밀폐공간 내에서 액체연료 화염의 소화한계에 관한 연구

Study on Extinguishing Limits of Liquid Fuel Flames in Confined Spaces

전길송* · 심재웅** · 황지현*** · 김도현**** · 이태원*****

Jeon, Kilsong*, Sim, Jaeung**, Hwang, Jihyun***, Kim, Dohyun****, and Lee, Taewon*****

Abstract

To sustain a flame following fuel ignition, it must receive oxygen from the surroundings at a concentration above a stoichiometrically-determined threshold; otherwise, the flame will decrease in intensity or extinguish. These thresholds vary depending on the type of fuel. Using the aforementioned factors, it is possible to predict and control the characteristics of flames in confined spaces. While the combustion characteristics of flames exposed to the atmosphere have been actively studied under controlled conditions, it is more challenging to predict and remediate the impact of variables, which manifest in real fire sites. In this study, following the ignition of a flame in a confined space with limited oxygen supply, oxygen and carbon dioxide levels and temperature at this space were measured according to changes in the fuel supply capacity. The extinguishing limit oxygen concentration as well as the extinguishing time decreased in relation to the size of the initial source. These results can guide the design and control of fire-fighting equipment for the early detection and extinguishing of fires.

Key words : Confined Space, Liquid Fuel, Flame, Combustion Characteristics, Extinguishing Limit

요 지

연료에 불이 붙은 뒤 화염이 지속되기 위해서는 주위로부터 일정 이상의 산소가 공급되어야 하며, 그렇지 않은 경우 화염은 감소하거나 소멸된다. 이런 조건은 연료의 종류에 따라 다르다. 이 특성을 활용한다면 제한된 공간에서 발생한 화염 성상에 대한 예측과 제어가 가능할 것이다. 하지만 지금까지 일반적인 대기 환경에서 제어된 조건에 따른 화염 성상에 대한 연소특성 연구는 활발히 수행되었으나, 실제 화재현장은 다양한 변수 때문에 예측과 대응이 쉽지 않다. 본 연구에서는 외부로부터 산소의 공급이 제한된 밀폐공간에서 화염을 발생시킨 후, 연료의 공급능력 및 초기 화원의 크기 변화에 따른 공간 내 산소, 이산화탄소농도 및 온도를 측정함으로써, 환경 변화에 따른 화염의 거동특성을 고찰하였다. 결과로써 밀폐공간에서 화염이 자연적으로 소화되는 소화한계 산소농도와 그때까지 소요되는 소화시간을 얻었고, 이들은 초기화원의 크기에 따라 감소하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 화재현장에서 화재의 조기 감지 및 질식소화를 위한 각종 소방설비의 설계 및 제어에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 밀폐공간, 액체연료, 화염, 연소특성, 소화한계

*정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구원(E-mail: jeonkilsong@kict.re.kr)

Member, Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(E-mail: simjaeung@kict.re.kr)

Member, Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구원(E-mail: flyhigh0316@kict.re.kr)

Member, Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

****정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 선임연구원(E-mail: kimdh@kict.re.kr)

Member, Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*****교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 선임연구원(Tel: +82-31-910-0587, Fax: +82-31-369-0670, E-mail: twlee@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Research Fellow, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서 론

국내에서 발생하는 화재의 50% 이상은 건축물 화재이며 특히 실내화재가 큰 비중을 차지하고 있다. 현재 일반적인 화재 발생에 따른 확산 특성 및 연소 특성에 관한 연구는 활발하게 이루어지고 있으며 그 자료 또한 충분히 축적되고 있는 상황이다(Seo and Min, 2017). 하지만 실내화재의 경우에는 매우 다양한 변수가 존재하기 때문에 특성을 예측하는 것이 어렵다. 그러나 이러한 실내화재와 관련하여 화재 발생 범위를 일정 공간으로 제한하고 밀폐 상태를 가정한다면 화재 특성에 대한 예측이 가능할 것으로 판단된다. 밀폐공간을 가정했다는 것은 화염의 3요소인 산소, 열, 가연물 중 산소의 제거를 통한 소화 특성 확인한다는 의미이다. 이러한 특성을 잘 활용한다면 실내 밀폐된 공간에서 발생하는 화염의 특성 예측 및 통제가 가능할 것으로 판단된다. 이러한 이론을 바탕으로 공간 밀폐를 활용한 소화 시스템의 구축이 가능할 것이다(Park and Min, 2019).

물론 이러한 소화시스템을 모든 공간에 적용시키는 것은 한계가 있다. 밀폐가 충분히 이루어진다는 조건이 필수적이다. 또한 산소가 제거되어 소화가 이루어지는 방식이므로 인명피해와 관련된 사항도 완벽하게 확인되어야 한다. 하지만 이러한 현실적인 제약에도 불구하고 전산실, 문서고, 실험실, 박물관 등 공간 밀폐에 대한 조절이 가능하며 화재 발생 가능성이 크며, 일반적인 스프링클러 및 포소화 약재에 취약함을 가지는 특수한 공간에 적용시키는 것에는 큰 장점을 가지고 있다(Mike et al., 2005). 이러한 이유로 밀폐공간에서의 화염의 소화한계에 관한 연구를 수행하고자 하였다.

먼저, 본 연구에서는 화원의 종류로 액체연료, 그 중에서도 연소반응식이 비교적 간단하고 완전연소의 가능성이 큰 에탄올을 대상으로 선정하였다. 이는 앞에서 언급했듯이 실내화재가 가지고 있는 변수가 매우 다양하며 그에 따른 결과 역시 무궁무진하므로 초기 데이터 축적을 위한 이번 연구에서는 이러한 변수를 최소화 할 필요가 있었다. 추후에는 이 실험에 이어서 더 다양한 화원에 따른 실험 역시 수행할 예정이다.

본 연구에서는 외부로부터 산소의 공급이 제한되는 밀폐 공간에서 화염을 발생시킨 후, 연료의 공급능력 및 초기 화원의 크기 변화에 따른 공간 내 산소와 이산화탄소 농도 및 온도를 측정함으로써, 환경의 변화에 따른 화염의 거동특성을 고찰하였다(Ryu and Kwak, 2020). 결과로써 밀폐공간에서 화염이 자연적으로 소화되는 소화한계 산소농도와 그때까지 소요되는 소화시간을 얻었으며, 이와 같은 결과는 화재현장에서 화재의 조기 감지 및 가스를 이용한 스프링클러 등 질식소화를 위한 각종 소방설비의 설계 및 제어에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다(Jeong and Kim, 2010).

이러한 결과를 바탕으로 앞으로 궁극적으로 도입하고자 하는 새로운 소화시스템은 기존의 가스소화설비와 작동의

개념에서 차이가 존재한다. 기존 가스소화설비는 화염이 감지되면 일정 공간 내에서 과량의 가스를 임의로 주입하여 소화를 수행한다(Nguyen and Ro, 2017). 하지만 본 연구에서 사용되는 시스템은 실시간으로 측정되는 수치들의 변화를 감지하여 화염을 빠른 시간 내에 조기발견이 가능하며, 그 상황에 맞는 적절한 대응이 가능한 시스템이다. 실시간 수치들에 의한 소화설비 조작이 가능하기 때문에 사용되는 가스의 소비를 최소화할 수 있으며 효과적인 통제가 가능하다. 이러한 신속하고 경제적인 새로운 소화설비를 현장에 적용시키는 것이 최종 목표라고 할 수 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

밀폐공간에서의 화염 거동 및 소화한계에 관한 실험을 수행하기 위해서 실제 공간의 상황을 대체할 수 있는 시뮬레이터를 제작하여 사용하였다. 시뮬레이터의 크기는 1.2 m × 0.435 m × 0.6 m이며 이는 일반적인 공조설비가 설치되는 사무실 공간의 1/6의 규모에 해당한다. 제작된 시뮬레이터는 급기 및 배기 장치가 설치되어 있으며 송풍기와 댐퍼 역시 존재한다. 공조장치가 작동하지 않으면 밀폐상태가 유지되도록 하였다. 본래 밀폐상태라 하면 내외부가 완벽하게 차단된 완전밀폐를 의미하나 실제 이를 구현하기는 여러 제약이 있으므로 실험에서는 환기장치의 작동 정지 및 급기부와 배기부의 폐쇄 정도의 수준으로 밀폐상태를 정의하였다. 본 실험의 제작된 시뮬레이터 사진을 Fig. 1에 보였다.

시뮬레이터 중앙 상단부에는 화염의 감지만이 아닌 시뮬레이터 내부 상태의 감시를 위한 복합 센서를 설치했는데, 이 센서를 통해 시뮬레이터 내부의 다양한 상태를 실시간으로 측정하는 것이 가능하다. 측정 가능한 상태량으로는 온도, 습도, 산소 농도, 이산화탄소 농도 및 연기와 먼지 농도이다. 본 연구에서는 화염감지에 가장 직접적인 요소인 온도와 산소 및 이산화탄소 농도에 대한 분석만을 수행하였다(Kim and Seo, 2017). 본 실험에 사용된 복합 센서의 제원을 Fig. 2에 정리하였다. 측정결과는 데이터로거를 통해 컴퓨터에 저장한 후 추후 분석에 사용하였다.

Fig. 1. A View of Simulator Used for Experimentation

Fig. 2. Specification of Multipurpose Sensor

Information	
Smoke	200~5,000 ppm
O ₂	0~25%
CO ₂	0~4,900 ppm
Temperature	-40~123.8 °C
Humidity	0~100%
Dust	0~1,000 µg/m ³

2.2 실험방법

밀폐공간 내에서 액체연료 화염의 소화한계 확인을 위한 실험방법은 다음과 같다. 시뮬레이터 내부에 에탄올 램프를 이용하여 불을 붙이고 흡기 및 배기 장치를 조작하여 내부 공간에 유입되는 산소를 차단시켜 소화가 가능한지 확인하고, 그 때의 각종 수치들의 변화량을 측정하여 화염의 거동에 관한 경향을 예측하였다. 실험에서 사용한 액체연료는 에탄올로 선정하였다. 이는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 연료를 사용하고자 하였고 무엇보다 연료에 따른 변수를 최소화할 수 있는 물질을 선택하였다. 에탄올은 대정화학에서 판매하는 99.9%의 순도의 제품을 사용하였으며, 에탄올의 완전 연소 반응식은 다음과 같다.

연소 반응식을 살펴보면, 생성물이 물과 이산화탄소만을 포함하고 있기 때문에 화염 거동 예측이 비교적 용이하다. 또한 생성물에 따른 영향이 적을 것으로 예상된다. 에탄올 1몰이 반응할 때 이론적으로 필요한 산소는 3몰이며 이를 이용하면 이론적인 산소 소모량에 대한 계산도 가능하다(Ji and Lee, 2010; Shin, 2013).

다음으로 다양한 크기의 화원에 따른 경향을 확인하는 실험을 위해서 먼저 이를 명확하게 정의하는 단계가 필요하였다. 본 연구에서는 변수로 사용될 화원의 크기를 개방된 공간에서 단위 시간당 소모되는 에탄올의 양으로 정의하였다. 즉 개방된 공간에서 시간에 따른 가연물의 질량 감소속도를 화원의 크기 변수로 설정하였으며 단위는 g/min로 나타내었다. 단위 시간당 소모되는 가연물의 양이 클수록 화원의 크기는 비례하므로 적절하게 정의되었다고 판단된다. 추가적으로 화원의 종류가 달라져도 이러한 정의를 통해 화원의 크기에 대한 비교가 가능하다고 판단된다. 최종적으로 이러한 방법을 통하여 실험을 진행하였으며 누적된 데이터 분석을 통하여 화염의 소화한계에 관한 연구를 수행하였다(Jeon et al., 2021).

Fig. 3. Flame Behavior in a Confined Space

3. 실험결과 및 고찰

3.1 화염의 일반 거동특성

앞에서 설명한 실험방법에 따라 에탄올 램프를 이용한 밀폐상태에서의 자연소화 여부를 확인하였다. 사용된 에탄올의 초기 화원의 크기는 약 2.5 g/min에 해당하며, 밀폐공간에서 점화 시점부터 시간이 지나면서 화염의 크기가 작아지다가 결국 소화가 되는 것을 확인할 수 있었다. 이 경우 자연소화까지 소요된 시간은 약 20분이었고, 이 과정을 Fig. 3에 단계에 따라 나타냈다. 화염이 발생한 순간부터 시간의 경과에 따라 화염이 줄어들며 최종적으로 소화됨을 확인할 수 있다. 여기서 완전 소화되는 시점을 확인하는 방법은 기본적으로 육안을 우선하여 확인하였다. 하지만 육안으로는 완벽한 구분이 힘들고 정확성이 떨어지므로 완전 소화의 여부 확인을 위하여 화염소멸 판단시점에서 환기장치를 통해 산소를 주입하여 재발화가 일어나는지의 여부를 확인하였다. 재발화가 일어나지 않은 상태를 완전한 소화 상태로 판단하였다. 이러한 기준에 맞게 화염발생 시점부터 화염의 소멸시점까지의 이산화탄소와 산소의 농도 및 온도의 시간 변화를 그래프로 정리해 분석하였다.

Fig. 4는 밀폐공간에서 액체연료의 화염 발생시점부터 화염이 완전히 소멸되는 시점까지의 이산화탄소 농도 및 온도의 시간변화를 도시한 것이다. 이산화탄소 농도의 경우 화염이 발생하자마자 그 수치가 급격하게 증가하는 경향을 보여주는데, 이는 짧은 시간, 즉 1분 이내에 센서가 측정할 수 있는 최대 범위인 4,900 ppm까지 도달했기 때문이다. 실험에 사용된 센서는 ppm 단위로 이산화탄소 농도 측정이

Fig. 4. Time Variations of Carbon Dioxide Concentration and Temperature

가능하므로 화염이 발생한 순간부터 생성되는 이산화탄소의 포착이 바로 가능하였다. 이러한 특성은 화염 발생 판단 기준에 매우 유용할 것으로 생각된다. 한편, 일정 시간 이후에는 이산화탄소 농도가 변하지 않는 것을 볼 수 있는데, 이는 사용된 센서의 측정 범위의 한계 때문이다. 본 연구는 화염의 발생부터 소멸 시점까지의 시간에 대한 연소특성에 실험을 수행한 것으로, 이산화탄소 농도는 화염의 발생을 감지할 뿐, 소화특성의 판단에는 기여를 하지 않는다는 판단으로 센서를 교체하지 않고 그대로 사용하였다.

또한 시뮬레이터 내부 온도는 일반적으로 예상할 수 있듯이 화염이 발생하는 시점부터 화염이 소멸하기 전까지 전반적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 하지만 그래프에서는 완벽하게 화염이 소멸하기 전에 온도가 감소하는 구간이 나타난다. 이는 밀폐공간에 존재하는 산소가 화염 발생 후 시간에 따라 점점 소멸됨에 따라 내부에 존재하는 화원의 크기가 감소하게 되고 외부 공기에 의해 시뮬레이터가 냉각되는 속도보다 화원을 통한 온도 증가 속도가 더 느려지기 때문에 발생한 현상으로 판단된다. 이와 같은 현상은 내부 화원의 크기 및 종류에 따라 그 경향이 일정하지 않을 것으로 예상되며, 이러한 이유로 하나의 상태량을 이용해 화염의 상태를 판단하는 것에는 한계가 있음을 알 수 있다. 따라서 화염의 거동 및 소화특성은 복수의 상태량에 의한 복합적인 판단이 필요함을 확인할 수 있었다.

3.2 초기 화원의 크기에 따른 산소농도 변화

본 연구에서 확인하고자 하는 밀폐공간에서의 자연소화에 영향을 미치는 가장 중요한 요소가 산소 농도이다. 이러한 이유로 Fig. 5에 시간에 따른 산소 농도의 변화를 다양한 초기 화원의 크기에 대해 도시하였다. 일단 화염이 발생하면 초기 화원이 비교적 큰 경우에는 점화 이후 산소 농도가 급격히 감소하다가 화염의 소멸 시점에서 최소값을 보여준 이후에는 다시 증가하는 경향을 보여준다. 이는 화염이 주변의 산소와 결합해 화학반응을 일으키다가 농도차에 의한

Fig. 5. Time Variations of Oxygen Concentration for Various Initial Flame Size

자연대류에 의해 화염에 공급되는 단위시간 당 산소의 양이 반응에 의해 소비되는 양보다 적기 때문에 판단된다. 즉, 연료의 화학반응 속도가 산소의 자연대류 확산속도보다 크기 때문이다. 또 화염이 소멸된 이후에는 산소농도가 오히려 증가하는 현상은 화염이 소화된 이후에도 산소 농도차에 의한 자연대류가 발생해 상대적으로 화염으로부터 먼 공간의 산소가 공급되기 때문인 것으로 생각된다.

한편, 이와 같이 산소농도가 감소하는 시간변화율이나 화염이 소멸되는 시점, 그리고 화염이 소멸하는 시점의 산소 농도는 초기 화원의 크기에 따라 각각 다르며, 특히 초기 화원의 크기가 상대적으로 작은 영역에서는 산소농도가 최소가 되는 현상이 약화되거나 없어지는 것을 보여주고 있는데, 이는 앞서서도 기술한 바와 같이 화염의 화학반응 속도와, 농도차에 의한 산소의 자연대류 확산속도의 차이가 초기 화원이 큰 경우에 비해 상대적으로 작기 때문이다.

정량적 분석을 위해 본 연구에서는 화염이 소멸되는 시점의 산소 농도를 소화한계 산소 농도로 정의하였다. 초기 화원의 크기가 작은 경우에는 약 15% 수준의 소화한계 산소농도를 보여주지만, 이는 초기 화원의 크기가 증가할수록 점점 낮아져 9%까지 떨어지는 것을 볼 수 있다. 물론 여기서 사용된 소화한계 산소농도는 실제로 소모된 산소의 절대량과는 다른 개념이다. 본 연구에서 사용된 산소 농도 측정 센서는 실시간으로 측정되는 산소의 농도를 나타내므로 화염이 발생한 순간부터 완전 소화된 시점까지 사용된 산소의 총량과는 차이가 있다. 이러한 차이에 대한 내용은 다음 장에서 설명하였다.

한편, 지금까지 기술한 결과는 측정을 위한 복합 센서가 화염의 직상부에 설치된 경우로서, 일정한 위치에 고정된 센서에 대한 화염의 상대적 발생위치에 대한 검토가 추가적으로 수행될 필요가 있다. 또한 시뮬레이터 공간에 대한 초기 화원의 상대적 크기에 대한 추가적인 검토도 필요한 것으로 판단된다.

이렇듯 초기 화원의 크기가 다른 경우에 소화되는 시점에

서 측정되는 소화한계 산소농도가 모두 다르므로, 이와 같은 결과를 이용하면 각종 액체연료의 소화한계에 이르기 위해 요구되는 환경에 대한 판단이 가능할 것이다. 추후에는 이 연구를 더 발전시켜 더 다양한 종류의 연료에 따른 결과를 추가할 예정이며, 많은 양의 변수들에 모두 대응할 수 있는 자료를 구축할 예정이다.

3.3 소화시간 및 소화한계 산소농도

실험을 통하여 얻은 액체연료의 소화특성, 즉 초기 화원의 크기에 따라 소화시간, 소화한계 산소농도, 최고온도, 분당 소비열량, 산소 소모량을 Table 1에 정리하였다.

초기 화원의 크기는 실험방법에서 설명했듯이 가연물의 질량감소속도로 표현하였으며 소화시간 및 소화한계 산소농도, 최고온도는 실시간으로 측정된 데이터의 분석 및 측정을 통하여 구하였다. 다음으로는 분당 소비열량을 구하였는데 이는 본 연구에서 제시한 초기 화원의 크기를 소비열량으로 변환한 것으로, 기체 및 고체 연료 등 앞으로 수행할 다른 종류의 화원과의 객관적인 비교를 위하여 사용한 것이다. 또한 산소 소모량은 밀폐된 공간에서 화염발생 시점부터 화염 소화 시점까지 총 소모된 가연물의 질량을 측정하여 이것이 소모되는데 필요한 산소의 양을 계산하여 제시하였다. 에탄올의 완전연소 반응식을 이용하여 1몰의 에탄올이 소모되는데 3몰의 산소의 양이 필요하므로 이를 역산하여

계산하였다. 산소 소모량은 앞에서 언급한 소화한계 산소농도와는 다른 개념으로, 각 화원의 크기에 따라서 적용되는 시간이 모두 다르므로 절대적인 비교 기준이 될 수는 없겠지만, 최종적으로 밀폐공간 내에 남아있는 산소의 양을 유추할 수 있는 자료로 활용될 수 있어 중요한 지표로 판단된다.

데이터를 살펴보면, 5.7 g/min의 화원을 기준으로 그 이상의 경우에는 소모된 산소의 양이 유사한 것을 알 수 있었다. 하지만 그 이하의 경우에는 더 많은 산소가 소모되었으며 이는 공간 내에 남아있는 산소의 양이 더 적다는 것을 의미한다. 액체연료의 경우 화원의 크기가 작을 때 밀폐된 공간에서 자연 소화가 일어나는 시간은 매우 길어지며, 그에 따른 내부 산소 소모량도 비례해 증가함을 알 수 있다.

Fig 6은 초기 화원의 크기에 따른 밀폐공간 내에서 화염이 자연적으로 소화되는 시간, 즉 소화시간을 도시한 것으로, 초기 화원의 크기가 증가함에 따라 소화시간은 기하급수적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 즉 5.7 g/min 이상의 영역에서는 소화 시간에 큰 변화를 보여주지 않는 반면, 이하의 영역에서는 초기 화원 크기의 증가에 따라 소화시간이 매우 급격하게 증가한다.

이는 화원의 크기가 작을수록 동일한 공간 내에서 단위시간당 화학반응에 요구되는 산소의 총량이 적기도 하거니와, 앞에서 기술한 바와 같이 화염의 화학반응 속도와 농도차에 의한 산소의 자연대류 확산속도의 차가 상대적으로 적기

Fig. 6. Variation of the Extinguishing Time with the Initial Flame Size

Fig. 7. Variation of the Oxygen Concentration with Initial Flame Size

Table 1. Liquid Fuel Extinguishing Characteristics

Flame size (g/min)	Extinguishing time (min)	Limit oxygen concentration (%)	Highest temperature (°C)	Calories consumed (MJ/min)	Oxygen consumption (g)
1.2	85	14.6	42	33.6	105.3
1.7	60	13.5	50	47.6	109.9
2.2	30	13.0	54	61.6	89.8
5.7	7	12.7	54	159.6	61.8
10.5	4	11.9	54	294.0	58.8
20.0	2	8.5	55	560.0	60.4

때문이기도 하다.

이상에서 검토한 결과를 기초로 초기 화원의 크기에 따른 소화한계 산소농도의 변화를 Fig. 7에 도시하였다. 초기 화원의 크기가 큰 범위(2.2 g/min 이하의 영역)에서는 소화한계 산소농도가 초기 화원의 크기에 따라 급격히 감소하다가, 그 이상의 범위에서는 초기 화원의 크기에 따른 소화한계 산소농도의 변화 기울기가 크게 줄었다가 이후의 화원 크기에서는 다시 증가하는 경향을 볼 수 있다. 본 연구에서 제시한 이와 같은 결과를 활용해 실제 밀폐된 것으로 고려가 가능한 공간에서 실시간으로 측정되는 데이터를 분석해 먼저 화염의 크기를 예측하고 소화한계 산소농도 등 그 때 필요한 소화 환경을 산출할 수 있다면, 보다 신속하고 경제적인 가스소화설비의 설계 및 운영이 가능할 것으로 예상된다.

4. 결 론

밀폐된 공간에서 에탄올을 사용한 액체연료 화원의 규모에 따른 화염의 거동특성과 소화한계 규명을 위한 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 화염 발생부터 소화 시점까지 산소와 이산화탄소 농도 및 온도의 시간 변화를 개방된 공간에서의 가연물의 소모량에 해당하는 초기 화원의 크기(g/min)에 따라 측정, 분석하였다.
- (2) 초기 화원의 크기 상대적으로 큰 경우에는 초기에 산소농도가 급격히 감소하다가 화염이 소멸한 이후에는 다시 증가하는 경향을 보이나, 화원의 크기가 감소함에 따라 이러한 현상은 완화되거나 소멸된다.
- (3) 밀폐공간에서 점화 이후 화염이 자연 소화되는 시점의 산소농도를 소화한계 산소농도, 그 때까지의 소요시간을 소화시간으로 정의한바, 초기 화원의 크기에 따라 고유한 값을 나타낸다.
- (4) 소화시간과 소화한계 산소농도는 초기 화원의 크기가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주었다.

본 연구에서는 화원으로 액체연료를 대상으로 하였으나, 추후 기체 및 고체연료에 관한 추가적인 데이터를 확보해 데이터베이스를 구축하고, 실제 환경에 대한 조정을 통해 공간의 밀폐수준에 따라 실시간으로 측정되는 데이터를 이용해 화염의 크기와 소화에 필요한 환경을 예측함으로써 보다 신속하고 경제적인 가스소화설비의 설계 및 제어에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(KICT 20210119-001) 및 국토교통부 도시건축연구사업(20AUDPB099686-06)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Jeon, K.S., Hwang, J.H., and Lee, T.W. (2021). An experimental study on the behavior of liquid fuel flames in the confined space. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 36, No. 2, pp. 87-93.
- Jeong, J.H., and Kim, H. (2010). Development of infrastructure automatic alert populating system using national important facility monitoring system. *The Magazine of the Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 10, No. 4, pp. 78-84.
- Ji, J.H., and Lee, E.J. (2010). The characteristics of soot at the post-flame region in jet diffusion flames added carbon dioxide. *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 25, No. 6, pp. 9-13.
- Kim, M.H., and Seo, S.W. (2017). A study on improved disaster management system in defense field. *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 32, No. 3, pp. 105-111.
- Mike, J.A., Cestari, L.A., and Clarence, W. (2005). Advanced fire detection algorithms using data from the home smoke detector project. *Fire Safety Journal*, Vol. 40, Issue 1, pp. 1-28.
- Nguyen, M.D., and Ro, S. (2017). Smoke detection algorithm using deep learning. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Science*, Vol. 42, No. 7, pp. 1370-1379.
- Park, E.S., and Min, S.H. (2019). Study on the correlation analysis between leakage-current generation and temperature using half circuit. *J. Korean Soc. Hazard mitig.*, Vol. 19, No. 7, pp. 241-245.
- Ryu, J., and Kwak, D. (2020). A study on flame and smoke detection algorithm using convolutional neural network based on deep learning. *J. Korean Soc. Hazard mitig.*, Vol. 20, No. 1, pp. 223-232.
- Seo, Y.G., and Min, S.H. (2017). A study on the cause analysis and countermeasures of the traditional market for fires in the TRIZ method. *Fire Science and Engineering*, Vol. 31, No. 4, pp. 95-102.
- Shin, I.J. (2013). Comparative study on the institutional framework of risk assessment between German, UK and Korea, Japan in Asian Countries. *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 28, No. 1, pp. 151-157.

Received	December 29, 2021
Revised	December 30, 2021
Accepted	January 7, 2022