[Technical Paper]

4파장 적외선 센서를 이용한 불꽃감지기 개발

정종진[†] · 송석진^{*}

한국소방산업기술원 소방기술연구소 책임연구원, ^{*}주명성하이텍 책임연구원

Development of a Flame Detector using a 4-wavelength Infrared Sensor

Jong-Jin Jung[†] · Seok-Jin Song^{*}

Researcher, Fire Technology Lab, Korea Fire Institute,

^{*}Researcher, Myung Sung Hitec co., Ltd.

(Received July 12, 2021; Revised August 6, 2021; Accepted August 18, 2021)

요 약

본 연구에서는 기존 적외선불꽃감지기의 비화재보 단점을 보완할 수 있는 4파장 적외선 센서를 사용하는 불꽃감지기의 유효성과 타당성을 분석하였다. 이 불꽃감지기는 2개 또는 3개의 적외선 센서를 사용하는 기존의 불꽃감지기에 1개의 적외선 센서를 추가하고 이 센서 정보를 활용하여 비화재보를 판단한다. 화재/비화재의 판단을 위해서는 화원에서 방사되는 화염의 파장 정보가 필요하므로 이 파장 정보를 취득하기 위하여 할로겐램프, 팬히터, 아크용접 등의 화원을 대상으로 실험을 수행하였다. 각 화원의 파장 특성을 분석하기 위하여 불꽃감지기의 중앙처리장치(CPU)에서 파장의 스펙트럼분석(fast fourier transform, FFT)을 실시하였고 파장대별 세기를 측정하였다. 또한 비화재보를 판별하기 위하여 2개의 파장(3.95 μm 와 5.3 μm)을 사용하였으며, 이 두 파장 정보를 활용하여 화재/비화재를 보다 정확히 판단 할 수 있는 파라미터를 도출하였다. 4파장 적외선 센서 불꽃감지기의 동작 특성을 확인하기 위하여 노르말 헵탄(N-Heptane)을 사용하여 화재실험을 수행하였다. 실험결과, 노르말 헵탄을 이용하는 화원실험에서 화재 신호를 정확히 판별하였으며, 할로겐램프와 팬히터, 아크용접의 비화재 화원 실험에서도 비화재보를 판별할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, the effectiveness and feasibility of a flame detector using a 4-wavelength infrared sensor that can compensate for the non-fire alarm disadvantages of the existing infrared flame detector was analyzed. The proposed flame detector adds an additional infrared sensor to the existing flame detector that uses two or three infrared sensors. The information from the additional sensor was used to determine non-fire alarms. To determine the fire/non-fire, wavelength information of the flame emitted from the fire source is required. To obtain this wavelength information, various fire sources, such as halogen lamps, spectrum analysis, fan heaters, and arc welding, were analyzed. To analyze the wavelength characteristics of each fire source, spectrum analysis (fast fourier transform, FFT) of wavelengths was performed in the central processing unit (CPU) of the flame detector, and the intensity of each wavelength was measured. Additionally, two wavelengths (3.95 μm and 5.3 μm) were used to discriminate non-fire alarms, and the parameters for judging fire/non-fire more accurately were derived using the information on these two wavelengths. To confirm the operation characteristics of the 4-wavelength infrared sensor flame detector, a fire test was performed using n-heptane. The results of the experiment indicate that the fire signal was generated accurately in the fire source experiment using n-heptane, and the non-fire alarm could be accurately identified in the non-fire source experiment of halogen lamps, fan heaters, and arc welding.

Keywords : 4-wavelength infrared sensor, Flame detector, Non-fire source, Fire test, Fast fourier transform

[†] Corresponding Author, TEL: +82-31-289-2958, FAX: +82-31-287-1067, E-Mail: samjjung@daum.net

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

불꽃감지기는 화재가 발생하면 열, 연기, 불꽃 등이 발생하게 되며, 이때 불꽃에서 발생하는 자외선(UV)파장과 적외선(IR)파장 등의 광학적 특징과 프리퀀싱(flickering)의 움직임 등을 복합적으로 분석하여 화재를 감지해 내는 소방 제품이다. 열감지기와 연기감지기는 일정온도나 일정 연기 농도가 되어야 동작하지만, 불꽃감지기는 불꽃을 감지하면 바로 동작하게 되어 열/연기감지기보다 더 빨리 화재를 감지할 수 있다.

불꽃감지기는 “자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(NFSC 203)”에 따라 설치되며⁽¹⁾, 일반적으로 천장 높이가 높은 장소, 화학공장, 제철공장, 제련공장, 발전소 등에 사용되고 있으며 또한 최근에는 중요문화재시설 등에도 많이 설치되고 있다. 또한 반도체기술의 발달로 불꽃감지기의 성능이 향상되어 감시영역이 보다 더 넓은 감지기들이 경쟁적으로 개발되고 있어 그 활용폭도 넓어지고 있다⁽²⁻⁴⁾.

현재 국내에서 제조/판매되는 불꽃감지기는 UV/IR, UV/IR2 등 복합형과 적외선 3개 파장을 이용하는 IR3불꽃감지기가 대부분을 차지하고 있다. 이들 감지기는 화염에서 나오는 특정 파장을 검출하여 화재신호를 발하며 화재신호로 사용하는 파장은 제조사별로 다를 수도 있다. 불꽃감지기를 포함한 모든 감지기에서 가장 큰 문제점은 비화재보일 것이다. 불꽃감지기에서의 비화재보는 화재신호로 사용하는 파장대가 화염에서만 검출되는 것이 아니라 생활 공간에도 존재하고 있어 이로 인해 실제 화재가 아닐 때도 화재신호를 발생하는 비화재보가 발생하게 된다. 예를 들면 할로젠램프, 아크용접, 히터 등에서 나오는 파장에 의해 감지기가 동작하기도 하며 각 제조사는 이러한 비화재보를 줄이기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

따라서 본 논문에서는 불꽃에서 방사되는 적외선 파장 특성을 감지하는 서로 다른 4개의 적외선 센서를 사용하여 화염에서 방사되는 4개의 파장을 이용하는 불꽃감지기를 국내 처음으로 제작하여 감지기로서의 타당성을 분석하였다.

2. 불꽃감지기 구조

2.1 내부구조 및 원리

불꽃감지기는 화재시에 발생하는 불꽃을 감지하는 것으로서, 마치 CCTV가 사물을 관찰하는 것과 같이 몸체 앞면의 창(window)을 통하여 불꽃을 인지하게 된다. 적외선 불꽃감지기의 내부 구조는 Figure 1과 같다. Figure 1은 일반적인 적외선 불꽃감지기의 기본 구조로서, 개발하는 목적에 따라 내부 회로의 구성은 다를 수 있다. 적정한 위치에 설치된 불꽃감지기는 제품 사양에 따라 시야각을 갖도록 설계되며 이 시야각의 범위만큼 감시영역이 결정된다. Figure 1에서 창(window)은 불꽃감지기 센서의 오염을 방지하고 자외선과 적외선이 잘 투과하도록 투과율이 높은 석영과 사파이어가 사용되며 자외선 불꽃감지기는 주로 석영이 사용되고 적외선 불꽃감지기는 사파이어(sapphire)를 사용한다.

창(window)을 통과한 광선은 대역필터(band pass filter)를 거쳐서 IR센서로 보내진다. 이 대역필터는 사용하고자는 IR센서의 파장대를 의미하며 IR3 불꽃감지기는 3개의 파장대를 이용하여 화재를 감지하는 방식을 의미한다. 이때 주로 사용되는 파장은 3.95 μm , 4.26 μm , 4.66 μm 이다. 본 연구에서는 비화재보를 보다 더 정확히 판단하기 위하여 5.3 μm 파장을 추가하여 4개의 IR센서를 사용한다. 이러한 파장대의 결정은 Figure 2의 적외선 스펙트럼의 특성에 따른 것이다⁽⁵⁾. 태양, 백열등, 불꽃 등의 분광스펙트럼의 특성이 Figure 2와 같이 서로 다르게 나타나기 때문에 이러한 특성을 이용하여 특정 파장대의 대역필터로써 원하는 파장을 얻어 화재와 비화재보를 판단하게 된다. 또한 추가된 센서는 불꽃감지기에 사용되는 적외선 센서의 파장대가 중적외선 파장대(1.5 μm ~5.6 μm)인 점과 제조사의 제품사양 중에서 불꽃감지 센서로써 적합한 점 등을 고려하여 5.3 μm 파장 센서를 선택하였다.

또한 IR센서에서 나오는 신호를 증폭하고 A/D컨버터에서 아날로그 값을 디지털 값으로 변환하여 중앙처리장치(CPU)로 보내져 화재/비화재 판단 알고리즘을 통하여 화재 여부를 판단한다. 화재와 비화재의 판단 알고리즘은 Figure 3과

Figure 1. Schematic diagram of flame detector.

Figure 2. Spectral distribution chart comparing different lighting.

Figure 3. Procedure for the determination of fire signals.

Table 1. Specifications of Flame Detector

General spec.	Wavelength	IR 3.95 μm ~ 5.3 μm
	Range(m)	50 m
	Viewing angle	100°
	Reaction time	5 ~ 30 s
	Humidity	0 ~ 95% Relative Humidity
Electrical spec.	Working voltage	DC 24 V
	Power consumption	2.4 W

Figure 4. Picture of flame detector using 4 wavelength infrared sensor.

같은 선행 실험 과정을 통하여 만들어지며 이 정보는 CPU에 저장되어 화재를 판별하게 된다. 본 연구에서는 화재 신호와 비화재 신호판별을 위하여 2개의 파장(4.26 μm , 4.66 μm)을 화재판별용으로 사용하고 3.95 μm 과 5.3 μm 를 비화재 판단을 위하여 사용하였다. 4개의 파장을 이용함으로써 다양한 비화재 화원을 판별하여 감지기의 신뢰성을 높이고자 하였다. 또한 4개의 파장 정보는 CPU내에서 FFT분석을 수행하는데 이용되며 그 결과로부터 화재/비화재를 판단하는 정보를 도출하게 된다.

2.2 불꽃감지기 사양

본 연구에서는 불꽃에서 방사되는 4개의 적외선 파장을 감지하여 감지기 주위의 여러 가지 비화재보 요인으로 발생하는 오동작을 줄일 수 있는 불꽃감지기를 개발하였다. 연구에서 사용된 불꽃감지기의 사양은 Table 1과 같다. 본 감지기의 주요 특징으로는 1) 4파장 적외선 센서를 활용하여 비화재 분석 알고리즘으로 비화재에 대한 오동작을 감소시키고 2) 고성능 처리속도를 가지는 CPU를 사용하였으며 3) 알루미늄 케이스를 사용하여 방폭구조로 제작하였다.

Figure 5. Photo of halogen lamp for non-fire alarm test.

Figure 6. Photo of pan heater flame for non-fire alarm test.

Figure 7. Photo of arc welding flame for non-fire alarm test.

Figure 8. Photo of n-heptane heater flame for fire alarm test.

Figure 9. Diagram of real distance experiment.

Figure 4는 4파장 적외선 센서를 이용하여 개발된 불꽃감지기이다.

3. 실험 및 실험결과

3.1 시스템 구성

불꽃감지기의 화재/비화재 판단은 CPU내에 저장된 판단 로직에 의하여 결정되므로 이 판단로직을 구성하기 위한 정보를 취득하기 위하여 노르말 헵탄을 사용한 실화재실험과 할로겐램프, 팬히터, 아크용접 등의 화원을 사용한 비화재 실험을 선행하여야 한다. 따라서 본 연구에서도 선행 실험을 수행하여 판단알고리즘에 사용되는 파장 정보를 취득하였다. Figures 5~7은 비화재 판단로직 구성에 필요한 정보를 취득하기 위해 사용한 화원의 사진이다. Figure 5는 불꽃감지기의 비화재 신호 특성을 분석하기 위해 사용한 할로겐램프로써, 정격은 AC220 V, 500 W이다. Figure 6은

팬히터이며 정격은 AC220 V, 900 W이다. Figure 7은 아크용접 불꽃에 대한 불꽃감지기의 비화재 특성 분석을 위하여 사용된 용접봉으로써, 정격은 200 A/4 Ø(KS D 7003)이다.

또한 불꽃감지기의 화재 판단로직 구성에 필요한 정보를 취득하기 위한 화재실험을 수행하였으며 Figure 8은 화재실험에 사용된 화원의 사진이다. 이 화원의 크기는 “감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준”에 적합한 것이며(크기 33 cm × 33 cm, 헵탄)⁽⁶⁾ 원료는 규정에서 정하고 있는 노르말 헵탄을 사용하였다. 또한 실험거리는 적외선 불꽃감지기를 화원으로부터 최대 60 m에서 최소 10 m까지 변화시켜가며 수행하였다.

Figure 9는 화재실험을 수행하기 위한 구성을 나타낸 것이다⁽⁷⁾. 각 거리에서의 광량의 변화를 아날로그 출력 값으로 측정하여 디지털화하고 그 값을 데이터 수집장치(data acquisition unit, DAU)를 통하여 수집하고 PC에서 분석하였다. Figure 10은 실거리실험의 장면을 나타낸 것이다.

Figure 10. Photo of real distance experiment.

3.2 실험 결과

본 연구가 기존의 IR3불꽃감지기에 5.3 μm 파장대의 적외선 센서를 추가하여 비화재보를 감소시키는 것이 연구의 목적이므로, 이 관점에서 실험의 결과를 관찰하는 것이 의미가 있을 것이다. 아래의 실험결과는 IR3불꽃감지기의 화원별 파장 특성과 4파장 적외선 불꽃감지기의 파장 특성을 함께 나타내고 있는 것이다. 즉, 5.3 μm 파장대의 특성을 제외하면 IR3불꽃감지기의 파장 특성을 의미하며 5.3 μm 파장을 포함하면 4파장 불꽃감지기의 파장 특성이 된다.

Figure 11은 노르말 헵탄의 파장 특성 실험의 결과를 나타낸 것이다. 이것은 20 m위치의 노르말 헵탄 화염에서 방사된 적외선 파장을 시간(x축)에 따른 FFT 분석을 실시하여 상대강도(y축)를 동일 그래프 상에 4개 파장의 세기를 나타낸 것이다. 또한 막대그래프는 4개 파장대의 FFT 크기를 나타낸 것이다. 여기서 화재/비화재의 판단은 1) 파장대별 FFT크기 2) 각 파장대의 파형을 이용하여 수행된다. FFT크기를 이용하는 판단의 경계값은 반복된 실험적 데이터에서 구해지며 본 연구에서는 화재와 비화재의 경계값은 30 %p이다. 즉 화재 신호 값 대비 비화재신호 값이 30 %p 이상이면 비화재로 판단한다. 파형을 이용하는 경우에는 파형

의 규칙성과 주기(period) 등으로 판단한다.

이제 노르말 헵탄의 결과를 살펴보면, 5.3 μm 파장을 제외한, 즉 IR3불꽃감지기 측면에서 보면, 3.95 μm (비화재 판단용) 파장대의 값이 4.26 μm (화재판단용), 4.66 μm (화재판단용) 파장대의 값의 30 %p 이하의 값을 나타내어 불꽃감지기가 화재로 판단이 가능하다. 또한 5.3 μm (비화재판단용) 파장의 값을 포함한 4파장 불꽃감지기 측면에서도 5.3 μm 파장의 크기가 화재판단용 파장크기의 30 %p 이하의 값을 나타내어 화재로 판단하게 된다. 이 결과로써, IR3불꽃감지기와 4파장 불꽃감지기 모두 실제 화염에 대해 화재 판단을 쉽게 결정할 수 있음을 알 수 있다.

Figure 12는 할로젠램프의 3 m거리에서 파장 특성 실험의 결과를 나타낸 것이다. 5.3 μm 파장을 제외한, 즉 IR3불꽃감지기 측면에서 보면, 3.95 μm (비화재 판단용) 파장대의 값이 4.26 μm (화재판단용), 4.66 μm (화재판단용) 파장대의 값의 30 %p 이상이므로 우선 비화재로 분류되며 또 다른 비화재판단용 파장인 5.3 μm (비화재판단용)파장 크기를 확인하여 화재/비화재를 결정한다. 4파장 불꽃감지기의 5.3 μm 파장크기의 값이 화재판단용 파장(4.26 μm , 4.66 μm)값의 30 %p 이상이므로 최종적으로 비화재로 판단된다.

Figure 13은 팬히터의 비화재보 판단을 결정하기 위한 3 m거리의 특성 실험의 결과를 나타낸 것이다. 5.3 μm 파장을 제외한, 즉 IR3불꽃감지기 측면에서 보면, 3.95 μm (비화재 판단용) 파장대의 값이 4.26 μm (화재판단용), 4.66 μm (화재판단용) 파장대의 값의 30 %p 이상이므로 우선 비화재로 판단되고 여기에 5.3 μm (비화재판단용)파장 크기의 값도 화재판단용 파장 크기의 30 %p 이상이 되어 비화재로 최종 판단된다.

Figure 14는 6 m 거리에서 아크용접의 비화재보 특성 실험의 결과를 나타낸 것이다. 5.3 μm 파장을 제외한, 즉 IR3 불꽃감지기 측면에서 보면, 4.26 μm (화재판단용)파장 크기

Figure 11. Output of FFT for n-heptane.

Figure 12. Output of FFT for halogen lamp.

Figure 13. Output of FFT for pan heater.

Figure 14. Output of FFT for arc welding.

Figure 15. Output voltage for each wavelength (n-heptane).

Figure 16. Output voltage for each wavelength (arc welding).

의 값만 취득이 되고 3.95 μm (비화재 판단용)파장 크기는 '0'으로 나타난다. 또한 5.3 μm (비화재판단용)파장을 포함하여 살펴보면, 5.3 μm 파장(비화재판단용)크기의 값도 '0'으로 나타난다. 이렇듯 아크용접의 불꽃은 화재불꽃과의 구분이 가장 어려운 신호이며 IR3나 4파장 적외선 감지거나 모두 판별이 어렵다. 이 경우 아크용접 때의 파장 파형과 화재실험(노르말 헵탄)의 파장 파형을 함께 비교하여 화재와 비화재를 판단한다. Figure 15는 화재실험(노르말 헵탄)때의 시간(x축)에 대한 각 파장별 적외선 센서 출력전압(y축) 파형을 나타낸 것이며, Figure 16은 아크 용접 실험에서 시간(x축)에 대한 각 파장별 적외선 센서 출력전압(y축)을 나타낸 것이다. Figure 15의 각 파형들은 DC 1.5 V를 '0 V'로 이동하여 보면 이 기준선을 중심으로 (+)전압과 (-)전압을 반복하는 주기를 갖는다. Figure 15의 A-B사이에 각 파장들의 파형이 이와 같은 특성을 보임을 알 수 있다. 반면에 Figure 16의 파형은 DC 1.5 V를 '0 V'로 이동하여 살펴보면, 이와 같은 특성이 없음을 볼 수 있다. 특히 3.95 μm 파장은 변동이 없는 거의 일정한 전압을 나타내며 또한 5.3 μm 파장의 값은 '0 V'기준선을 불규칙하게 움직이는 것을 알 수 있다. 따라서 아크용접에서의 비화재 판단은 이와 같

은 차이점을 이용하여 3.95 μm 와 5.3 μm 파장의 값이 영점을 지나가는 것을 확인하는 '제로크로싱법'과 이 파형들의 영점간의 시간으로 주기(period)를 확인하는 방법 등으로 판별하게 된다. 이렇게 구한 주기와 화재실험의 주기를 비교하여 주기가 일정하지 않으면 비화재로 판단하면 된다.

이상과 같이 불꽃감지기의 화재/비화재 판단 알고리즘 구성을 위한 선행 실험을 통하여, 5.3 μm 파장의 적외선 센서를 추가함으로써 비화재를 판단하는 근거가 높아져 불꽃감지기의 신뢰성을 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 4파장 적외선 센서를 사용하는 불꽃감지기를 국내 처음으로 개발하여 비화재 화원으로 인한 불꽃감지기의 오동작을 보다 쉽게 판단할 수 있는 가능성과 타당성을 확인하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기존의 3.95 μm , 4.26 μm , 4.66 μm 파장대를 이용하는 불꽃감지기에 5.3 μm 파장대를 추가로 감지하는 4파장 적외선 센서를 사용하는 불꽃감지기를 제작/개발하였다. 3.95 μm 와 5.3 μm 파장은 비화재보를 판별하기 위하여 사용하였

으며, 4.26 μm 과 4.66 μm 은 화재용 신호를 판별하기 위하여 사용하였다. 화재/비화재 판단로직 구성을 위한 실험결과, 다양한 비화재 화원(할로겐램프, 팬히터, 아크용접 등) 실험에서, 5.3 μm 파장 신호의 적절한 활용으로 비화재보를 판단하는 근거를 높여 불꽃감지기의 신뢰성을 높일 수 있음을 확인할 수 있었고 또한 노르말 헵탄을 이용한 화재실험에서도 화재/비화재 상호 파장신호의 뚜렷한 차별성을 알 수 있었다.

2) 비화재용 신호판별을 위한 파장을 2개 사용함으로써, 비화재보를 판단할 수 있는 데이터의 증가로 파형의 규칙성 등 분석 파라미터를 추가 도출할 수 있었으며, 또한 이 파라미터를 다양한 화원 파장의 분석에 유용하게 활용할 수 있었다.

본 연구에서는 기존 적외선불꽃감지기의 비화재보 단점을 보완할 수 있는 4파장 적외선 센서를 사용하는 불꽃감지기를 개발하여 화재/비화재 판별력을 높일 수 있음을 확인하였다. 이는 향후 다(多)파장 적외선 불꽃감지기의 발전에 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

References

1. NFSC 203, "Fire Safety Standards for Automatic Fire Detection Facilities and visual Alarm Devices", National Fire Agency Notice No. 2019-35 (2019).
2. J. J. Kim, D. K. Kwak, T. J. Lee, D. H. Park and J. H. Kim, "A Study on Current Status and Problem Analysis of Flame Detector", Proceedings of 2017 Conference, Power Electronics, pp. 495-496 (2017).
3. B. H. Lim, "A Study on the Improvement of the Characteristic of Ultraviolet Infrared Flame Detector for Fire Detection", Ph.D Thesis, Chosun University, pp. 10-12 (2006).
4. Y. G. Chol, "A Study on the Adaptability of Flame Detectors (With the Focus of Cultural Heritages Constructed with Wood)", Master's Thesis, Kyungwon University (2011).
5. D. H. Baek, "Fire & Electrical Facilities", Dong il Publishing, Korea, pp. 132-133 (2012).
6. KFI Certification Code no 2019-102, "Technical Standards of Product Inspection and Approval of a Type of Detector" (2016).
7. J. J. Jung, "Validity of Bench Test Method for Infrared Flame Detector", Fire Science and Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 150-155 (2020). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.382497c3>.