

# 전기화재 분야에서 다목적으로 시험장치의 활용범위를 증가시키기 위한 시험장치의 설계 및 구현

신동철<sup>1,2</sup> · 고희호<sup>1,+</sup>

## Design and Implementation of a Multi-purpose Test Equipment with a Large Utilization Range for use in Electric Fire

Dongcheol Shin<sup>1,2</sup> and Hyoungho Ko<sup>1,+</sup>

### Abstract

Test devices can perform various functions, such as research on detection targets, sensors that detect detection targets, combined products containing sensors, and certification for the launch of combined products. However, the scope of use of test devices is limited because they perform only a single role or could only serve a particular purpose in the past. Therefore, studies on test devices that can perform various functions, such as research on detection targets, sensors that detect detection targets, combined products containing sensors, and certification for the release of combined products are necessary. Accordingly, this study proposes a test device that can increase the scope of use in the technical field of electric fires. In addition, we examine various outcomes of the proposed test device.

**Keywords:** Chamber, Test device, Multi-purpose, Electrical fire, Fire sign, Gas sensor

## 1. 서 론

### 1.1 감지대상을 연구하기 위한 종래의 시험장치

종래에는 시험장치의 내부에 감지대상의 상태 변화를 감지하는 센서가 설치되고, 시험장치를 활용하여 대학이나 연구소에서 감지대상의 특성을 분석하거나, 감지대상과 관련된 제품을 향상시키기 위한 연구를 하였다. 또한 종래의 시험장치는 감지대상에 대응하는 기술분야별로 그 종류가 매우 다양하다.

전기화재에 관한 기술분야로 예를 들면, 종래에는 절연케이블 등 감지대상을 시험장치의 내부에 배치하고, 가열수단을 이용하여 감지대상을 가열하며, 가스센서를 이용하여 감지대상에 관한 연소물질의 독성평가를 연구하였다[1,2].

또한 종래에는 감지대상에 관한 연소물질의 독성평가를 활용하여 절연케이블과 관련된 제품을 향상시키기 위한 시험으로 활용하였다.

### 1.2 센서를 연구하기 위한 종래의 시험장치

종래에는 감지대상의 상태 변화를 감지하는 센서의 특성을 분석하거나 센서와 관련된 제품을 향상시키기 위한 연구를 하였다.

전기화재에 관한 기술분야로 예를 들면, 종래에는 절연케이블의 열화에서 발생하는 가스를 감지하는 가스센서를 시험장치의 내부에 배치하고, 시험용 가스를 시험장치의 내부에 주입하여 가스센서의 특성을 시험하였다[3].

그러나 종래에는 감지대상과 이를 감지하는 센서 간 연관성이 있음에도 불구하고, 감지대상의 연구와 센서의 연구 등 시험장치를 통합적으로 활용하는 연구가 미비한 실정이다.

### 1.3 전기화재 발생물질을 연구하기 위한 종래의 시험장치

종래에는 주로 전기화재에서 발생하는 연소물질이나 이를 감지하는 센서에 관하여 연구가 진행되었으므로, 전기화재 이전 단계에서 발생하는 화학물질에 대한 연구 또는 이를 감지하는 센서에 대한 연구가 미비한 실정이다.

예를 들어 종래에는 전기화재에서 발생하는 연소물질을 연구

<sup>1</sup>충남대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Chungnam National University)

99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>더블유에스테크 (주) 연구개발부 (Dept. of R&D, WSTECH Corp.)

160, Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34028, Korea

<sup>+</sup>Corresponding author: hhko@cnu.ac.kr

(Received: Apr. 30, 2023, Revised: May. 16, 2023, Accepted: May. 24, 2023)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<https://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.

하여 연기센서, 불꽃센서, 영상 카메라 등 다양한 센서를 제작하거나, 센서를 복합적으로 사용한 다중센서를 제작하였다. 그러나 종래의 센서들은 전기화재가 발생한 이후의 상황을 감지하므로, 전기화재에 의한 피해를 예방하기 어려운 문제점이 있다[4-6].

#### 1.4 결합 제품의 개발을 위한 시험장치의 부재

종래의 일부 회사는 센서유닛으로 구성된 단일 제품을 판매하였다. 또한 종래의 다른 일부 회사는 센서유닛을 구입하고, 모니터링유닛을 제작하며, 센서유닛과 모니터링유닛이 결합된 결합 제품을 판매하였다.

전기화재에 관한 기술분야로 예를 들면, 종래에는 시중에 판매하는 가스센서유닛을 구입하고, 모니터링유닛을 제작하며, 가스센서유닛과 모니터링유닛이 결합된 감시장치를 판매하였다.

그러나 종래에는 시험장치를 통한 시험없이 경험적 요소에만 의지하여 센서를 통한 알람의 기준값을 임의로 결정하여 알고리즘을 만들고, 해당 알고리즘을 모니터링유닛에 적용함으로써, 결합 제품의 신뢰도가 매우 떨어졌다.

참고적으로 센서유닛은 감지하는 성분은 동일하여도 활용분야는 매우 다양하다. 예를 들어 방향족 화합물을 감지하는 가스 센서는 절연물의 열화에서 발생하는 가스 등 전기화재 분야에서 활용될 수 있고, VOC 등 공기질측정 분야에서 활용될 수 있으며, 가스저장소에서 누출되는 가스 등 가스누출 분야에서 활용될 수 있다.

이처럼 가스센서유닛을 사용하는 기술분야도 매우 다양하고, 기술분야별 기준값도 전혀 다르므로, 기술분야에 맞는 기준값의 결정과 적용하기 위한 알고리즘을 개발하기 위해서도 시험장치를 활용할 필요성이 있다.

#### 1.5 결합 제품의 인증을 위한 시험장치의 부재

우리나라는 제품의 성능을 인증하기 위한 공인된 인증기관이 존재하고, 인증기관은 제품별 성능을 시험하기 위한 장비를 보유하고 있다.

그러나 인증기관은 특정 기술분야에 관한 장비를 보유하지 않으므로, 특정 기술분야에 해당하는 회사는 제품의 인증을 받기 어려운 애로사항이 발생할 수 있다.

전기화재에 관한 기술분야로 예를 들면, 종래에는 특정 회사가 가스센서유닛과 모니터링유닛이 결합된 감시장치를 출시하기 위해 성능 인증을 받고 싶지만, 인증기관에서 감시장치의 성능을 시험하기 위한 시험장치 등 장비를 보유하지 않아 인증을 받기 어려운 애로사항이 발생할 수 있다.

참고로 본 저자가 소속된 회사는 이러한 애로사항이 발생하였고, 이러한 문제를 해결하고자 시험장치를 자체적으로 제작하였으며, 제작하는 과정에서 시험장치의 활용범위를 향상시킬 수 있는 방안을 모색하였다.

#### 1.6 소결

시험장치는 전술한 바와 같이 감지대상의 연구, 감지대상을 감지하는 센서의 연구, 센서가 포함된 결합 제품의 연구 및 결합 제품의 출시를 위한 인증 등 다양한 목적으로 활용될 수 있다.

그러나 종래에는 시험장치를 단일 목적으로 사용하거나, 특정 목적에서 사용하지 못하고 있으므로, 시험장치의 활용범위가 매우 제한되는 문제점이 있다.

따라서 종래의 문제점을 해결하기 위하여 감지대상의 연구, 감지대상을 감지하는 센서의 연구, 센서가 포함된 결합 제품의 연구 및 결합 제품의 출시를 위한 인증 등 다목적으로 활용될 수 있는 시험장치에 관한 연구가 필요하다.

또한 전기화재 이전 단계에서 발생하는 화학물질 및 이를 감지하는 센서의 감지특성을 분석하기 위한 시험장치에 관한 연구도 필요하다.

본 논문은 이러한 연구의 필요성을 기반으로 전기화재에 관한 기술분야에서 활용범위를 증가시킬 수 있는 시험장치를 제안하고자 한다.

따라서 본 논문에서는 우선 시험장치를 어떻게 설계하여 제작하였는지 설명하고, 다음으로 제작된 시험장치를 어떻게 활용할 수 있는지 설명하며, 마지막으로 시험장치의 다양한 활용방안 중에서 인증시험에 적용된 예를 실험으로 설명하기로 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시험장치의 설계

#### 2.1.1 몸체의 설계

Figs. 1, 2와 같이 몸체의 부피는 32.425 L이고, W는 297 mm이며, H는 397 mm이고, D는 275 mm이다.

몸체는 SUS 재질의 금속함이고, 측면에는 시험가스를 주입하기 위한 가스주입구가 형성되며, 다른 측면에는 환기를 위한 환풍수단이 설치되고, 내부에 감지대상을 감지하기 위한 가스센서가 설치된다.

가스센서는 기체 중에 포함된 특정 성분의 가스를 감지하여 그 농도에 따라 적당한 전기신호로 변환하는 소자이다. 가스센서는 동작방식에 따라 전기화학식, 접촉연소식, 반도체식 및 광이온화식의 센서로 구분된다[7-13].

시험장치에 실제로 설치된 가스센서는 전기화학식으로 동작하는 가스센서이다. 또한 가스센서는 저농도 가스의 감지 특성이 우수한 저농도 가스센서와 고농도 가스의 감지 특성이 우수한 고농도 가스센서로 구성된다.

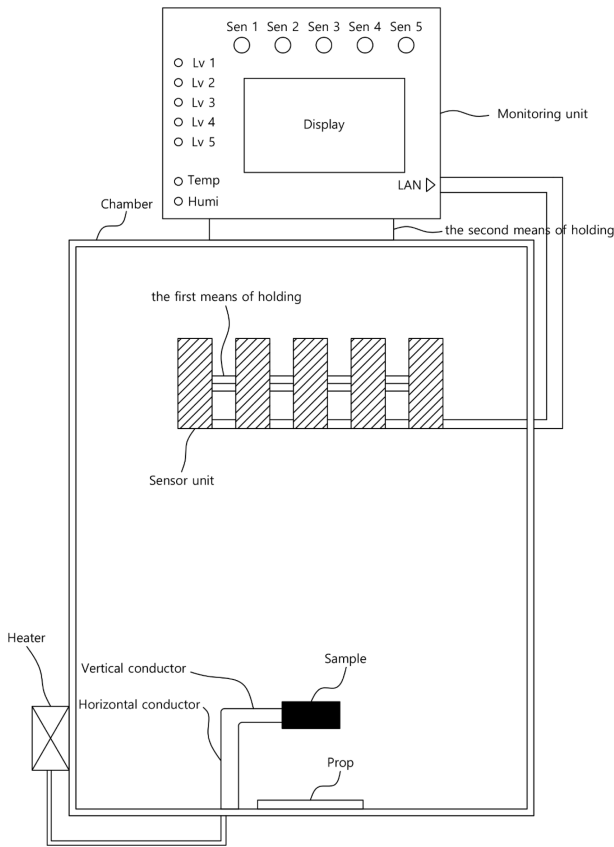


Fig. 1. Image of the test device.



Fig. 2. Schematic diagram of a test device.

### 2.1.2 가열수단의 설계

Figs. 1, 2와 같이 가열수단은 열을 발생하는 수단으로서 도체

부와 연결된다. 도체부는 수평 도체부와 수직 도체부를 포함한다. 수평 도체부는 샘플과의 결합을 제공한다. 수직 도체부는 일단이 가열수단과 연결되고, 타단이 수평 도체부와 연결되며, 가열수단의 열을 수평 도체부로 전달한다.

본 논문에서는 수직 도체부를 통하여 바닥과의 이격거리를 제공하여 샘플이 바닥에 닿지 않도록 할 수 있고, 샘플이 바닥에 닿지 않아 샘플의 열손실을 예방할 수 있으며, 사용자가 쉽게 샘플을 수평 도체부에 결합시킬 수 있다.

또한 본 논문에서는 수평 도체부를 통하여 전기시설의 도체의 접촉불량에 관한 재현 환경을 제공할 수 있고, 둘째로 샘플의 가열 면적을 높여 샘플의 화재징후 발생시기에 대응하는 실험적인 가열온도를 알아낼 수 있으며, 신뢰성이 있는 실험데이터를 확보할 수 있다.

또한 본 논문에서는 가열수단의 온도를 제어하여 전기화재 이전 단계에서 샘플의 화재징후를 발생시킴으로써, 가스센서의 감지특성을 분석할 수 있고, 절연물의 열화에 의해 발생하는 가스 중에서 화재징후와 관련된 표적가스를 알아낼 수 있다.

### 2.1.3 장착수단의 설계

전기시설 중 하나인 배전반은 Fig. 3과 같이 주 차단기가 설치된 메인 배전반과 부하를 위한 부하 배전반 등 복수의 외함을 포함할 수 있고, 통상적으로 최대 5면을 포함할 수 있다.

종래에는 각각의 외함별로 화재징후를 감지하기 위해 외함별로 센서유닛을 설치할 수 있고, 메인 배전반에 복수의 센서유닛과 통신이 가능한 모니터링유닛을 설치할 수 있다.

그러나 종래의 시험장치는 모니터링유닛에 대한 인증시험을 미제공하고, 단일의 센서유닛에 대한 인증시험만 제공하는 문제점이 있다.

즉, 배전반의 5면 등 하나의 세트에 대한 시험 및 센서유닛의 감지값에 대응하는 모니터링정보를 출력하는지 모니터링유닛에 대한 시험을 함께 제공할 수 있는 구조적 특징으로 고려한 시험장치가 필요하다.

따라서, Figs. 1, 2와 같이 본 논문에서 제안하는 장착수단은 시험장치의 내부에 형성된 제1 거치수단 및 시험장치의 외부에 형성된 제2 거치수단을 포함한다. 제1 거치수단은 1세트로 구

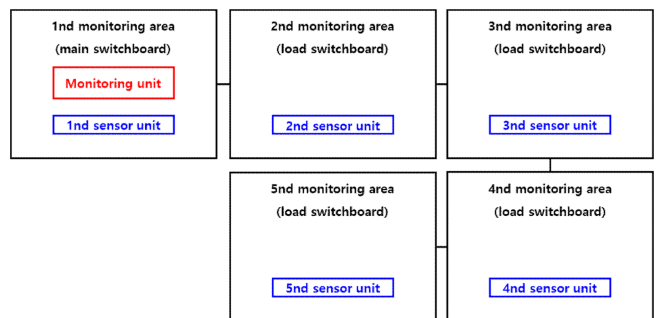


Fig. 3. Monitoring unit and sensor unit installed on the switchboard.

성된 5개의 센서유닛을 거치시킨다. 제2 거치수단은 모니터링 유닛을 거치시킨다.

제1 거치수단과 제2 거치수단은 단순히 거치의 기능만 있는 것이 아니라, 센서유닛과 모니터링유닛을 공간적으로 분리시키는 기능이 있고, 공간적 분리를 통하여 센서유닛과 모니터링유닛의 성능을 함께 시험할 수 있다.

1개 세트에 포함된 5개의 센서유닛들은 동일한 성능을 동작되어야 하므로, 시험장치는 5개의 센서유닛들이 동일한 수준의 자극을 감지하는지 센서유닛의 성능 시험을 제공하고, 5개 센서유닛의 감지값에 대응하는 모니터링정보가 출력하는지 모니터링유닛의 성능 시험을 제공한다. 따라서 시험장치는 감시구역에 설치 가능한 모든 유닛들을 시험하여 성능시험의 비용이나 시간을 절약할 수 있다.

### 2.1.4 가스주입수단의 설계

가스주입수단은 챔버의 측면에 형성되고, 주사기를 통하여 내부에 시험가스를 주입하는 기능이 있으며, 센서유닛의 성능을 시험하기 위해 활용된다. 예를 들어 주사기를 통하여 주입된 시험가스의 농도값은 알고있는 값과 센서유닛에서 감지된 농도값을 비교하여 센서유닛의 성능을 시험할 수 있다.

## 2.2 시험장치의 활용 방안

### 2.2.1 전기화재 이전에 발생하는 화학물질 연구

본 저자는 제안하는 시험장치에 절연물의 불완전연소에서 완전연소까지 가열시킬 수 있는 가열수단 및 저농도와 고농도의 가스센서가 구비되어 전기화재 이전에 발생하는 화학물질을 연구할 수 있었다.

가스센서를 저농도 가스센서와 고농도 가스센서로 구성한 이유는, 표출재와 절연물에서 발생하는 가스를 감지하기 위해서이고, 또한 전기화재 이전에 발생하는 가스 등 화학물질을 감지하기 위해서이다.

표출재는 난연성이 있는 절연물보다 용점이 낮기 때문에, 절연물보다 먼저 화재징후를 표출할 수 있는 물질이다. 또한 표출재는 전기시설에 주로 차지하는 절연물보다 양이 적기 때문에 열분해시 저농도 가스센서에 의해 감지될 수 있다. 반대로 절연물에서 다량을 발생하는 가스는 고농도 가스센서에 의해 감지될 수 있다.

표출재에 대한 자세한 설명은 이번 논문에 함께 게재되는 ‘화재징후 조기표출과 복합검사를 위한 표출재 설계, 제작 및 성능 평가’에 관한 논문을 참조하기로 한다.

참고로 가스센서를 저농도 가스센서와 고농도 가스센서로 구성된 것도 시험장치를 통한 센서 연구의 결과물이다.

### 2.2.2 결합 제품의 개발을 위한 연구

Fig. 4와 같이 본 연구에서는 시험장치를 통하여 온도와 시간

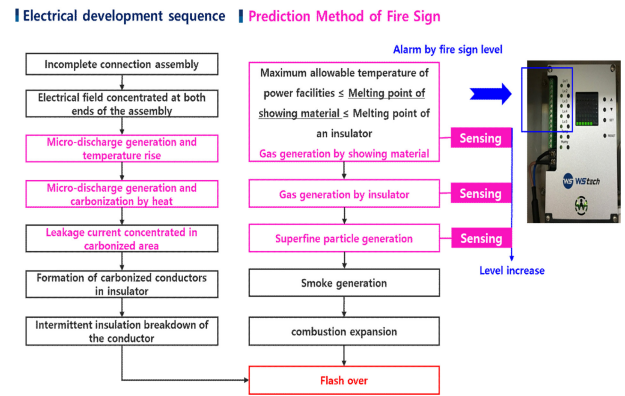


Fig. 4. Method for predicting fire sign.

에 따른 표출재 및 절연물의 발생 가스를 분석하여 단계별로 화재징후 수준을 판별하는 알고리즘을 개발할 수 있었고, 알고리즘이 적용된 모니터링유닛을 개발할 수 있었다. 센서유닛은 감지대상에서 발생하는 가스를 감지하고, 모니터링유닛은 가스감지값을 분석하여 단계별로 화재징후 수준을 판별하여 일정 수준 이상이면 알람을 발생한다.

참고로 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 센서유닛과 모니터링유닛이 분리된 분리형을 감시장치를 개발하였고, Fig. 4와 같이 센서유닛과 모니터링 유닛이 함께 형성된 일체형의 감시장치를 개발하였으므로, 전기시설의 환경에 대응하여 감시장치를 적용할 수 있다.

### 2.2.3 인증시험을 위한 검사

본 연구에서는 시험장치를 통하여 절연물을 통한 성능 검사 및 시험가스 주입을 통한 성능 검사를 적용할 수 있다.

절연물을 통한 성능검사는 절연물 열화시 발생하는 가스를 센서유닛에서 감지하는 검사이다.

시험가스 주입을 통한 성능 검사는 시험장치의 내부에 설정된 시험가스를 주입하고, 가스주입량과 센서데이터를 비교하여 센서유닛의 성능을 검사하는 시험이다.

2가지의 성능검사 방식은 배전반의 5면 등 하나의 세트에 대한 시험 및 센서유닛의 감지값에 대응하는 모니터링정보를 출력하는지 모니터링유닛에 대한 시험을 함께 제공할 수 있다.

## 2.3 인증시험에 적용된 예

### 2.3.1 실험환경

본 실험은 시험가스를 주입하거나 절연물을 연소시키는 방식으로 진행될 수 있고, 중복된 내용을 배제하기 위한 시험가스 주입을 통한 성능검사에 대해서만 설명하기로 한다.

감시장치는 시험가스를 감지하고, 시험가스의 농도와 설정된 기준농도범위를 비교하여 화재징후의 수준을 판별하며, 판별결과는 LED와 디스플레이를 통하여 표시한다.





Fig. 5. Experimental environment.

시험 및 측정을 위한 표준 대기 조건은 KS C IEC 60068-1을 따른다. 여기서 온도는 15~35°C이고, 상대습도는 25~75%R.H.이다.

참고로 연구 초기에 Fig. 5와 같이 일체형 감시장치를 위한 시험장치를 제작하였고, 최근에 Fig. 2와 같이 일체형과 분리형의 감시장치를 위한 시험장치를 제작하였다.

### 2.3.2 시험가스

표출재와 절연체는 방향족 화합물을 포함하고, 열분해시 톨루엔이나 벤젠과 같은 가스를 발생한다. 따라서 본 실험에서는 톨루엔 가스를 시험가스로 한다. 톨루엔 가스의 제조사는 리가스이고, 농도는 3,013  $\mu\text{mol/mol}$ 이다.

본 연구에서는 Fig. 5와 같이 가스특성 시험장치의 내부를 clean air로 조성하기 위하여 clean air 가스를 사용한다. clean air 가스의 제조사는 MS가스이고, 성분은 산소 21.16%(mole fraction)과 질소 밸런스로 구성된다.

### 2.3.3 실험순서

Fig. 6과 같이 시험장치에 전원을 연결하고 챔버내에서 23시간 이상 숙성한다. 가스주입구를 통해 Clean air를 3psi압력으로 30분간 투입하여 챔버내 공기를 안정화(습도 30%RH미만)시킨다.

Clean air주입을 중지하고 5분 경과 후, 가스 주입구를 통해 각 단계별 소정의 톨루엔 가스를 시험용 주사기를 이용하여 투입하여 설정농도를 만든 후 5분간 챔버내 농도를 안정화시킨다.

화재징후 감시장치의 LED화면 및 경고등 램프 점등을 확인한 후, 각 단계별로 가스 주입량을 달리하여 아래의 시험 방법으로 각 1회 시험을 진행한다.

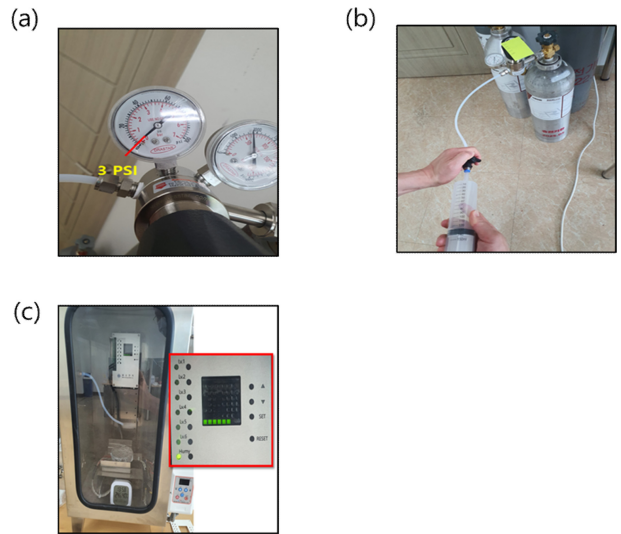


Fig. 6. (a) Process of injecting clean air at 3 psi pressure, (b) process of injecting toluene gas, (c) Process of checking warning lamp illumination.

시험 후 몸체의 문을 개방한 경우, 혼합가스(산소, 질소)를 3psi 압력으로 30분간 투입하여 몸체 내 공기를 순화하여 잔류 톨루엔을 배출시킨다.

### 2.3.4 실험방법

시험 중 챔버의 문을 개방한 경우, Clean air를 3psi압력으로 30분간 투입하여 안정화 시킨다. 각 단계별 소정의 톨루엔 가스 주입 5분 후 기기의 LED 램프의 점등을 확인한다.

챔버내 주입된 톨루엔 가스의 (누적)농도 계산식은 수식 (1) 및 (2)와 같고, 시험가스의 주입량에 관한 순서는 Table 1과 같다.

$$\text{chamber volume} : \text{Gas concentration in the chamber} \quad (32.425) \quad (3,013 \mu\text{mol/mol}) \quad (1)$$

Standard gas concentration : Amount of gas injected

$$\text{Gas concentration in the chamber} = \frac{\text{Amount of gas injected}}{\text{Chamber volume}} \times \text{Standard gas concentration} (2)$$

Table 1. Procedure for injection volume of test gas.

amount of gas injected (ml)	amount of gas accumulated (ml)	Detailed evaluation criteria
-	-	Off state
70	70	Turn on Level 1 lamp
70	140	Turn on Level 2 lamp
120	260	Turn on Level 3 lamp
130	390	Turn on Level 4 lamp
240	630	Turn on Level 5 lamp

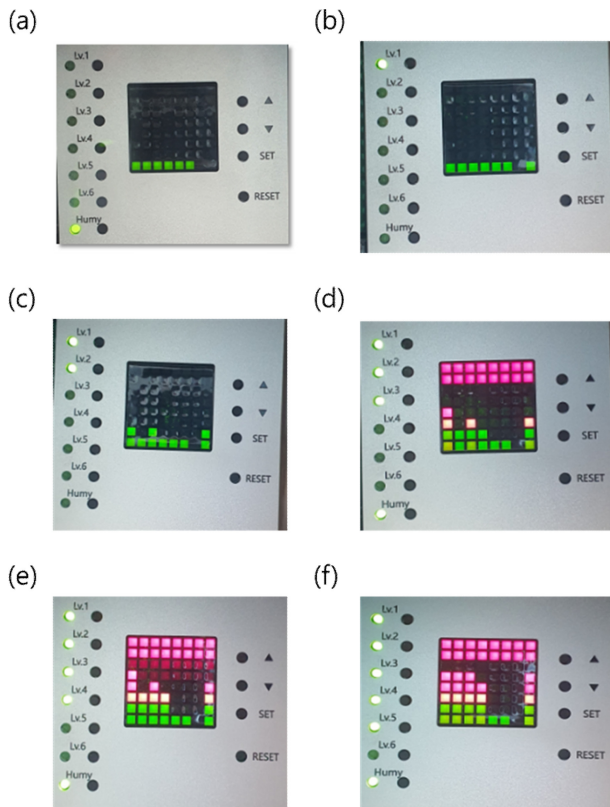


Fig. 7. (a) Test result of off state, (b) Test result of Level 1, (c) Test result of Level 2, (d) Test result of Level 3, (e) Test result of Level 4, (f) Test result of Level 5.

### 3. 결과 및 고찰

전술한 내용을 바탕으로 인증시험에 필요한 실험을 자체적으로 시뮬레이션하였고, 실험결과에 따르면 화재징후 감시장치는 가스주입량에 대응하여 레벨에 따른 LED 경고등이 점등되어 정상적으로 동작됨을 확인할 수 있었다. Fig. 7에서 레벨의 수준은 화재징후의 수준을 의미하고, LED 경고등과 디스플레이로 함께 표시된다.

따라서 실험결과를 토대로 제품 출시를 위한 인증시험을 실제로 진행할 수 있을 것으로 예상된다.

참고로 본 논문의 주요 쟁점은 활용범위를 증가시킬 수 있는 시험장치를 제안하는 것이므로, 실험에 관한 시뮬레이션보다 시험장치의 구조적인 특징 등 설계에 관한 연구가 더 중점적으로 소개되었음을 감안하기로 한다.

### 4. 결 론

종래에는 시험장치를 단일 목적으로 사용하거나, 특정 목적에서 사용하지 못하고 있으므로, 시험장치의 활용범위가 매우 제

한되는 문제점이 있었다.

그러나 본 논문에서는 시험장치의 구조적인 특징을 연구 개발하고, 실제로 감지대상과 센서 그리고 결합 제품에 모두 적용함으로써, 감지대상의 연구, 감지대상을 감지하는 센서의 연구, 센서가 포함된 결합 제품의 연구 및 결합 제품의 출시를 위한 인증 등 다양한 목적으로 활용할 수 있었다.

마지막으로 본 논문에서 제안하는 시험장치를 톨모델로 하여 인접하는 다른 기술분야에서도 응용하여 함께 적용되기를 바라고, 연구 개발의 성과를 높일 수 있는 계기가 되길 바라며, 제품의 품질향상과 인증시험의 표준화에 기여할 수 있길 바란다.

### 감사의 글

이 연구는 2022년도 대전테크노파크 창업지원기반조성사업 및 2022년도 중소벤처기업부 디딤돌 창업성장기술개발사업에 의해 지원되었습니다. 또한 이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

### REFERENCES

- [1] B. J. Jeong and K. W. Lee, "A Comparative Study on the Toxicity Evaluation for Fire Smoke by FDS", *J. Korean Institute Gas.*, Vol. 19, No. 1, pp. 38--44, 2015.
- [2] Y. K. Park, "A Study on Combustion Gases Toxicity Evaluation of Polymeric Material", *T. Korean Institute Fire Sci. Eng.*, Vol. 15, No. 3, 2001.
- [3] G. S. Kim, J. T. Oh, H. S. Kim, and J. C. Kim. "A Study on CO2 Sensor Module Using NDIR Method", *J. Korean Institute Electronics Eng.*, Vol 46, pp. 36-40, 2009.
- [4] J. Y. Jang, K. W. Lee, Y. J. Kim, and W. T. Kim, "S- A Design and Implementation of Busbar Joint and Temperature Measurement System FDS: a Smart Fire Detection System based on the Integration of Fuzzy Logic and Deep Learning", *J. Institute Electron. Inf. Eng.*, Vol. 54, No. 4, pp. 379-385, 2017.
- [5] S. H. Hong and M. S. Choi, "An Intelligent Fire Detection Algorithm for Fire Detector", *J. Korean Institute Safety*, Vol. 11, No. 1, pp. 6-10, 2012.
- [6] H. Amer and R. Daoud, "Fault-Secure Multidetector Fire Protection System for Trains", *IEEE Instrum. Meas. Soc.*, Vol. 56, No. 3, pp. 770-777, 2007.
- [7] S. H. Cho, H. W. Jang, J. W. Jeon, S. I. Choi, S. G. Kim, Z. Jiang, S. J. Choi, and C. W. Park, "A Study on the Early Fire Detection by Using Multi-Gas Sensor", *J. Sensor Sci.*, Vol. 23, No. 5, pp. 342-348, 2014.
- [8] M. D. Blagojević and D. M. Petković, "Detecting fire in early stage-a new approach", *Working Living Environ. Prot.*, Vol. 2, No. 1, pp. 19-26, 2001.
- [9] R. W. Bukowski and P. A. Reneke, "New approaches to the interpretation of signals from fire sensors", *Int.l Conf. Autom. Fire Detect.*, pp. 11-21, 1999.

- [10] K. A. Notarianni, D. Cyganski, and R. J. Duckworth, "Development of a portable flashover predictor", *Int. Conf. Safety*, Gandhinagar, India 2012.
- [11] D. T. Gottuk, M. J. Peatross, R. J. Roby, and C. L. Beyler, "Advanced fire detection using multi-signature alarm algorithms", *J. Fire Safety*, Vol. 37, No. 4, pp. 381-394, 2002.
- [12] R. Davies, "The use of detectors in modern fire protection, apolo fire detectors", *Fire Safety Eng.*, pp. 28-30, 2000.
- [13] G. J. Lee, W. Y. Choi, and Y. S. Lee, "Multisensor smoke detector for the auto-addressable detector bus SynoLOOP", *SIEMENS, Siemens Building Tech.*, pp. 846-847, 2003.