J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 38, No. 1, pp. 54-64 January 2025
doi: https://doi.org/10.4313/JKEM.2025.38.1.7
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

Regular Paper

Si 기반 RGB Color 센서의 화재 감지 특성 분석에 관한 연구

최지원[1], 서동민[2], 정해영[3]

[1] 세명대학교 소방방재공학과
[2] 세명대학교 전기전자공학과
[3] 세명대학교 소방방재학과

Study on the Fire Detection Characteristics of Si Based RGB Color Sensors

Jiwon Choi[1], Dongmin Seo[2], and Haiyoung Jung[3]

[1] Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University, Jecheon 27136, Korea
[2] Department of Electrical & Electronic Engineering, Semyung University, Jecheon 27136, Korea
[3] Department of Electrical Engineering, Semyung University, Jecheon 27136, Korea

(Received September 30, 2024; Revised October 11, 2024; Accepted October 14, 2024)

Abstract: This paper presents a comparative analysis of the fire detection characteristics between conventional fire detector sensors and an Si-based color sensor. With the rapid industrial development in modern society, the concentration of urban populations and the expansion of building sizes have accelerated, leading to an increased frequency of large-scale fires. As a result, the importance of fire detection technologies has been emphasized. However, conventional detectors continue to experience issues such as false alarms and malfunctions. To address these challenges, a novel fire detection technology utilizing an Si-based color sensor, which is effective for fire detection, is proposed. To evaluate the fire detection performance of each sensor, a fire detection test apparatus was developed, and experiments were conducted separately under smoke and flame conditions to analyze the fire detection capabilities of the Si-based color sensor, temperature sensor, and flame detection sensor. The experimental results demonstrated that detection speed and sensor values varied depending on the type of combustible material. Specifically, in the smoke and flame tests, the Si-based color sensor detected fires 26.7 and 43.7 seconds faster than the temperature sensor, and 26.6 and 15.4 seconds faster than the flame detection sensor, respectively. Therefore, it was confirmed that the Si-based color sensor proposed in this study is an effective detection technology that is expected to provide improved performance compared to conventional fire detectors.

Keywords: Fire detector, Si-color sensor, Temperature sensor, Flame detection sensor, Combustible material

1. 서 론

현대 사회는 산업 기술의 급속한 발전을 통해 초지능화 및 융합화가 가속화되고 있으며, 모든 기술적인 요소가 상호 유기적으로 긴밀히 연결되어 기술 중심의 지능화된 사회로 전환되고 있다. 또한, 도시의 인구 집중과 건물의 대형화가 빠르게 진행되고 있으며, 이에 따른 대형 화재의 발

✉ **Dongmin Seo; dseo@semyung.ac.kr**
Haiyoung Jung; hyjung@semyung.ac.kr

Copyright ©2025 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

생 빈도가 급격하게 증가하고 있다 [1,2]. 2023년 화재보험협회의 특수건물 화재 통계 요약 보고에 따르면, 특수건물의 수는 전년 대비 3.57% 증가한 53,730건이며, 같은 해 특수 건물에서 발생한 화재 발생 건수는 2,774건으로 전년 대비 135건 증가하였다. 이로 인한 재산 피해액은 2,979.2억 원에 이르며 인명 피해와 재산 피해가 지속적으로 증가하는 추세이다. 2023년 특수건물 화재사고로 인해 발생한 전체 재산 피해액은 2,979억 원으로 공장 2,777억 원(92.5%), 아파트 90억 원(3.2%), 숙박 30억 원(1.0%) 등 3개 업종의 피해액이 특수건물 전체 재산 피해액의 97.4%를 차지했다. 그림 1은 최근 5년간 특수건물의 화재 발생 현황을 보여주고 있고, 그림 2는 특수건물 업종별 재산 피해 현황을 보여주고 있다 [3].

이러한 대형 화재 피해를 최소화하기 위해서는 초기에 화재를 정확하고 신속하게 인지하고 대응하는 것이 매우 중요하다 [4]. 아날로그식 화재감지기는 화재가 발생했을 때 나타나는 물리화학적 변화를 감지하고, 그 변화량이 해당 감지기의 임계치 이상이 되면 화재 경보를 발생시킨다.

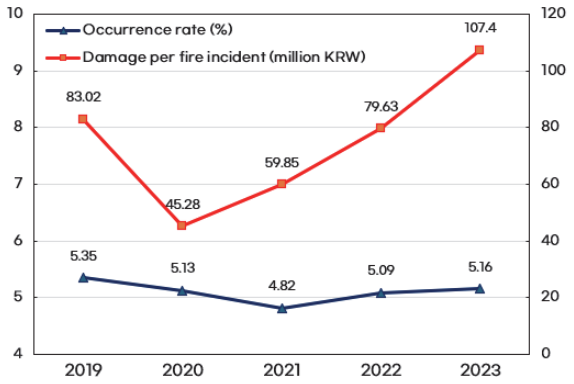


Fig. 1. Fire incident statistics (2019~2023) [3].

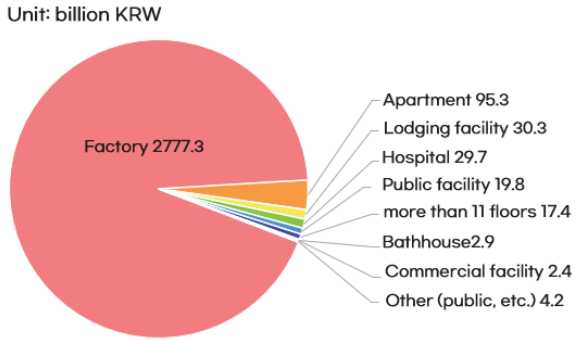


Fig. 2. Property damage by industry type [3].

하지만 임계치 이상의 조건에서 작동하는 감지기의 경우 화재가 아닌 상황에서도 발생할 수 있어 비화재보를 유발한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다신호식 감지기 방식을 적용하고 있으며, 주로 사용되는 화재감지기는 감지기의 센서가 화재 감지 경계구역을 감시하고 수신기는 센서로부터 송신된 데이터를 분석하여 화재 발생 여부를 판단하는 방식으로 작동한다. 이 방식은 기존의 아날로그식 감지기보다 높은 신뢰성을 기대할 수 있지만 여전히 열, 연기, 불꽃 등에 대한 기존 감지기의 센싱 방식을 적용하고 있기 때문에 초기 화재에 대해 빠르고 정확하게 감지하는 것은 어렵다. 기존의 연기감지기는 가연물에서 발생한 연기가 감지기에 충분히 도달해야만 화재로 인식할 수 있으므로 다량의 연기 발생이 필요하고, 열감지기는 화재가 일정 이상 성장하여 감지기가 설치된 주변 온도가 높아져야 작동될 수 있다. 불꽃감지기의 경우에도 화재가 발생하여 불꽃이 형성되어야 감지기가 UV/IR를 감지할 수 있으므로, 기존의 화재감지기는 화재 신호를 발생하기까지 비교적 긴 지연 시간을 필요로 한다. 또한, 화재감지기의 노후화와 감지기 주변 분진 적체 등의 다양한 요인으로 인해 화재 시 감지기가 작동하지 않거나, 실제 화재 상황이 아님에도 작동하는 비화재보 등의 문제가 일어나고 있다 [5].

반면, 영상 처리 기반 화재 검출 방식은 CCTV를 기반으로 화재 영상을 확인하거나, 열화상 카메라를 통해 화재 영역의 온도를 분석하여 비교적 정확하고 신속하게 화재를 인지하고 화재 신호를 발생할 수 있다. 하지만 열화상 카메라나 인공지능 기반의 CCTV는 높은 가격으로 인해 일반적으로 널리 사용되기 어렵다 [6-8]. 따라서 최근에는 비교적 저렴한 비용으로도 정확하고 신속하게 화재를 검출할 수 있는 센서에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 기존 감지기의 화재 감지 지연 문제를 개선하고 가격적인 측면에서 비교적 저렴한 Si 기반으로 제작된 color 센서를 사용하여 R, G, B 값을 실시간으로 신속하고 정확하게 감지할 수 있는 화재 감지 기술을 개발하고자 하였다. 제안된 화재 감지 기술의 화재 감지 성능을 분석하기 위해 실제 연기 및 화염 실험을 진행하였으며, 기존의 온도 센서와 불꽃 감지 센서 대비 Si 기반 color 센서의 화재 감지 특성 분석을 수행하였다.

2. Si-color 센서

그림 3은 광 다이오드의 동작 원리와 Si 기반의 RGB color 센서(이하 Si-color 센서)의 구조를 보여준다. 광 다이오드는 그림 3(a)와 같이 n형 기판 상에 p형 층을 형성

한 PN 접합부에서 발생하는 광기전력 효과를 이용한 소자로, 빛이 입사되면 전자와 정공이 형성되어 광전류가 발생한다 [9,10]. 입사된 빛의 에너지는 공핍층 전계에 의해 전자와 정공이 분리되어 외부 전원 없이도 전류가 흐르며, 출력 분산이 적고 온도 변화에 따른 특성 변화가 작아 신뢰성이 높다 [11-13]. 본 연구에서 사용한 Si-color 센서는 그림 3(b)와 같이 광 다이오드 구조에 R, G, B, C 등의 필터가 추가적으로 도포되어 있고, 불필요한 자외선과 적외선 파장을 차단하는 필터 블록이 형성되어 있다. R, G, B 영역에서 red, green, blue 색상과 C 영역에서 전체 조도 값을 각각 독립적으로 정확하고 신속하게 판독할 수 있다 [14]. 이러한 Si-color 센서는 빛이 센서에 조사되면 전류가 생성되며, 이 전류 값은 빛의 조사량에 비례하여 증가하고, 전류가 전압 값으로 변환되어 빛을 정량적으로 측정하게 된다.

연기 검출 과정에서 연기의 미세 입자가 빛을 산란 또는 흡수하여 센서에 도달하는 빛의 양을 감소 또는 변동시켜 광 전류가 변화하게 된다. 이러한 광 전류 변화를 통해 연기 발생 여부를 판단한다. 반면, 화염 검출 과정에서는 화염에서 방출되는 가시광선이 센서에 의해 감지되고, 그 세기와 파장에 따라 광 전류가 생성되어 화염 발생 여부를 판단한다. Si-color 센서의 R, G, B 필터가 각 색상의 빛을 분석하여 연기 및 화염의 유무를 신속히 감지할 수 있으며, Si-color 센서는 2.5×2.0×0.5 mm의 작은 크기로 패키징되어 있어 화재 감지 센서로 활용하기 용이하다.

그림 4는 Si-color 센서의 동작 방식과 광 파장 특성을 보여주고 있고, 표 1은 CdS 센서와 Si-color 센서의 특성을 비교한 것이다.

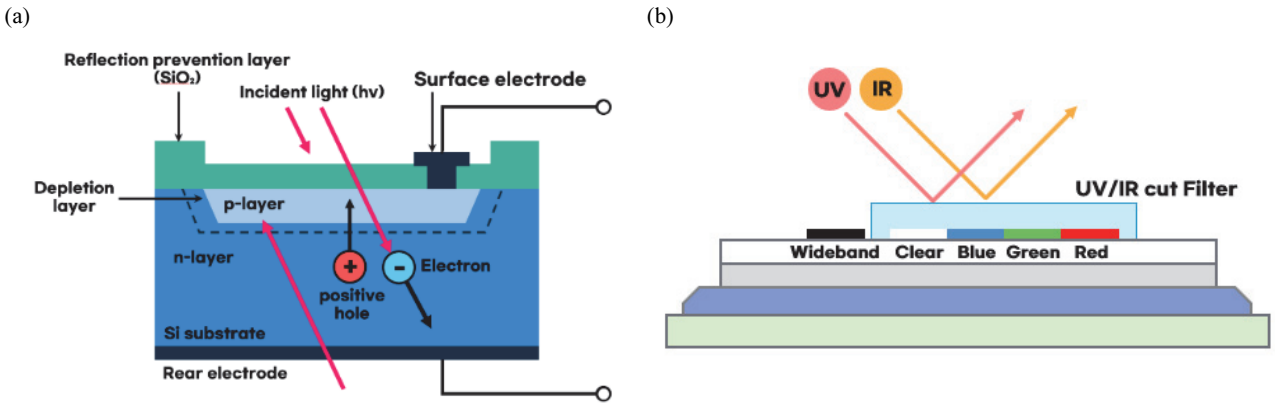


Fig. 3. Operating principle of the photodiode and Basic structure of the Si-color sensor: (a) photodiode [9] and (b) schematic structure of Si-color sensor [14].

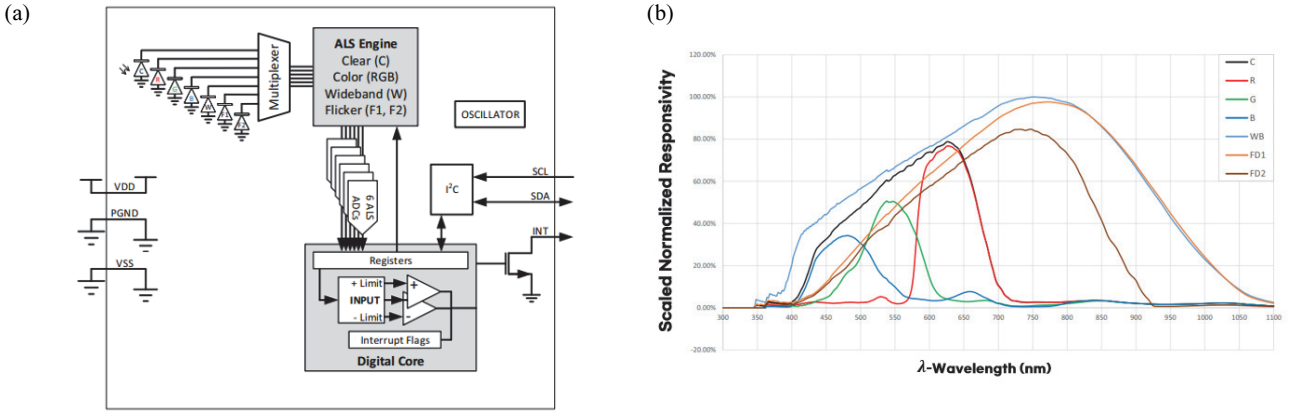


Fig. 4. Block diagram and spectral responsivity of the Si-color sensor [14]: (a) block diagram and (b) scaled spectral responsivity.

Table 1. Comparison of characteristics between CdS sensor and Si-color sensor.

Characteristic	CdS sensor	Si-color sensor
Operating principle	Resistance changes depending on light intensity	Voltage changes due to electron-hole pair generation by light
Response speed	ms	ms
Sensitivity	High in a specific wavelength range (visible light)	High in a wide wavelength range (UV~IR)
Main applications	Illumination sensors, dimming systems	Camera sensors, optical communication, medical equipment, etc.
Temperature sensitivity	Sensitive to temperature fluctuations	Less sensitive to temperature fluctuations
Power consumption	Less than μW	μW
Accuracy	Lux, ±10~20%	mLux, ±1~5%
Wavelength range	400~700 nm	200~1,100 nm

3. 실 험

3.1 실험 개요

그림 5는 본 연구에서 수행한 화재 감지 특성 분석 실험의 개략적인 순서도를 보여준다. 본 연구에서 제안한 Si-color 센서의 화재 감지 특성을 확인하기 위하여 연기 실험과 화재 실험으로 나누어 진행하였으며, 가연물은 목재, 비닐, 펄프를 사용하였다. 또한 화재 시 발생하는 연기 및 불꽃 감지를 위해서 Si-color 센서, 온도 센서, 불꽃 감지 센서를 함께 사용하였다.

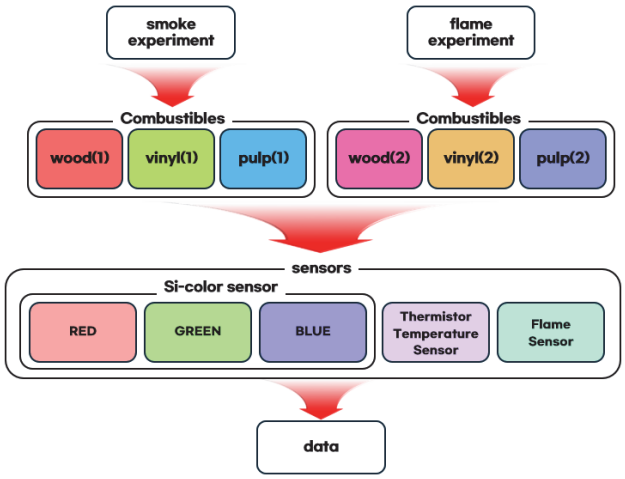


Fig. 5. Experiment flow chart.

3.2 실험 조건

그림 6(a)는 화재 감지 특성 분석 실험 장치의 개략도를 보여준다. 실험 장치는 polycarbonate (PC) 재질로 60×60×100 cm 크기로 제작하였다. 실험 장치의 상부 중앙에는 센서가 위치할 수 있도록 20×15 cm 크기의 개구부를 뚫었고, 전면에는 가연물의 투입과 제거가 원활할 수 있도록 30×50 cm 크기의 개구부를 구성하였다. 그림 6(b)는 실제 실험 환경을 구축한 모습이며, 측정에 사용되는 센서 일체와 점화원으로 사용되는 티라이트 양초(tealight candle)의 거치 모습을 보여준다.

Si-color 센서, 온도 센서, 불꽃 감지 센서는 화재 감지 특성 실험 장치의 상부 중앙에 동일한 위치에 설치하였고, 가연물은 실험 장치의 바닥면 정중앙에 배치하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 화재감지기의 회로 구성을 보여주고 있으며, 표 2는 실험에 사용된 센서들의 세부 사양을 상세히 나타냈다.

3.3 실험 내용

본 연구의 화재 감지 특성 실험은 연기 실험과 화염 실험으로 나누어 진행하였다. 표 3에 연기 실험에 사용한 가연물에 대한 정보를 나타내었고, 표 4에 화염 실험에 사용한 가연물에 대한 정보를 나타냈다.

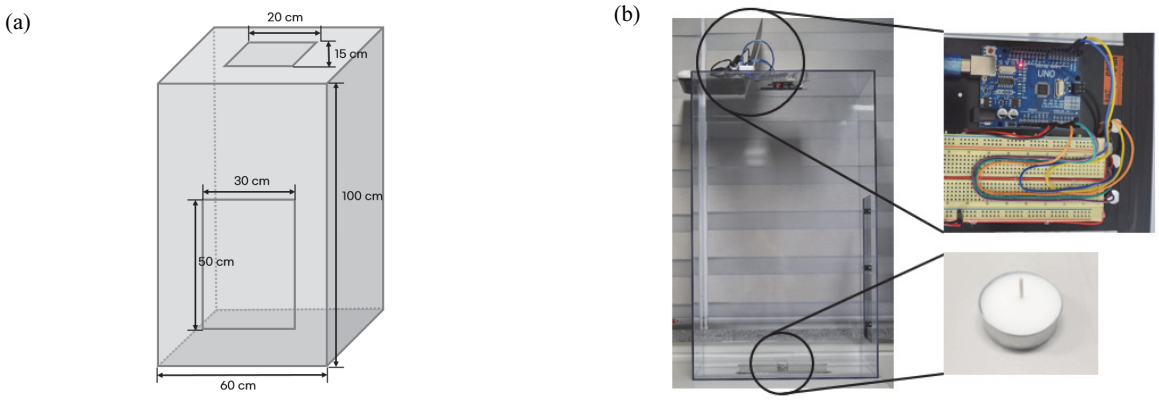


Fig. 6. Fire detection characteristics analysis apparatus: (a) chamber design and (b) experimental setup.

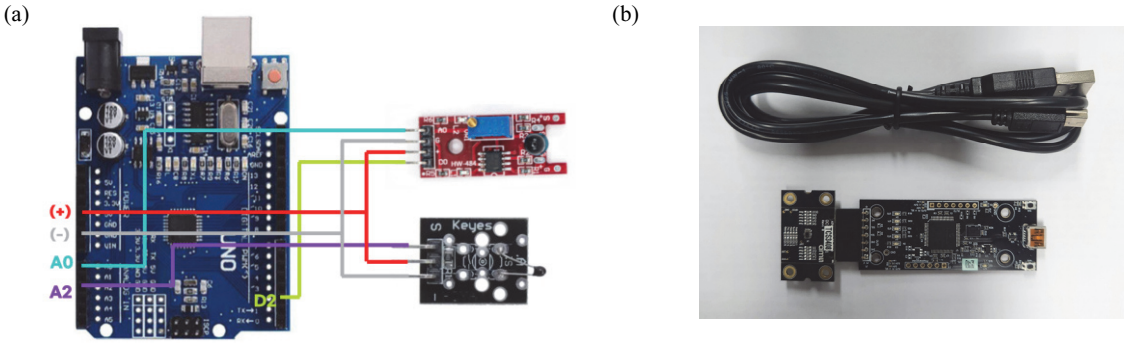
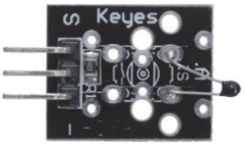
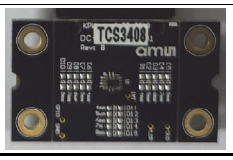


Fig. 7. All sensors used in the fire detection experiment: (a) temperature and flame detection sensors and (b) Si-color sensor.

Table 2. Specifications of sensors used in the experiment.

Sensor	Figure	Parameter	Specifications
Arduino uno		Microcontroller	ATmega328P
		Operating voltage (V)	5
		Digital I/O pins	14
		DC Current per I/O pin (mA)	20
		SRAM (KB)	2
Flame sensor		Operating voltage (V)	3.3~5
		Detection angle	60°
		Detection area (nm)	760~110
		Detect	Infrared wavelength
Thermistor temperature sensor		Operating voltage (V)	3.3~5
		Sensing temperature range (°F)	-39~187
		Detect	Temperature change
Si-color sensor		Operating voltage (V)	1.8~2
		Operating temperature (°C)	-30~85
		Detect	R, G, B, C, W

연기 실험에서는 화재 감지 특성 실험 장치의 바닥면 정중앙의 일정한 위치에 점화원으로 사용되는 티라이트 양초를 위치시키고, 그림 8과 같이 목재, 비닐, 펄프의 가연물이 장착된 380 ml 용량의 종이컵의 밑면을 지름 5.6 cm로 타공하여 불이 붙은 점화원을 덮을 수 있도록 구성하였다. 또한 종이컵 하단의 양측면은 4×0.5 cm 창을 내어 산소 공급이 원활하게 이루어지도록 하였다.

또한, 점화 전 센서의 기준 측정값을 얻기 위해 센서 동작 후 30초 뒤에 실험 장치 바닥 중앙에 놓인 점화원에 직접 점화하였다. 이후 가연물이 연소됨에 따라 발생하는 연기 및 불꽃에 대한 각 센서들의 감지 성능 실험을 수행하였으며, 연기 실험은 모든 가연물에 대해 동일하게 총 1분 13초 동안 진행하였다. 실험을 시작하고 가연물에서 화염이 매우 커지는 시점인 목재 60.7초, 비닐 54.9초, 펄프 65.6초에서 소화하였다. 그림 9는 각각의 가연물에 대한 실제 연기 실험 모습을 보여준다.

화염 실험 역시 연기 실험과 동일하게 목재, 비닐, 펄프를 가연물로 사용하였다. 다만, 화염 실험은 가연물에 화염이 붙은 상태가 일정 시간 지속되어야 하므로 연기 실험에 비해 화재 확산이 잘 되는 재질을 활용하여 실험을 수행하였으며, 화염 실험은 모든 가연물에 대해 총 4분간 진행하였다.

또한, 점화 전 센서의 기준 측정값을 얻기 위해 센서 동작 후 30초 뒤에 실험 장치 바닥면에 놓인 가연물에 점화장치를 이용하여 모든 가연물에 대하여 동일하게 10초 동안 직접 점화하였다. 화염 실험을 수행하는 경우 가연물에 화염이 발생하고 목재 55.6초, 비닐 90.3초, 펄프 124.1초에 화재가 크게 확산하여 소화하였다. 그림 10은 각각의 가연물에 대한 화염 실험 모습을 보여주고 있다.

Table 3. Types of combustibles used in smoke experiments.

Material	Wood	Vinyl	Pulp
Figure			
Item	Toothpick	Poly vinyl chloride	Tissue
Mass (g)	3.32	3.32	3.32

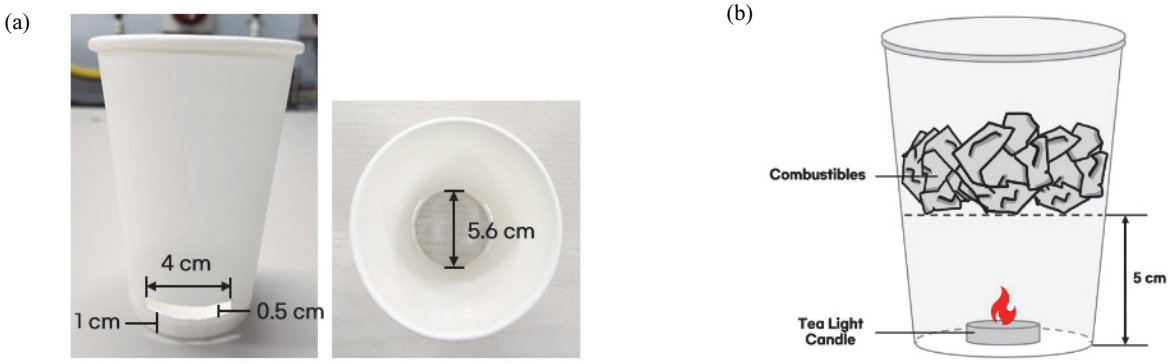


Fig. 8. Structure for loading combustible materials for smoke experiment: (a) material loading structure appearance and (b) schematic structure for smoke experiment.

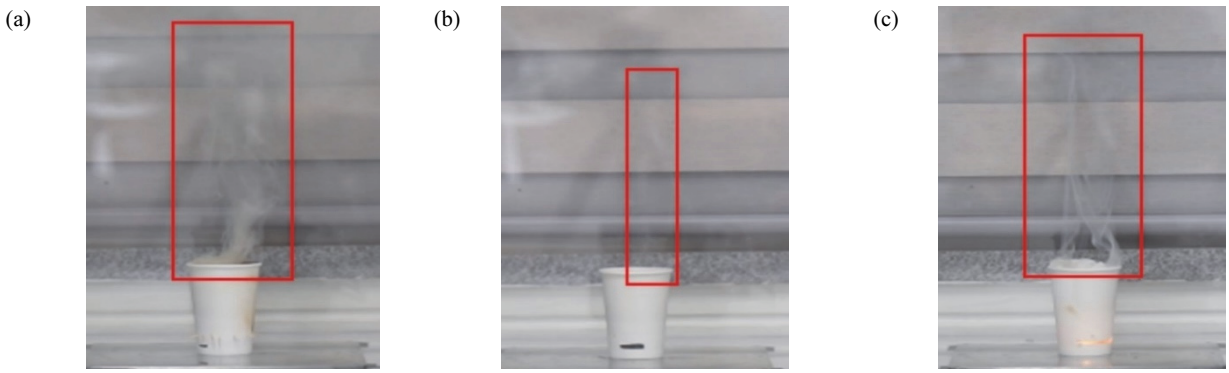
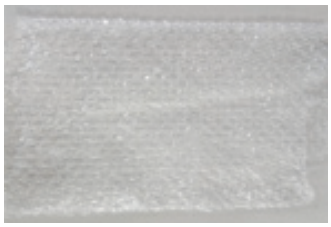


Fig. 9. Actual smoke experiments on combustibles: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

Table 4. Types of combustibles used in flame experiments.

Material	Wood	Vinyl	Pulp
Figure			
Item	Wooden chopsticks	Low density polyethylene	Paper cup (185 ml)
Mass (g)	21.28	8.36	7.48

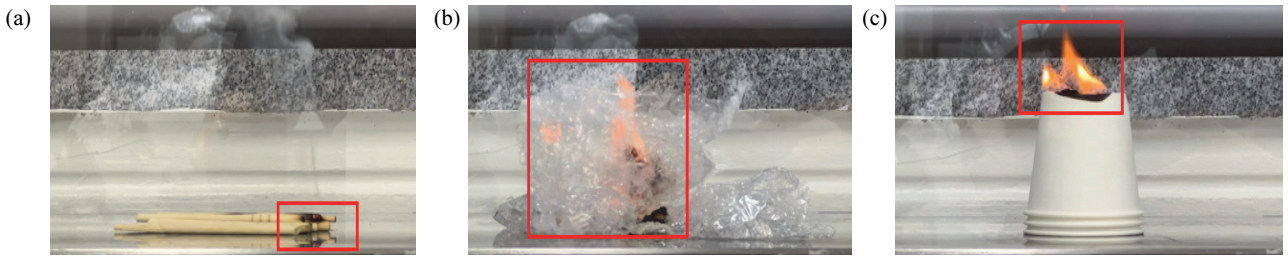


Fig. 10. Actual flame experiments on combustibles: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

3.4 실험 결과

본 연구에서는 각각의 센서 감지 속도 및 특성을 분석하기 위해 설정된 가연물에 대하여 연기 실험과 화염 실험을 진행하였다. 온도 센서와 불꽃 감지 센서에서 측정된 값은 Arduino를 통해 실시간으로 취득하였고, Si-color 센서의 데이터는 전용 프로그램을 사용하여 데이터를 수집하였다. 연기 실험과 화염 실험을 수행함에 있어 점화 전의 센서 기준 값을 얻기 위해 센서 동작 30초 뒤에 점화원을 점화하거나 가연물에 직접 점화하였다. 각 실험에 사용된 센서들의 데이터 값은 0.1초 간격으로 실시간 저장되도록 하였다.

각 센서의 화재 감지 여부는 Si-color 센서의 경우 R, G, B 채널 값이 안정화된 출력 값보다 최소 ±10 이상일 때로 하였고, 온도 센서는 온도가 5℃ 이상 상승하였을 때로 하였다. 불꽃감지기는 감지기가 불꽃을 인지하여 측정값이

Table 5. Results of smoke experiments on types of combustibles.

	Wood			Vinyl			Pulp		
	Ignition		Detection time	Ignition		Detection time	Ignition		Detection time
	Before	After	Sec	Before	After	Sec	Before	After	Sec
R (nm)	860	871	35.4	859	870	36.0	854	364	35.8
G (nm)	2,436	2,456	35.1	2,431	2,444	35.1	2,420	2,431	35.2
B (nm)	2,287	2,302	35.1	2,280	2,294	35.1	2,270	2,281	35.2
Tem (℃)	14.86	19.92	57.9 (T_d)	15.97	19.92 (T_d)	59.3	16.40	21.41 (T_d)	68.9
		30.31	63.8 (T_{op})		-	-		31.41 (T_{op})	71.6
Flame (on/off)	off	on	61.3	off	on	55.8	off	on	68.5

Table 6. Results of flame experiments on types of combustibles.

	Wood			Vinyl			Pulp		
	Ignition		Detection time	Ignition		Detection time	Ignition		Detection time
	Before	After	Sec	Before	After	Sec	Before	After	Sec
R (nm)	328	345	46.4	357	346	40.1	206	198	40.1
G (nm)	832	842	41.3	911	882	40.1	509	481	40.1
B (nm)	879	889	40.3	970	932	40.1	537	505	40.1
Tem (℃)	16.04	21.12 (T_d)	62.2	17.70	23.11 (T_d)	132.0	17.36	22.55 (T_d)	60.0
		-	-		-	-		32.47 (T_{op})	71.5
Flame (on/off)	off	on	53.5	off	on	56.7	off	on	58.9

1로 변화할 때 'on'으로, 0일 때 'off'로 설정하였다. 또한, 실험 과정 중 가연물 점화 후 센서에 미치는 영향을 최소로 하기 위해 연기 실험에서는 점화 후 5초, 화염 실험에서는 점화 후 10초의 센서 안정화 시간을 설정하였다.

가연물의 종류에 대한 연기 실험과 화염 실험의 결과를 각각 표 5와 표 6에 정리하였다. 여기서, T_d는 초기 이상 변화 지점을 의미하며, T_{op}는 차동식 열감지기가 실제 동작하는 15℃/min 지점을 의미한다.

그림 11은 각 가연물에 대한 연기 실험 결과 그래프이고, 그림 12는 전체 센서에 대한 연기 감지 특성 결과 그래프이다. 목재에 대해서 Si-color 센서는 35.1초에 G와 B 채널이 변화를 감지한 후 0.3초 뒤 R 채널이 변화를 감지하였고, 온도 센서는 57.9초에 온도 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 61.3초에 변화를 감지하였다. 비닐에 대해서 Si-color 센서는 35.1초에 G와 B 채널이 변화를 감지한 후 0.9초 뒤 R 채널이 변화를 감지하였고, 온도 센서는 59.3초에 온도 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 55.8초에 변화를 감지하였다. 펄프에 대해서 Si-color 센서는 35.2초에 G와 B 채널이 변화를 감지하였고 0.6초 후 R 채널이 변화를 감지하였고, 온도 센서는 68.9초에 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 68.5초에 변화를 감지하였다.

그림 13은 각 가연물에 대한 화염 실험 결과 그래프이고, 그림 14은 전체 센서에 대한 화염 감지 특성 결과 그래프이다. 목재에 대해서 Si-color 센서는 40.3초에 B 채널이 변화를 감지한 후 R, G 채널이 각각 46.4초, 41.3초에 변화를 감지하였고, 온도 센서는 62.2초에 온도 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 53.5초에 변화를 감지하였다. 비닐에 대해서 Si-color 센서가 40.1초 만에 R, G, B 채널이 동시에 변화를 감지하였고, 온도 센서는 132.0초에 온도 센서가 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 56.7초에 변화를 감지하였다. 펄프에 대해서 Si-color 센서가 40.1초에 R, G, B 채널이 동시에 변화를 감지하였고, 온도 센서는 60.0초에 변화를 감지하였으며, 불꽃 감지 센서는 58.9초에 변화를 감지하였다.

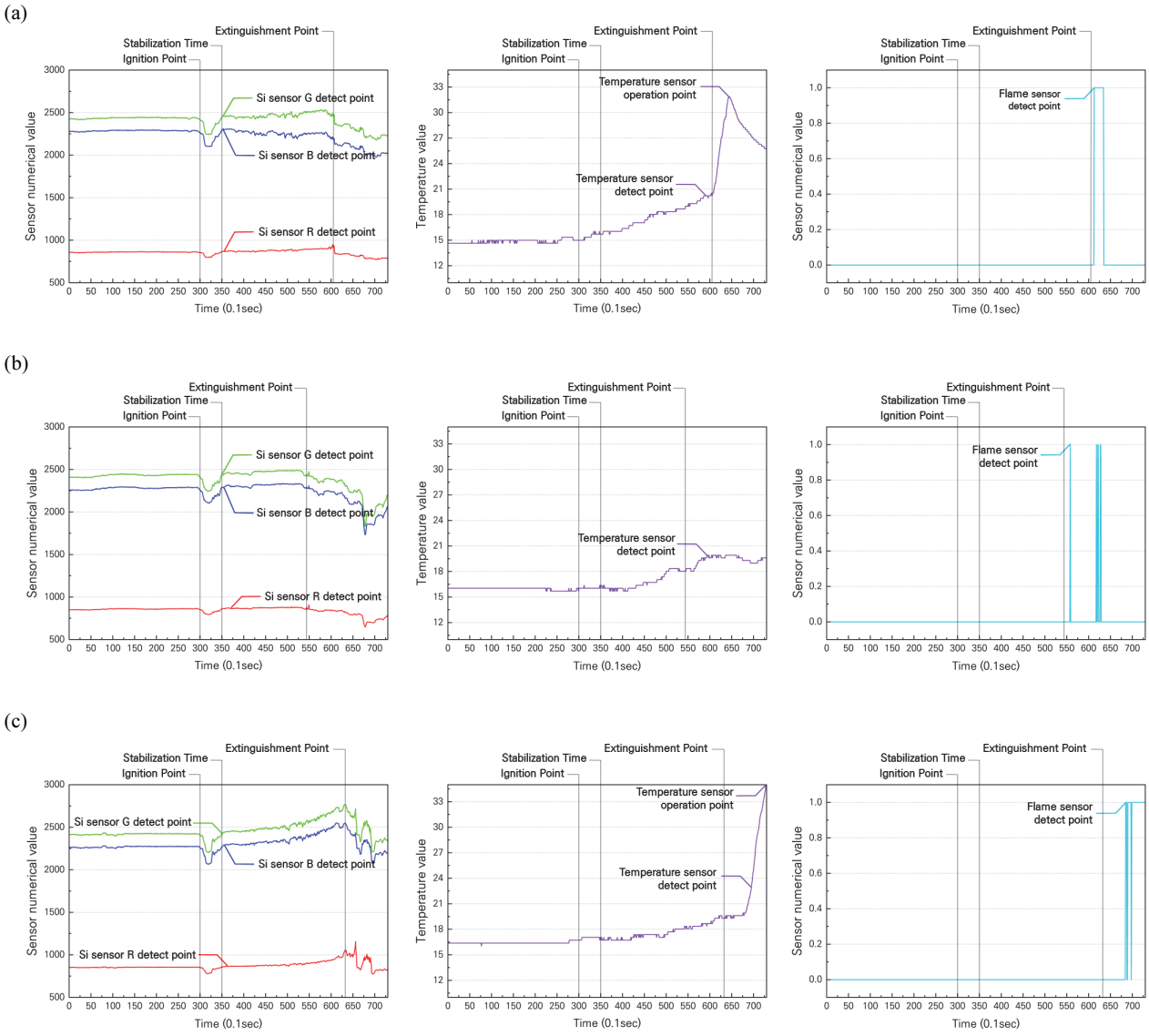


Fig. 11. Graph of smoke test results for various combustibles: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

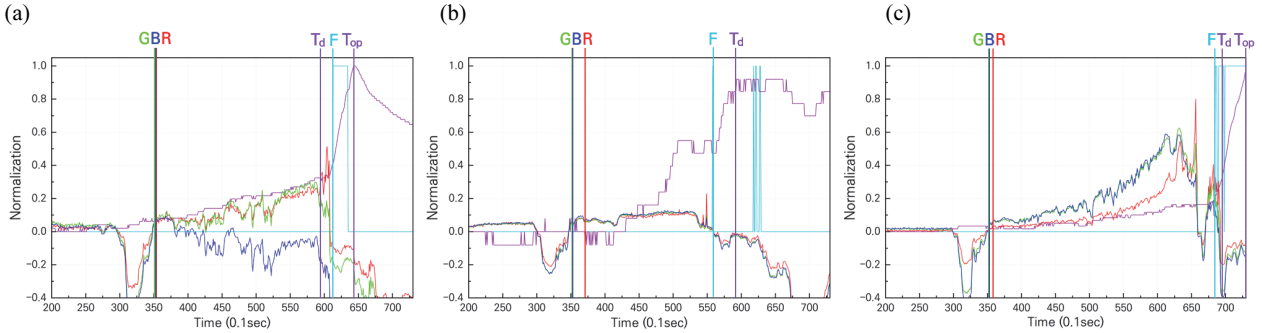


Fig. 12. Overall smoke detection characteristics for all sensors: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

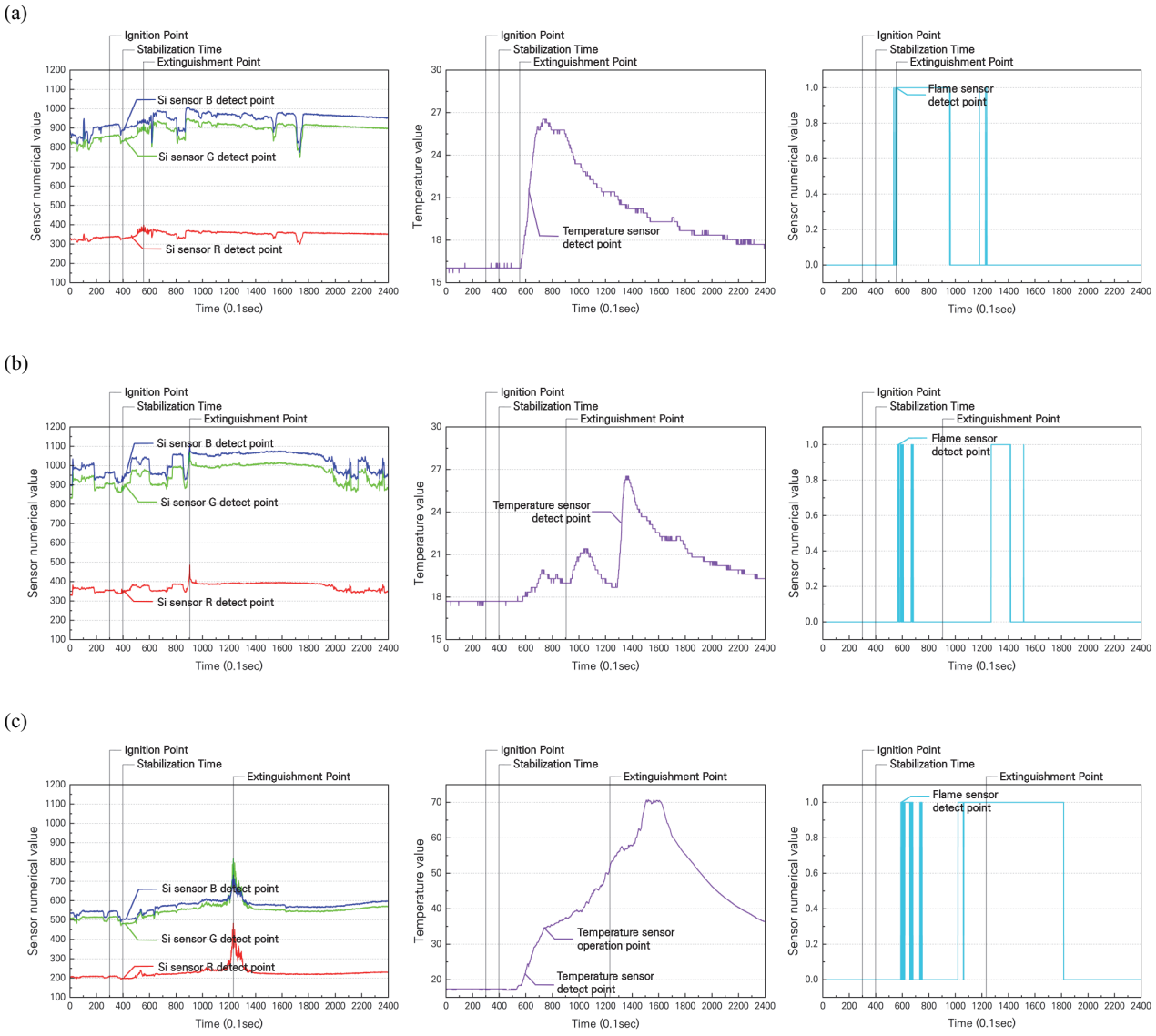


Fig. 13. Graph of flame test results for various combustibles: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

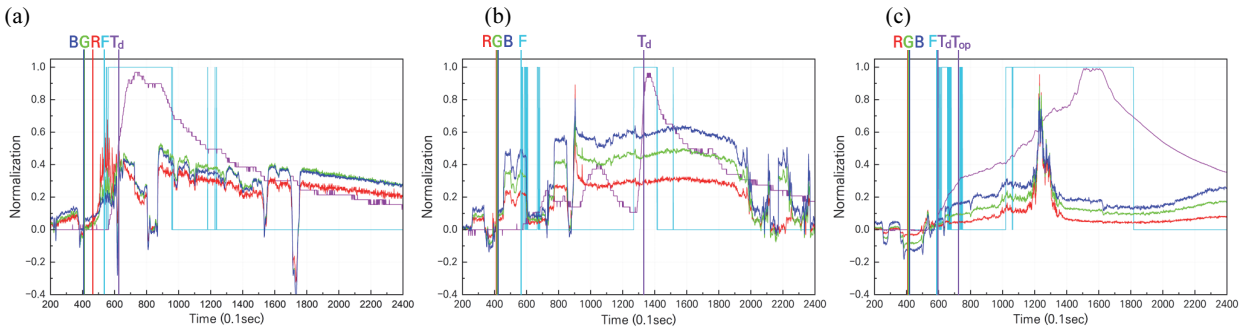


Fig. 14. Overall flame detection characteristics for all sensors: (a) wood, (b) vinyl, and (c) pulp.

4. 결 론

본 연구는 기존 화재감지기에 사용되는 온도 센서와 불꽃 감지 센서, Si-color 센서의 연기 및 화염 감지 특성 분석을 위해 실험 환경을 구축하고, 세 종류의 가연물에 대하여 연기 및 화염 실험을 수행하였다.

연기 실험 결과 모든 가연물에 대하여 Si-color 센서의 R, G, B 채널의 감지 시간은 온도 센서에 비해 평균 26.7초 빨랐고, 불꽃 감지 센서에 비해 평균 26.6초 빠르게 감지하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해서 Si-color 센서는 불꽃과 같이 명확한 화재뿐만 아니라 무정형의 연기에 대해서도 우수한 감지 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 화염 실험 결과에서도 모든 가연물에 대하여 Si-color 센서의 R, G, B 채널의 감지 시간은 온도 센서에 비해 평균 43.7초 빠르게 변화를 감지하였고, 불꽃 감지 센서보다 평균 15.4초 빠르게 변화를 감지하였다. 화염 실험에서 불꽃 감지 센서가 Si-color 센서보다 느리게 감지된 결과를 보인 것은 화염의 크기가 비교적 작을 때에는 불꽃 감지 센서가 제대로 감지하지 못한 반면, Si-color 센서는 작은 화염에 대해서도 R, G, B 값의 변화를 빠르고 정확하게 화염을 감지했기 때문으로 판단된다.

결과적으로, 연기 실험과 화염 실험 모두에서 Si-color 센서는 불꽃 감지 센서와 온도 센서보다 연기 및 화염 감지 성능이 확연히 우수하다는 것을 알 수 있었다. 특히, 가연물의 특성에 따라 연기의 발생량이 많고 연기 색이 짙은 목재, 펄프, 비닐 순서로 Si-color 센서가 빠르게 변화를 감지하였는데, 이는 연기 발생량이 많고 연기 색이 짙을수록 Si-color 센서의 R, G, B 값의 변화가 크다는 것을 의미한다.

향후 연구에서는 Si-color 센서의 연기 및 화염 감지 성능을 센서가 아닌 실제 감지기를 대상으로 실험하여 감지 성능을 분석하고자 하며, 비화재보를 효과적으로 개선을 위해 실시간 R, G, B 값 데이터에 대해 인공지능을 적용하여 정밀도 및 정확도가 향상된 새로운 방식의 화재 감지 시스템을 제안하고자 한다.

ORCID

Dongmin Seo https://orcid.org/0000-0002-7536-6643
Haiyoung Jung https://orcid.org/0000-0001-5531-2923

감사의 글

이 논문은 2023학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

REFERENCES

[1] H. Kwon, B. Lee, and H. Jung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **37**, 261 (2024). doi: https://doi.org/10.4313/JKEM.2024.37.3.4

[2] H. Bang, S. Choi, and H. Jung, *Fire Sci. Eng.*, **38**, 60 (2024). doi: https://doi.org/10.7731/KIFSE.a009a27a

[3] KFPA, *Summary of Special Building Fire Statistics in 2023*, https://www.kfpa.or.kr/webzine/202408/disaster7.html (2024).

[4] S. H. Song, J. Y. Jung, G. J. Kim, and H. Lee, *Proc. 2015 The Korean Institute of Information Scientists and Engineers Academic Presentation Papers* (Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Jeju, 2015) p. 1336.

[5] J. H. Lee, C. H. LEE, S. K. Kim, and H. S. Kong, *J. Korean Saf. Manage. Sci.*, **13**, 41 (2011). doi: https://doi.org/10.12812/KSMS.2011.13.1.041

[6] M. G. Kim and S. B. Pan, *J. Korean Inst. Inf. Technol.*, **14**, 87 (2016). doi: https://doi.org/10.14801/jkiit.2016.14.6.87

[7] J. M. Jung, B. C. Kong, and S.H. Lee, *J. Korean Inst. Inf. Technol.*, **11**, 1 (2013).

[8] S. H. Park, J. W. Lim, and J. H. Seo, *J. Korean Soc. Living Environ. Syst.*, **30**, 289 (2023). doi: https://doi.org/10.21086/ksles.2023.6.30.3.289

[9] B. C. Lee and S. Y. Kim, *The Institute of Electronics and Information Engineers Magazine*, **43**, 27 (2016).

[10] S. K. Park and G. J. Kwon, *Korean Inst. Elect. Eng.*, **42**, 14 (1993).

[11] B. S. No and K. K. Kim, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, **19**, 643 (2013). doi: https://doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.6.643

[12] G. S. Cho, C. H. Lee, J. G. Kim, and H. T. Kim, KOASAS, *Silicon Photomultiplier with Improved Photodetecting Efficiency and Gamma Radiation Detector Comprising the Same*, http://hdl.handle.net/10203/228907 (2010).

[13] J. Fraden, *Modern Sensor Engineering (5th edition)* (Hanbit Publishing Network, Inc., Seoul, 2021) p. 470. doi: https://doi.org/10.979.115664/8017

[14] OSRAM, *ams TCS3408 Color Sensor*, https://ams-osram.com/ko/products/sensors/ambient-light-color-spectral-proximity-sensors/ams-tcs3408-color-sensor (2024).