

자율형 초동진압용 소화체계 성능기준에 관한 연구

김남균¹ · 김휘성² · 박진욱³ · 박병직⁴ · 김양균⁵ · 유용호^{6*}

¹정회원, 순천제일대학교 산업안전관리과 조교수

²비회원, 한국건설기술연구원 주임주무원

³정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원

⁴비회원, 한국건설기술연구원 전임연구원

⁵정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

⁶정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

A study on the performance standards of autonomous fire extinguishing system

Namkyun Kim¹ · Hwiseong Kim² · Jinouk Park³ · Byoungjik Park⁴ · Yangkyun Kim⁵ · Yongho Yoo^{6*}

¹Assistant Professor, Dept. of Industrial Safety Management, Suncheon Jeil College

²Technician, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

³Research Specialist, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

⁴Research Specialist, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

⁵Senior Researcher, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

⁶Research Fellow, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*Corresponding Author : Yongho Yoo, yhyoo@kict.re.kr

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and
Underground Space Association
22(6)655-667(2020)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2020.22.6.655>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received October 22, 2020

Revised November 17, 2020

Accepted November 18, 2020



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2020, Korean Tunnelling and Underground Space Association

Abstract

The final purpose of this study is to present the performance evaluation criteria (draft) of the autonomous initial suppression digestion system. In this study, in order to present the performance standards for the autonomous initial suppression fire extinguishing agent system currently in the development stage, the legal performance standards for fire extinguishing equipment currently applied to domestic buildings and the performance standards of similar overseas previous research were compared and analyzed. In addition, based on this, the minimum performance standards required for the digestive system for autonomous initial suppression were presented. When the performance of the digestive system for autonomous initial suppression is evaluated based on the results of this study and applied, it is judged that it is possible to respond more quickly in the situation of fire.

Keywords: Underground fire, Autonomous fire extinguishing system, Initial suppression, Evaluation standards, Large space fire

초 록

본 연구의 최종 목적은 자율형 초동진압 소화체계의 성능평가 기준(안) 제시에 있다. 본 연구에서는 현재 개발단계에 있는 자율형 초동진압 소화체계의 성능기준 제시를 위해 현재 국내 건축물에 적용되는 소방설비의 법적 성능기준 및 국외 선행연구를 기반으로 유사 제품의 성능기준을 비교분석하였다. 또한 이를 기반으로 자율형 초동진압용 소화체계에 요구되는 최소한의 성능기준을 제시하였다. 본 연구의 결과를 기반으로 자율형 초동진압용 소화체계의 성능평가를 수행 후 현장적용 시 화재에 보다 신속한 대응이 가능할 것으로 판단된다.

주요어: 지하공간 화재, 자율형 소화체계, 초동진압, 성능기준, 대공간 화재

1. 서론

현재 국내의 도심지는 도시화가 가속됨에 따라 토지공급의 한계와 그로 인한 지가상승 및 녹지잠식 등 각종 문제가 증대되고 있다. 이에 국부적인 집중·집적 도시화로 인한 지상공간의 부족 및 이를 극복하기 위한 토지이용 효율화의 일환으로 지하주차장, 지하창고시설 등 지하공간의 활용이 증대되고, 국토의 70%가 산지인 국내 지형 특성 및 도심지 교통체증 완화를 위해 지하 교통 인프라 정책이 활발히 추진되고 있는 실정이다. 하지만 반밀폐공간의 구조적 특성을 가지는 이러한 지하공간은 화재 발생 시 공간의 제약으로 온도가 급격하게 상승하고, 산소공급의 부족으로 불완전연소율이 상승하여 다량의 연소생성물을 발생시킴으로써 높은 위험성을 가진다. 또한 기술의 발전에 의해 점점 대규모화 및 구조의 복잡화가 이루어지고 있는 현대의 지하공간에 있어 기존의 소화체계를 그대로 적용하는 것은 더 큰 문제를 야기할 수 있다(Myoung and Jeong, 2018; Park et al., 2019). 이와 더불어 4차 산업혁명이 시작된 현시점에서 다양한 분야에서 자율형 기술 및 장비를 개발하는 것은 국가 경제 및 산업 측면에서도 시대적 소명이라고 할 수 있다. 이러한 자율형 기술 개발은 사회적 요구와 밀접한 관련이 있으며, 현대사회에서의 요구와 수요가 증가하고 있는 안전분야로의 확대는 필수불가결하다. 특히, 빈도는 낮으나 중대성이 매우 높아 발생 시 다수의 인적·물적 피해를 야기하는 화재사고의 경우 초동조치가 피해 저감에 있어 매우 중요한 요인이므로, 화재를 자율적으로 감지하고 초동진압하는 소화시스템의 개발은 지하공간에서의 국가적인 재난을 사전에 예방하는데 크게 기여할 것으로 예상되는 바이다.

앞서 언급한 문제점 해결을 위해 화재를 초동진압하기 위한 소화체계에 관한 연구는 국·내외에서 활발히 이루어지고 있다. 보다 정확한 화재감지를 위한 탐지설비의 개선에 관한 연구는 CCD 카메라를 활용한 순차 이미지 처리기술(Yuan, 2010; Ku, 2013) 및 다수의 자외선 센서, 열 센서의 활용으로 화원의 검출 기술이 보고된 바 있다(Kim and Kong, 2019a; 2019b). 또한 이러한 위치 검출을 기반으로 소화시스템을 추가 적용함으로써 자율형 소화체계를 구축하고자 하는 연구가 지속적으로 수행되고 있으며(Chen and Li, 2015; Rehman et al., 2012; Hu and Li, 2010b; Khan et al., 2012; Su, 2006; Park et al., 2017), 소규모 화재에 대한 실험적 연구를 기반으로 성능에 대한 검증이 지속되고 있다. 이와 같이 다양한 방법으로 자율형 초동진압용 소화체계의 개발이 이루어지고 있으며,

이러한 소화체계를 실사용 및 적용하기 위해서는 해당 소방설비에 대한 정확한 성능 기준이 마련되어야 한다. 하지만 국내 건축물 소방설비에 적용되는 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 및 터널에 적용되는 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」에서는 자율형 초동진압용 소화체계와 관련된 사항들이 반영되어 있지 않아 높은 필요성에도 불구하고 개발 시 현장적용에 어려움이 존재한다.

본 연구에서는 국외의 자율형 초동진압용 소화체계에 관한 선행연구 결과 및 국내의 소방설비 관련 기준을 분석하여 자율형 초동진압용 소화체계의 성능평가에 요구되는 항목 및 기준에 관한 정립을 수행하고, 성능기준(안)을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

현재 국내 법규 상 건축물의 소방설비 관련 기준은 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 등에 명시되어 있다. 하지만 자율형 초동진압용 소화체계는 현재 개발단계에 있어 해당 기준에는 명시되어있지 않으며, 따라서 성능기준 또한 부재한 실정이다. 이에 본 연구에서는 자율형 초동진압용 소화체계의 현장적용의 사전 단계로써 해당 소방설비의 기준 마련을 위하여 첫째, 국내 지하공간의 활용 및 화재 위험성을 검토하였고, 둘째, 지하공간에서의 기존 소방설비 적용 시 문제점을 제기하였고, 셋째, 국외 기술동향과 현행 소방설비에 관한 법규 및 기준에 대한 검토를 수행하였으며, 넷째 이를 반영하여 자율형 초동진압용 소화체계의 성능요소를 구성하였고, 다섯째, 각 성능요소에 대한 최소한의 성능평가 기준(안)을 제시하였다.

3. 지하공간 활용 및 화재 위험성

자동차의 보급은 현대사회에 있어 많은 변화를 야기하였다. 2000년대에 들어서면서 공동주택이 빠르게 보급되고 대형화 및 고층화가 이루어지면서 보급된 자동차를 수용할 수 있는 주차장의 면적 증대가 요구되었으며 (Hong et al., 2009), 근래의 주거단지 쾌적성 및 보행자 안전성 등의 제기는 지하주차장의 규모 증대를 가속화하였다. 또한 자동차의 보급으로 인한 교통체증문제를 완화시키고, 지상의 녹지화 및 도로 구축 시 사유지 문제로 지하 교통 인프라 정책이 활발히 추진되면서 지하터널의 활용이 증가하고 있는 추세이다(Yoo et al., 2016).

위와 같은 지하공간은 그 특성상 외부와 연결되는 개구부가 제한적이기 때문에 외기의 공급이 한정되고, 그로 인한 불완전연소의 가능성이 높아 대량의 연기 및 유독가스를 발생시킬 수 있다. 또한 이로 인한 시야 확보의 제한으로 대피 및 화재 진압활동에 제약이 발생함으로써 화재에 취약할 수밖에 없으며, 사고사례 또한 다수 발생되고 있다. Fig. 1은 지하주차장 화재사고 및 터널 화재사고의 사례를 나타낸다.

최근 5년(2015~2019)간의 국내 주차장 화재 현황을 살펴보면, 2016년 10대의 차량이 전소하고, 8명의 부상자를 발생시킨 송도 주상복합아파트 지하주차장 화재사고를 포함하여 총 3,817건(연간 평균 763건)의 사고가 발생하였고 사상자 127명, 재산피해 226억원이 발생하였다. 터널의 경우 2020년 32중 추돌사고 및 화재로 사망 5명, 부상 37명의 피해가 발생한 사매2터널 화재사고를 포함하여 최근 5년(2015~2019)간의 화재 현황은 총 130건(연

간 평균 26건)의 사고가 발생하여 부상 14명, 재산피해 124억원이 발생하였다. 주차장의 지하화 및 지하터널의 확대 등을 고려할 때, 이에 대한 적극적인 대책마련이 요구될 것으로 판단된다.



(a) Underground parking fire (Songdo, 2016)



(b) Underground tunnel fire (Samae 2 tunnel, 2020)

Fig. 1. Case of fire accident in underground space

4. 기존 소방설비 적용의 문제점

오늘날에는 다양한 종류의 휴대용 소화기와 자동 화재 진압 시스템이 있다(Cote, 2003). 실내 넓은 공간의 소화 시스템은 일반적으로 스프링클러 설비와 물분무 소화설비가 있다(Hu and Li, 2010a).

스프링클러 설비는 화원 자동 타겟팅 기능 및 화재 소화 시 자동 정지 기능이 없어 화재 범위 내에 있지 않은 설비에 혹은 적재물을 손상시킬 가능성이 있다. 또한 지하공간의 특성상 기화된 소화수의 배출이 원활히 이루어지지 않음에 따라 수증기로 인한 시야 방해에 따른 대피 및 인명구조에 불필요한 장애물이 형성됨으로써 피해상황을 악화시킬 우려가 있다(Hu and Li, 2010a). 더불어 일반적으로 열 감지 스프링클러는 높은 천장 공간 사용에 적합하지 않다. 예를 들어, 아트리움 바닥에서 5 MW 화재가 발생하더라도 15 m 이상의 아트리움 천장에서 스프링클러를 작동시킬 만큼의 충분히 높은 연기 온도가 발생하지 않았다는 연구 결과가 보고된 바 있으며(Chow, 1996; Notarianni and Gott, 1996), 화원과 천장 근처에 장착 된 스프링클러 헤드 사이의 거리로 인해 스프링클러 작동이 너무 늦어 화재 위험이나 손상을 최소화 할 수 없으므로 효과적인 소화가 진행되기 어렵다(Kim, 2020). 스프링클러가 작동하더라도 일반 스프링클러의 소화수는 직경이 작고 유속이 낮기 때문에 물방울이 화원에 닿기 전에 증발함으로써 소화능력이 낮아질 가능성이 존재한다(Khan et al., 2012).

물분무 소화설비의 경우 스프링클러와 유사하나 방수압이 높고 보다 미세한 소화수 입자를 가지는 특징을 가진다. 하지만 이 또한 자동 타겟팅 기능이 없어 사용을 위해서는 소방대원의 통제 하에 있어야 하며, 소화를 위해 요구되는 준비시간이 길다. 이는 초동진압이 중요한 화재에 있어 큰 문제점으로 제기될 수 있다. 또한 방호구역 외의 화재에 대해서는 사용이 어렵다는 문제점도 내포하고 있다(Hu and Li, 2010b).

이러한 기존 시스템은 화재의 성장을 더디게 하여 소방대원의 출동 시 화재를 진압하고 효율적인 작업을 수행

하는 데 일부 도움이 될 가능성은 존재하나, 위와 같은 문제점을 내포하고 있음으로써 화재 위험이나 피해를 최소화하기에는 한계를 가진다. 따라서 이를 대체하기 위한 추가적인 방안이 요구되는 실정이다(Yoo et al., 2016).

5. 자율형 초동진압용 소화체계

본 자율형 초동진압용 소화체계는 크게 화재감지센서, 분석 및 제어 장치, 소화 모니터로 구성되며, Fig. 2는 자율형 초동진압용 소화체계의 운용 개념도를 나타낸다. 화재감지센서는 고온체의 적외선 강도를 기반으로 화염을 탐지하는 IR 센서와 화염의 색을 기반으로 화염영역을 구분하는 색상기반 센서로 구성된 복합센서를 사용한다. 분석 및 제어장치에는 학습모델로써 학습 이미지 3,496개(화재 이미지 1,246개, 비 화재 이미지 2,249개)와 수치 실험 이미지 953개(화재 이미지 360개, 비 화재 이미지 593개)를 기반으로 수치 실험 정확도가 97.17%로 확인된 DenseNet을 컨볼루션 신경망(convolutional neural network, CNN)의 네트워크모델로 선정하였고, 삼각법을 활용한 3차원 위치 추정모델을 적용하여 화원의 위치를 확인한다. 소화모니터는 자동 및 수동조작이 가능하고 회전 각도 분해능이 우수한 엔코더를 선정하여 정밀도를 향상시켰으며, 이외에도 스프레이 패턴 제어, 노즐 유량 on/off, 수평 수직 각도 변환 기능 등을 포함하고 있다.

자율형 초동진압용 소화체계는 자율적으로 적정량의 소화수를 화원에 집중 분사하여 화재를 초기에 진압하기 위한 신개념 소화체계이다. 본 소화체계는 화재가 대규모로 확산되기 이전인 골든타임 안에 화재를 감지하고 능동적으로 초기 진압함으로써 재산 및 인명 피해를 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라, 화원에 집중하여 소화수를 분사함으로써 주변의 장비 및 물품에도 피해를 최소화하면서 화재진압이 가능하다는 점에서 기존의 소화체계(물 분무 소화설비, 스프링클러설비 등)와 대비될 수 있다.

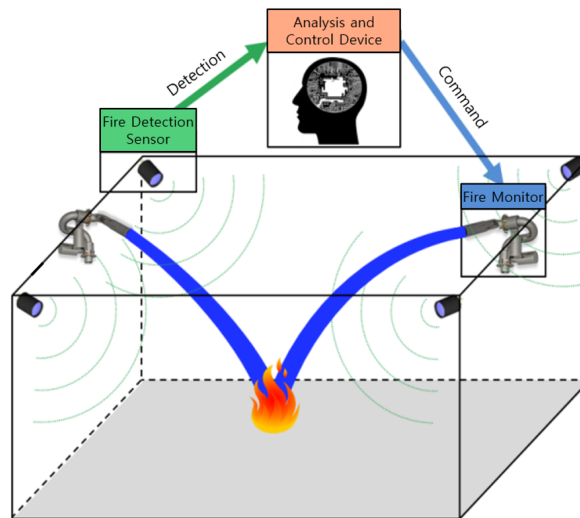


Fig. 2. Operation diagram of autonomous fire extinguishing system

6. 국외 기술동향과 국내 법규 분석 및 자율형 초동진압용 소화체계 성능기준 제시

국내에서 사용되는 소방용품의 경우, 화재발생시 불량제품이 설치되었거나 정상적으로 작동하지 않는 때에는 화재를 예방 또는 진압할 수 없고 인명의 안전을 담보할 수 없기 때문에 국민의 생명과 신체 및 재산보호를 목적으로 입법한 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」에 따라 소방용품의 제조·유통 및 설치를 제한하여 규제하고 있다(National Fire Agency, 2019a). 이러한 소방용품의 제한 및 규제는 인증제도를 통해 이루어지고 있으며, 의무제도(형식승인)과 임의제도(성능인증)으로 구분하여 운영되고 있다. 이 중 의무제도인 형식승인의 대상 물품은 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 시행령 제 37조 형식승인대상 소방용품에 의거하여 별표3 및 별표1에 명시되어 있으며, 각 품목의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 의거하여 성능기준이 명시되어 있음으로써 품질관리를 수행하고 있다(National Fire Agency, 2020). 하지만 앞서 언급한 자율형 초동진압용 소화체계는 그 필요성은 충분하나 법에서 규정하는 소방용품의 범위에 포함되지 않아 성능기준이 부재하며, 이에 따른 품질에 대한 관리에 한계가 발생할 가능성이 있기에 이를 효과적으로 현장적용하고 확산시키기 위해서는 성능기준의 마련이 시급하다.

이에 본 장에서는 국외 기술동향 및 국내 법규분석을 통한 자율형 초동진압용 소화체계의 성능기준을 제시하고자 한다. 국외 기술동향은 화재의 자동 감지 및 소화 기능이 구현된 시스템 개발 연구의 결과 및 제품을 대상으로 하였다. 국내 법규 분석에서는 소화설비의 소화수 분사 형태에 따라 성능기준이 상이하기 때문에 자율형 초동진압용 소화체계와 소화수 분사 형태가 유사한 소화설비를 중심으로 성능기준의 비교분석을 수행하였다. 자율형 초동진압용 소화체계는 소화모니터를 기반으로 소화수를 분사함으로써 화재를 진압하는 소화체계로, 적은 양의 소화수를 화재 지점에 집중 분사하여 소화를 진압한다. 따라서 국내 법규에서 명시하고 있는 소화설비 중 이와 유사한 소화수 분사 형태를 가지는 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」의 제 5조 옥내소화전설비 및 「옥내소화전설비 화재안전기준(NFSC 102)」의 성능기준을 중심으로 비교분석을 수행하였다. 더불어 자율형 초동진압용 소화체계를 현장적용 시 추가적인 소화수용 배관을 설치하는 것은 경제적인 부분에서 어려움이 존재하므로, 옥내소화전설비에 연결하여 사용하는 것이 유용할 것으로 판단됨에 따라 각 기준의 옥내소화전 기준을 기반으로 분석을 수행하였다.

6.1 국외 유사 사례 분석

앞서 언급한 기존 소방설비의 문제점들로 인해 자율 초동진압용 소화 체계의 필요성이 부각되고 있으며, 이에 다수의 연구자들이 해당 기술 개발을 위해 연구 중에 있으나(Hu and Li, 2010a; 2010b; Chen and Li, 2015), 해당 설비에 대한 기준이 불분명하여 각 연구 및 제품마다의 성능기준이 상이하다. 따라서 각 연구 및 제품에서 제시하는 성능기준에 대한 검토를 기반으로 자율형 초동진압용 소화체계의 성능기준(안) 제시 시 활용하고자 하였다. Table 1은 사용 노즐의 내경 및 방수압 등에 따라 성능의 편차가 발생할 수 있다는 한계는 존재하나, 선행연구에서 실험을 통해 개발품의 성능을 입증한 연구결과 및 제품의 성능기준을 나타낸다.

Table 1. Input parameters of the analysis performance standards based on overseas previous research and domestic regulations

Division	Paper name / Product name / Legal and standard	Protection radius (m)	Fire detection time (s)	Horizontal angle range (°) / Angular velocity (°/sec)	Vertical angle range (°) / Angular velocity (°/sec)	Water cannon pressure (MPa)	Water cannon flow (L/min)
Paper	Design and key technology research into auto-targeting fire extinguishing system of interior large space	≤ 15	Promptly	360	90 (±45)	-	-
Paper	Design of intelligent fire extinguishing system of interior large space	≤ 15	≤ 30	360	90	-	300
Paper	An automatic jet fire extinguishing device based on video	-	-	-	90	0.8	300
Pproduct	‘U’company : ‘F’model	Max. 65 (@ 1.2 MPa)	≤ 15	360 / 18	90 / 12	1.2	Max. 2200 (@ 1.2 MPa)
Legal and standard	Standards for building fire-fighting equipment	≥ 25	≤ 30	-	-	0.17-0.7	≥ 130

Chen and Li (2015)는 비디오 기반 자동 제트소화장치를 개발하였다. Left-up neighborhood algorithm을 기반으로 한 화재감지 및 위치결정 방법을 제안하였으며, 속도와 정밀도 확보를 위해 장치 회전에 보상제어방법을 적용하였고, 42 × 20 × 30 m 시험장에서 실제 화재진압 실험을 진행하였다. 실험 시 수평각은 밝히고 있지 않으며, 수직각은 0~90°까지, 방수압은 0.8 MPa, 방수량은 300 L/min으로 확인되었다.

Hu and Li (2010b)는 싱글칩 마이크로 컴퓨터 및 스텝 모터를 활용하여 지능형 소화시스템을 구축하였으며, 개방공간에서 5 m 높이에 설비를 설치 후 약 5 m 떨어진 화재를 진압하는 실험을 수행하였다. 실험 시 수평각은 360°, 수직각은 90° 작동을 기준으로 하였으며, 보호반경은 15 m를 기준으로 하였고, 감지 시간은 30초 이내, 유량은 300 L/min을 기준으로 하였다.

Hu and Li (2010a)는 스텝 모터 및 노즐 부에 수평·수직 화염 감지 센서를 부착하여 공간위치를 확인하고 소화하는 시스템을 제안하였으며, 개방공간에서 10 m 높이에 설비를 설치 후 반경 15 m 의 화재를 진압하는 실험을 수행하였다. 실험 시 수평각은 360°, 수직각은 90° 작동을 기준으로 하였으며, 그 외 정보는 밝히지 않고 있다.

‘U’사의 ‘F’모델은 수평각은 360°, 수직각은 ±90° 작동을 기준으로 하였으며, 각속도는 수평 18°/sec, 수직 12°/sec를 기준으로 하였다. 방수압이 1.2 MPa일 경우 최대 보호반경은 65 m, 최대 방수량은 2,200 L/min을 기준으로 하며, U.S. Navy (2015)의 실험결과에 따르면 12 MW급의 A급 화재를 대상으로 해당 설비를 통한 실험 시 감지속도는 15초 이내로 확인되었다.

국외 기술동향에서 실험을 기반으로 명시하고 있는 주요 성능요소는, 보호반경, 화재감지시간, 감시각도 범위(수평, 수직), 방수압, 방수량으로 확인되었다.

6.2 국내 소방대상물별 소방설비 관련 기준 분석(National Fire Agency, 2017a; 2017b)

국내 소방시설 설치기준은 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 시행령의 「별표5 특정소방대상물의 관계인이 특정소방대상물의 규모·용도 및 수용인원 등을 고려하여 갖추어야 하는 소방시설의 종류」 및 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」에서 장소별 적용 소방시설의 종류 및 설치기준, 성능에 대해 명시하고 있다. 또한 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」에서 도로 및 터널에 적용되는 소화설비의 성능기준을 따로 명시하고 있으며, 두 가지 성능기준이 서로 상이하기 때문에 자율형 초동진압용 소화체계의 최소한의 성능기준 도출을 위해 해당 성능기준들을 비교 분석하였다. 또한 해당 기준들에는 각 설비에 따른 성능기준이 명시되어 있기에 자율형 초동진압용 소화체계와 소화형태가 유사한 옥내소화전의 기준을 기반으로 6.1에서 도출된 성능요소를 위주로 내용들을 검토하였으며, 검토결과를 Table 1에 추가 명시하였다.

6.2.1 보호반경

Fig. 3은 지하건축물 및 지하터널에 대한 옥내소화전의 보호반경을 나타낸다. 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」의 제 5조 옥내소화전설비에서 소화전함과 방수구는 우측 측벽을 따라 50 m 이내의 간격으로 설치하며, 편도 2차선 이상의 양방향 터널이나 4차로 이상의 일방향 터널의 경우에는 양쪽 측벽에 각각 50 m 이내의 간격으로 엇갈리게 2개 이상을 설치하도록 명시하고 있다(National Fire Agency, 2017a). 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」의 제 7조 함 및 방수구 등에서는 각 층마다 설치하되 해당 특정소방대상물의 각 부분으로부터 옥내소화전 방수구까지의 수평거리가 25 m 이하가 되도록 명시하고 있다(National Fire Agency, 2017b).

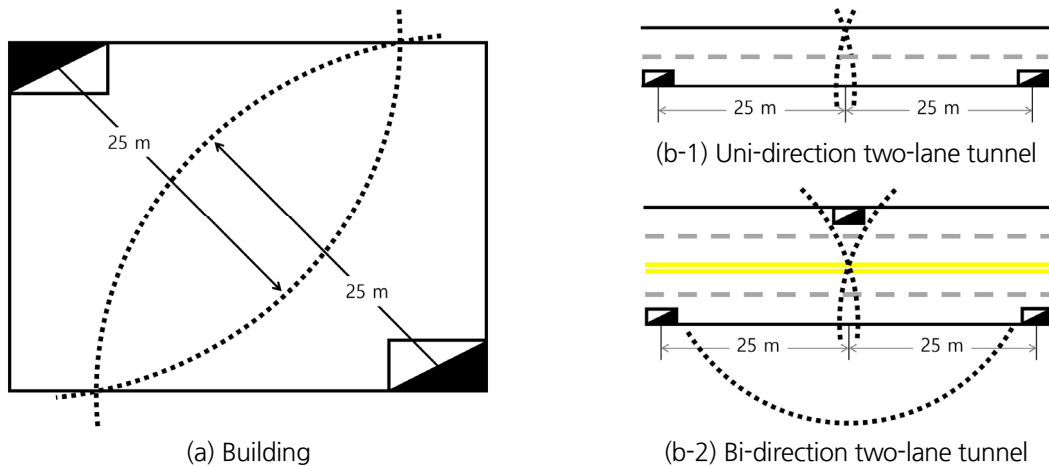


Fig. 3. Indoor fire hydrant protection range

즉, 최대 설치 이격거리는 25 m이나 보호반경은 최대 이격거리를 상회하는 값이어야 하기 때문에 터널 및 건축물 모두 하나의 소화전에서 보호해야 하는 보호 반경이 25 m 이상이 되어야 함을 나타낸다고 해석할 수 있다. 따라서 최소한의 성능기준은 25 m 이상을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

6.2.2 방수압

「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」의 제 5조 옥내소화전설비에서 옥내소화전의 설치개수 2개(4차로 이상의 터널의 경우 3개)를 동시에 사용할 경우 각 옥내소화전의 노즐 선단에서의 방수압력은 0.35 MPa 이상이며, 하나의 옥내소화전을 사용하는 노즐 선단에서의 방수압력이 0.7 MPa를 초과하는 경우에는 호스접결구의 인입 측에 감압장치를 설치하도록 명시하고 있다(National Fire Agency, 2017a). 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」의 제 5조 가압송수장치에서 어느 층에 있어서도 해당 층의 옥내소화전(5개 이상 설치된 경우에는 5개의 옥내소화전)을 동시에 사용할 경우 각 소화전의 노즐선단에서의 방수압력이 0.17 MPa (호스릴옥내소화전 설비를 포함한다) 이상이고, 하나의 옥내소화전을 사용하는 노즐선단에서의 방수압력이 0.7 MPa를 초과할 경우에는 호스접결구의 인입 측에 감압장치를 설치하도록 명시하고 있다(National Fire Agency, 2017b). 즉, 지하터널의 방수압 최소값이 지하 소방대상물 보다 더 높으며, 최대값은 동일함을 확인할 수 있다. 따라서 최소한의 성능기준은 지하소방대상물의 기준에 따라 0.17~0.7 MPa를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

6.2.3 방수량

「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」의 제 5조 옥내소화전설비에서 방수량은 190 L/min 이상이 될 것을 명시하고 있으며(National Fire Agency, 2017a), 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」의 제 5조 가압송수장치에서 방수량은 130 L/min 이상이 될 것을 명시하고 있다(National Fire Agency, 2017b). 즉, 지하터널의 방수량 최소값이 지하 소방대상물 보다 더 높음을 확인할 수 있다. 따라서 최소한의 성능기준은 지하소방대상물의 기준에 따라 130 L/min 이상을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

6.2.4 화재감지시간

화재감지시간은 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」의 및 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」 모두에서 명확하게 명시하고 있지 않음을 확인하였다. 따라서 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」을 참고하여 선행 연구 및 제품에 적용되었던 불꽃감지기(자외선 및 적외선 감지기)의 기준을 검토한 결과, 공칭감지거리를 명시하도록 하고 있으며, 이에 대한 명시 간격 단위만이 기재되어 있을 뿐 성능기준은 부재하였다. 다만, 명시된 공칭감지거리를 기반으로 성능검증을 수행하는 시험방법이 기록되어 있음을 확인하였다. 이에 따르면 옥내에 설치되는 불꽃감지기는 유효감지거리의 1.2배의 거리에서 한 번의 길이가 33 cm인 정사각형 통에 n-헵탄을 연소시킬 때 30초 이내에 화재 신호를 발신하여야 함을 명시하고 있다(National Fire Agency, 2019b). 이에 최소한의 성능기준은 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」에 따라 30초 이내로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

6.3 성능 기준 제시

국외 기술동향 및 국내 법규 분석 결과를 기반으로 자율형 초동진압용 소화체계의 최소한의 성능기준을 Table 2에 제시하였다. 해당 성능기준은 Table 1의 데이터를 기반으로 가장 낮은 수준의 결과값을 적용하여 도출하였으며, 이는 자율형 초동진압용 소화체계의 적용 시 최소한 Table 2의 성능 기준보다는 높은 수준의 성능이 요구됨을 나타낸다.

Table 2. Minimum performance standards of autonomous fire extinguishing system

Division	Performance standard
Protection radius (m)	≥ 25
Fire detection time (s)	≤ 30
Horizontal angle range (°)	360
Vertical angle range (°)	90
Angular velocity (°/sec)	≥ 15
Waterproof pressure (MPa)	≥ 0.17
Waterproof flow (L/min)	≥ 130

보호반경은 25 m 이상이 되며, 방수압은 0.17 MPa 이상, 방수유량은 130 L/min 이상이어야 한다. 화재감지시간은 30초 이내, 수평각/수직각 범위는 360°/90°로 전방위 활용이 가능해야 한다. 각속도의 경우 자율형 초동진압용 소화체계가 한 방향으로 회전하며 화재를 감지할 때 화재감지시간 최대 30초를 기준으로 이동할 수 있는 각도(수평으로 360°, 수직으로 90°)를 고려하여 수직 수평 각속도의 평균으로 산출하였으며, 이에 따라 평균 초당 15°의 속도 이상을 가져야 할 것으로 판단된다.

앞서 제시한 성능기준을 기반으로 제품의 성능평가를 수행하기 위해서는 각 성능요소에 대한 타당한 성능평가 시험법이 요구된다. 따라서 향후 선행연구의 성능검증 실험방법 및 국내 소화설비 성능시험법에 기반하여 각 성능요소의 평가가 가능한 성능평가 시험법에 대한 추가연구가 필요할 것으로 사료된다. 더불어 경제성을 고려하여 자율형 초동진압용 소화체계를 옥내소화전에 설치하여 사용하게 될 경우 법정 소화수용 배관 및 펌프시설 등을 공유할 수 있는 관계법령 및 기준의 일부 개정이 요구될 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구에서는 선행 연구자료의 검토를 기반으로 확인된 기존 소화체계에 대한 문제점을 개선하고 보다 효과적인 자율형 초동진압용 소화체계를 제시하고, 이를 보다 효과적으로 활용하기 위해 성능평가를 위한 성능기준을 제시하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 기존의 소화체계는 소화성능의 한계가 있으며, 이를 보완한 자율형 초동진압용 소화체계의 보급이 요구된다.
2. 자율형 초동진압용 소화체계의 사용 확대를 위해서는 성능기준 마련이 선행되어야 하며, 이를 위해 선행연구 및 현행 법규 분석을 수행하여 성능요소를 도출하고 성능기준에 대한 의견을 제시하였다.
3. 선행연구의 실험방법 및 현행 법규의 성능인증 시험법을 기반으로 자율형 초동진압용 소화체계의 성능인증 기준에 대한 적합여부 판정을 위해 요구되는 성능인증 시험법에 대한 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.
4. 자율형 초동진압용 소화체계를 옥내소화전에 설치하여 사용하게 될 경우 법정 소화수용 배관 및 펌프시설 등을 공유할 수 있는 관계법령 및 기준의 일부 개정이 요구될 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 자율형 초동진압용 소화체계의 성능기준 및 시험법을 이용하여 이를 현장적용할 경우 화재피해를 저감하는데 직접적인 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다(협약번호 UM19304RD3).

저자 기여도

김남균은 연구 개념 설계 및 원고를 작성하였으며, 김휘성은 국내 법규 조사 및 분석, 박진욱, 박병직은 국외 연구자료 조사 및 분석, 김양균은 국외 법규 및 기준 조사에 기여하였으며, 유용호는 본 연구의 총괄 책임을 맡아 연구 설계, 결과 분석 및 논문을 작성하였다.

References

1. Chen, X., Li, X. (2015), "An automatic jet fire extinguishing device based on video", Proceedings of the 2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering (MEIC-15), Atlantis Press, pp. 1042-1045.
2. Chow, W.K. (1996), "Performance of sprinkler in atria", Journal of Fire Sciences, Vol. 14, No. 6, pp. 466-488.
3. Cote, A.E.(Ed.) (2003), Operation of fire protection systems, National Fire Protection Association, Quincy.
4. Hong, S.R., Jeong, D.Y., Shim, S.R. (2009), "Characteristics of planting design according to parking lots type in multi-family housing complex", Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, Vol. 37, No. 1, pp. 43-49.
5. Hu, G., Li, Z. (2010a), "Design and key technology research into auto-targeting fire extinguishing system of interior large space", Proceedings of the 2010 International Conference on Electrical and Control

- Engineering, IEEE, Wuhan, pp. 687-690.
6. Hu, G., Li, Z. (2010b), "Design of intelligent fire extinguishing system of interior large space", Proceedings of the 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, IEEE, Henan, pp. 1-4.
 7. Khan, M.J.A., Imam, M.R., Uddin, J., Sarkar, M.A.R. (2012), "Automated fire fighting system with smoke and temperature detection", Proceedings of the 2012 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering, IEEE, Dhaka, pp. 232-235.
 8. Kim, C.Y., Kong, H.S. (2019a), "Fire detection performance experiment of the water jet nozzle position control type automatic fire extinguishing facility for road tunnels", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 85-91.
 9. Kim, C.Y., Kong, H.S. (2019b), "Water jet experiment of automatic fire-tracking water cannon facility combined with indoor hydrant facility in road tunnels", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 92-98.
 10. Kim, J.H. (2020), "Design of integrated smart fire protection system for rack storage", Fire Science and Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 26-36.
 11. Ku, J.H. (2013), "A study on characteristics analysis for detection performance of a video-based automated fire detection system", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 13, No. 5, pp. 239-246.
 12. Myoung, S.Y., Jeong K.S. (2018), "Concentrated watering sprinkler system for rack-type warehouses", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 18, No. 5, pp. 105-111.
 13. National Fire Agency (2017a), Fire safety standards of road and tunnel (NFSC 603).
 14. National Fire Agency (2017b), Fire safety standards for indoor fire hydrant equipment (NFSC 102).
 15. National Fire Agency (2019a), Law on fire prevention, fire extinguishing equipment installation, maintenance and safety management.
 16. National Fire Agency (2019b), Type approval and certification technical standards of sensor.
 17. National Fire Agency (2020), Enforcement ordinance of law on fire prevention, fire extinguishing equipment installation, maintenance and safety management.
 18. Notarianni, K.A., Gott, J.E. (1996), "Analysis of high bay hangar facilities for detector sensitivity and placement", Proceedings of the Engineering Seminars: Fire Protection Design for High Challenge or Special Hazard Applications, Boston, pp. 1-8.
 19. Park, J.O., Yoo, Y.H., Kim, H.S., Park, B.J., Kim, Y.K. (2017), "Fire suppression test using the automatic monitor system for double-deck tunnel", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 6, pp. 40-46.
 20. Park, J.O., Yoo, Y.H., Kim, Y.K., Park, B.J., Kim, W.S., Park, S.H. (2019), "Development of remote control automatic fire extinguishing system for fire suppression in double-deck tunnel", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 21, No. 1, pp. 167-175.
 21. Rehman, A., Masood, N., Arif, S., Shahbaz, U., Sarwar, F., Maqsood, K., Imran, M., Pasha, M. (2012), "Autonomous fire extinguishing system", Proceedings of the 2012 International Conference of Robotics and Artificial Intelligence, IEEE, Rawalpindi, pp. 218-222.
 22. Su, K.L. (2006), "Automatic fire detection system using adaptive fusion algorithm for fire fighting robot", Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, IEEE,

Vol. 2, pp. 966-971.

23. U.S. Navy (2015), Suppression of shipboard fires in large volume spaces using monitors - Final Report, pp. 1-36.
24. Yoo, Y.H., Park, S.H., Han, S.J., Park, J.O. (2016), "The study on application of automatic monitor system for initial fire suppression in double-deck tunnel", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 18, No. 5, pp. 419-429.
25. Yuan, F. (2010), "An integrated fire detection and suppression system based on widely available video surveillance", Machine Vision and Applications, Vol. 21, No. 6, pp. 941-948.