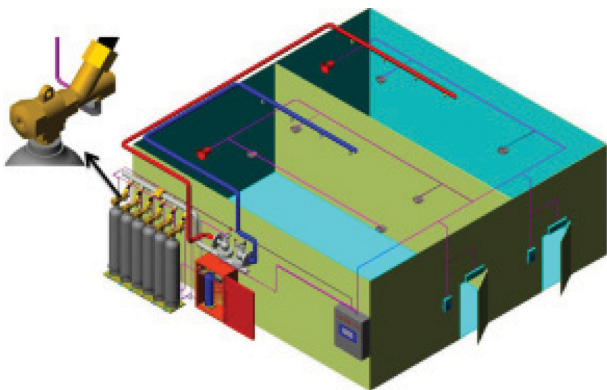


Figure 1. Installation position for pressure leakage device.

정 압력에 도달되면 플런저가 이동되어 마이크로 스위치(micro switch)의 센서부가 작동한다. 또는 방출되는 가스의 힘으로 플런저가 이동되어 마이크로 스위치의 센서부가 작동한다. 실시간으로 검출되는 누기 여부는 네트워크를 통해 중앙감시센터에 전달된다.

2.2 설계 조건 및 규격

용기밸브 일체형 압력누기 감시장치는 국내에서 보편적으로 사용하는 이산화탄소 소화약제와 HFC 계열 소화약제의 용기밸브로 개발하였다. 각각의 용기밸브에 약제누기체크센서를 장착하여 약제 누기 및 약제 방출 감시가 가능하도록 하였으며, 밸브 바디(valve body)와 패킹 누르개, 마이크로 스위치 등으로 구성하였다. 다음은 이산화탄소 소화약제와 HFC 계열 소화약제의 설계 조건 및 규격이다.

(1) 이산화탄소 소화약제의 설계 조건 및 규격

- 소화약제 저장용기 규격: 68 L
- 저장압력: 20 °C 58 bar
- 용기밸브의 규격: 15 A
- 용기밸브 출구부 나사규격: M30 × P2.0
- 누기체크 센서의 최저 작동압력: 0.5 bar
- 적용스위치: 마이크로 스위치(on/off)
- 재질: Brass (C3771BE)

(2) HFC 계열(HFC-23) 소화약제의 설계 조건 및 규격

- 소화약제 저장용기 규격: 68 L
- 장압력: 25 °C 42 bar
- 용기밸브의 규격: 40 A
- 용기밸브 출구부 나사규격: 2 1/4" - 12UN
- 누기체크 센서의 최저 작동압력: 0.5 bar
- 적용스위치: 마이크로 스위치(on/off)
- 재질: Brass (C3771BE)

3. 압력누기 감시장치 모듈 성능검증

3.1 성능검증 방법

국내·외적으로 실린더 개별 소화약제 누기에 대하여 상시 감시하고, Multi-media Message Service (MMS)로 송신하여 원격지에서 관리할 수 있는 시스템은 전무하다. 따라서 이러한 시스템뿐만 아니라 구성품인 압력누기 감시장치 모듈에 대하여 성능을 검증하고 평가하는 기준이 없다. 본 연구에서는 시스템 관련 평가 방법을 정립하기 위하여 모듈 자체보다는 모듈이 장착되는 시스템과 유사한 국내외 시험기준을 참고하였다. 기술개발 시스템은 각 감시장치로부터 입력되는 센서 신호를 모니터링하는 장치이기 때문에 각 화재감지기로부터 발신되는 신호를 수신받아 연산 처리하여 화재 경보를 발하는 수신기와 비슷하다고 볼 수 있다. 따라서 국내 유사 기준으로는 국민안전처 고시 제2015-1호(수신기 형식승인 및 제품검사의 기술

기준)⁽¹⁰⁾를 참고하였다. 수신기와 관련된 해외 기준은 UL 864 등 여러 기준이 있으나 대부분 ISO 7240-2와 동일하거나 매우 유사하여 ISO 7240-2 (Fire detection and alarm systems-Part 2 : Control and indicating equipment)⁽¹¹⁾를 해외 유사 기준으로 참고하였다. 또한 기술 개발 시스템을 화재방호를 위한 모니터링 시스템으로 보았을 경우에는 FM 1421 (Approval Standard for Monitor Assembly)⁽¹²⁾가 유사하다. 이 기준은 화재방호를 위하여 물을 이송하는 것에 대한 모니터 조립품을 규정한다. 3가지 유사 기준에서 압력누기 감시장치 모듈에 공통적으로 적용할 수 있는 것은 기능 시험과 온도시험으로 판단하였다. 기능 시험은 기준별로 내용이 상이하여 압력누기 감시장치 모듈에 맞게 변형하여 성능 검증을 실행하였다. 또한 환경 변화에 대한 시스템의 성능 적합성을 확인하기 위하여 온도시험을 진행하였다.

3.2 기본 기능 시험

Figure 2는 개발한 이산화탄소 소화약제와 HFC-23 소화약제의 압력누기 감시장치 모듈이며 Figure 3의 실험 장치를 이용하여 개발한 모듈에 대한 기본적인 성능검증을 실시하였다. 실험 장치에 사용한 주요 구성요소의 사양은 다음과 같다.

- 압력계: 협성계기, TPA(601P), 한국
- 공기압축기: famous brand, 0016, 일본

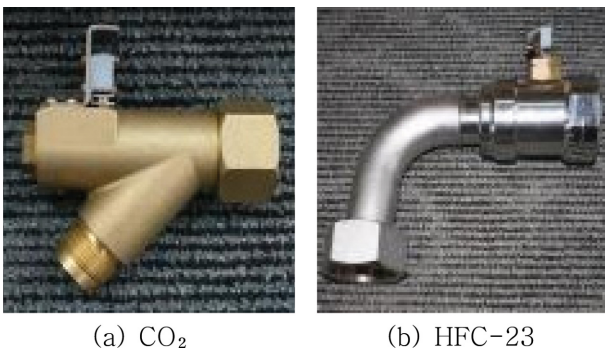


Figure 2. Monitoring devices module of pressure leakage.

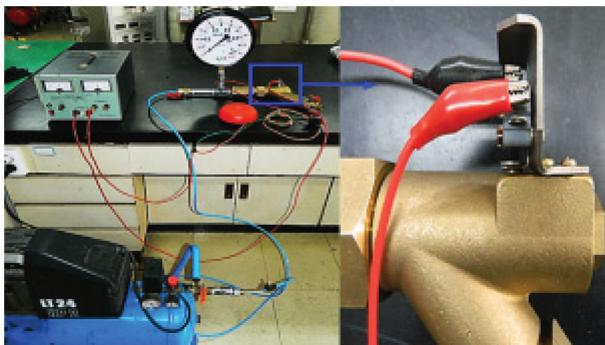


Figure 3. Fundamental performance test device.

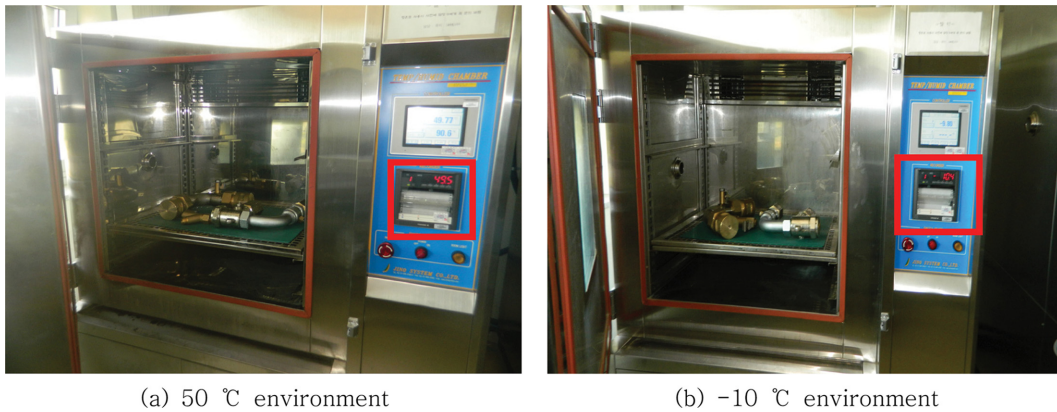
• DC Power Supply: ODA테크놀로지 OPD-503, 한국
기능 시험은 작동 기능을 확인하는 것으로 국내외 유사 기준에서 공통적으로 규정하고 있는 기본 시험 항목이다. 그러나 제품에 따라 기준이 설정되어 있어 각 기준별 기능 시험 내용은 상이하다. 예를 들어 수신기는 작동이 확실하고 먼지, 습기 등으로 기능에 영향을 받지 않아야 하고, 스위치는 작동을 1만회 반복하는 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 없어야 한다.

압력누기 감시장치는 국내외에 정해진 기준이 없는 신제품으로 유사 기준을 참고하되 개발 모듈 기능에 적합하게 수정하여 다음과 같이 기본 기능을 시험하였다. 개발 모듈에 압력계, 경종 및 램프를 설치하고, 공기압축기를 사용하여 0.1 bar씩 일정 압력을 가하며 모듈의 작동압력을 측정한다. 가해진 공기압축기의 압력에 의해 모듈에 부착된 마이크로 스위치가 작동되면 점등을 단아 경종과 램프를 구동시키는 방식으로 작동 여부를 확인한다. 이 경우 모듈이 완제품이 아니므로 소화 약제를 사용하는 대신 공기압축기를 사용한다. 이 시험에서 마이크로 스위치가 작동하는 압력은 개발 제품의 최저 작동 압력으로, 경종이 울리고 램프가 점등되는 것은 선택밸브 개방유무로 판단하였다. 이산화탄소 소화약제와 HFC 계열 소화약제용 압력누기 감시장치 모듈의 마이크로 스위치는 같으므로 각 모듈의 기본 기능 시험방법은 동일하다.

공기압축기를 이용하여 0.1 bar와 0.2 bar를 인가하였을 때 램프가 점등되지 않았다. 즉, 0.1~0.2 bar의 압력에서는 압력누기 감시장치 모듈이 동작하지 않았다는 것을 확인할 수 있었다. 0.3 bar의 압력을 압력누기 감시장치 모듈에 인가하였을 때 마이크로 스위치가 작동하였고, 동시에 램프가 점등되었다. 따라서 현재 압력누기 감시장치 모듈의 최저 작동압력은 0.3 bar로 확인하였다. 해당 실험은 압력누기 감시장치 모듈 자체만을 가지고 검증한 것으로 다음 시험 시에는 시스템에 압력누기 감시장치 모듈을 설치한 후 압력누기 감시장치의 작동 압력 범위에 따라 약제가 누기 되는 것을 확인할 필요가 있다.

3.3 내환경성 시험

압력누기 감시장치는 가스계 소화설비의 약제 저장용기에 장착하여 실외에 설치된다. 4계절이 있는 국내에 적용하기 위해서는 내환경성 검증이 반드시 필요한 항목이다. Figure 4는 온도 변화와 극심한 환경에서 개발된 제품이 정상적으로 작동하는가를 확인하는 내환경성 시험 장면이다. 실험장치는 항온항습조(ALL THREE, ATH-100M, 한국)를 사용하였다. 내환경성 시험 방법은 시험체를 -10°C 및 50°C 의 주위 온도에서 각각 12시간 이상 방치한 후, 기능에 이상 여부를 확인하는 것이다. 시험체의 구조에 이상이 없고, 감도 시험의 성능에 적합하여야 성능이 검증되는 것이다. 그 결과, 압력누기 감시장치 모듈은 고온 환경(50°C) 이후에도 0.3 bar의 압력으로 정상 작동하였으며,



(a) 50 °C environment

(b) -10 °C environment

Figure 4. Environmental qualification test.

저온 환경(-10 °C) 조건 이후에서도 0.3 bar의 압력으로 정상 작동하였다.

4. 결 론

화재안전기준에서는 소화약제 저장용기의 약제량 손실이 5% 초과 시 재충전 또는 교체하도록 규정하고 있다. 이러한 규정에 따라 현재는 레벨 게이지와 유사한 형태의 가스량을 사람이 직접 측정하는 방법과 가스용기를 매달아 중량 감소에 따른 가스량 측정 방법 등이 있다. 또한 로드셀을 이용하여 소화약제량 감시를 할 수 있는 시스템이 일부 개발되어 있지만 정밀하게 약제량의 누기를 감시하는 실시간 모니터링 시스템은 없기 때문에 정확하게 성능을 검증할 수 있는 평가방법도 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유사 기준을 참고하여 압력누기 감시장치에 최적화된 성능 검증 기준을 마련하고 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기본 성능 검증은 압력 변화에 따른 모듈의 작동 압력을 측정하기 위하여 압축공기를 이용한 압력 인가 방식을 사용하였다. 그 결과, 압력누기에 따른 최저 작동 압력은 0.3 bar로 나타났다.

(2) 내환경성 시험은 환경 변화에 따른 성능 검증으로 -10 °C 및 50 °C의 주위 온도에서 각각 12시간 이상 방치한 후 기능에 대한 이상 여부를 확인하였다. 그 결과, 고온 환경과 저온 환경 이후 최저 작동 압력 0.3 bar로 시험체의 구조 및 성능에 이상 없이 작동하는 것을 확인하였다.

해당 개발 모듈을 가스계소화설비 시스템에 적용 시 실시간 모니터링을 통한 소화가스 약제량을 감시하며, 약제 누기 시 즉각적인 대처가 가능하여 소화설비의 안정적인 기동을 보장한다. 또한 이상상태 발생 시에만 현장 접근하여 해결함으로써 매우 안정적이므로 신뢰성 있는 예방조치를 행할 수 있다. 이러한 소화약제 누기를 감시하는 압력누기 감시장치는 능동형 기술 개발로 소화시스템의 신뢰성이 제고되며, 화재로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화

할 수 있음을 기대한다.

후 기

본 연구는 국민안전처 소방안전 및 119구조·구급기술 연구개발사업(NEMA-차세대-2014-50)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Y. H. Jun, "Case Analysis and Prevention Measures Study of the Carbon Dioxide Fire Extinguishing Discharge at Non-fire Condition", Yeungnam University (2010).
2. NEMA, "Enforcement ordinance on Fire Protection Installation, Maintenance and Safety Management" (2015).
3. Korea Fire Protection Association, "Safety inspection result analysis", http://www.kfpa.or.kr/date/da_02_01.asp (2008-2014).
4. A. R. Hong, C. W. Lee, A. R. Ko and B. S. Son, "A Study on the Analysis of Accident cases for Gaseous Fire Fighting Extinguish System", Proceedings of 2014 fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 189-190 (2014).
5. Y. G. Park, "Reliability Test of Gaseous Fire Extinguishing System at Protection Zone", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 27-31 (2008).
6. T. G. Lee, "Misunderstandings and Problems of Gaseous Fire Fighting Extinguish System", Korea Fire Safety Association, pp. 15-28 (2009).
7. M. H. Jee, C. K. Moon and H. T. Kim, "Improvement of Fire Suppression Capability by ues of Air Early Release Equipment", Proceedings of 2012 spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 143-146 (2012).
8. J. H. Son, "A Study on Continuous Gas Weight Monitor-

- ing for Gas Based Fire Extinguishing Systems”, Gachon University (2014).
9. S. H. So, J. H. Oh, C. W. Cha and D. K. Lee, “Development of Monitoring RF System on Leakage of Gas Cylinder in Gaseous Fire Extinguishing System”, Proceedings of 2008 fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 7-10 (2008).
 10. Ministry of Public Safety and Security, KOFEIS 0304 (2015).
 11. ISO 7240-2, Fire detection and alarm systems-Part 2 : Control and indicating equipment (2003).
 12. FM 1421, Approval Standard for Monitor Assembly (2007).