단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기 개발

Development of Light-obscuration-type Smoke Meter Using Visible Light of Single Wavelength

정종진*

Jung, Jongjin*

Abstract

In this study, we developed a light-obscuration-type smoke meter using visible light of a single wavelength. This could replace smoke meters that use selenium photocells and tungsten lamps, which are standard domestic equipment. A high-brightness light emitting diode was used as a light source, and a silicon photodiode was used as a photo sensor. An effective optical path length of 500 mm was developed in accordance with ISO 7240-7 and UL 268 regulations. To compare and evaluate the developed light-obscuration-type smoke meter, a smoke detector sensitivity tester with automatic smoke concentration control and maintenance was developed. Compared to standard light-obscuration-type smoke meters that use selenium photocells, it was confirmed that our smoke meter performs to an equivalent standard.

Key words : Light-obscuration-type Smokemeter, Selen Photocell, High Brightness LED

요 지

본 연구에서는 셀렌광전지와 텅스텐 램프를 사용하는 표준 감광식 연기농도 측정기를 대체할 수 있는, 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기의 개발을 수행하였다. 광원은 고휘도 발광다이오드를 사용하였으며, 광센서는 실리콘 포토다이오드를 적용하였다. 유효광로길이(Effective Optical Path Length)는 ISO 7240-7과 UL 268의 규정에 맞도록 500 mm로 개발하였으며, 개발된 감광식 연기농도 측정기를 비교평가하기 위해서, 자동으로 연기농도가 제어 및 유지되는 연감지기 감도시험기를 개발하였다. 국내 표준 장비인 셀렌광전지 방식의 표준 감광식 연기농도 측정기와 비교 시험을 통해서, 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기도 표준 측정기와 동등성이 있는 것이 확인되었다.

핵심용어 : 감광식 연기농도측정기, 셀렌광전지, 고휘도 발광다이오드

1. 서 론

감광식 연기농도 측정기(light obscuration type smokemeter)는, ISO 7240-7과 UL 268에서 규정한 화재시험실에서 연감지기의 성능시험을 할 때 사용되는 표준 계측기기이다. 과거 20여년간 국내에서는 전혀 개발되지 않았으며, 전량 해외에서 수입하였다. 국내에서는 화재시험을 수행할 때 고가의 연기농도 측정기를 구입하지 못하여 화재 시험 시에 연기 농도를 정확하게 측정하지 못하는 상황이 발생하기도 하였다.

또한, 국내에서 생산되는 화재감지기 중의 일종인 연감지기(Smoke detector)는 양산 후 검사를 거쳐서 합격 여부를 판정하여야 하는 데 이 때 검사에 사용되는 시험기인 감도시험기의 핵심 부분이 감광식 연기농도 측정기이다. 광원은 텅스텐 필라멘트 램프를 사용하기 때문에 국내에서도 조달이 가능하였으나 광센서인 셀렌 광전지(Photo cell)는 국내에서 생산되지 않았으며, 해외에서도 일본에서만 생산되는 부품이다. 일반 산업계에서는 과거 10여 년 전부터 셀렌 광전지가 포토다이오드(Photo diode)로 교체되었기 때문에

*교신저자, 정회원, 한국소방산업기술원 연구소 책임연구원(Tel: +82-31-289-2950, Fax: +82-31-287-1067, E-mail: samjiung@hanmail.net)
Corresponding Author, Member, Ph.D., Fire Technology Lab, Korea Fire Institute

전 세계적으로 셀렌 광전지를 생산하지 않고 있다. 최근에는 일본에서조차도 시험용 셀렌 광전지를 생산하지 않게 됨에 따라 국내에서는 셀렌 광전지를 이용한 연기감지기의 감도시험기를 제작하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 연기감지기의 생산업체에서는 노후화된 감도시험기를 신규로 교체할 수 없게 되었으며, 신규로 연기감지기를 개발 또는 생산하고자 하는 산업 현장에서는 어려움을 겪고 있다.

영국에서는 이에 대응하기 위하여 셀렌 광전지를 포토다이오드로 대체하는 감광식 연기농도 측정기의 표준을 신설하였다(BS 5446-1, 2000). 이 규정에는 광원으로써 수명이 짧은 텅스텐 램프(Tungsten lamp) 대신에 550~570 nm 사이에서 최대 강도(Intensity)를 갖는 발광다이오드(Light emitting diode)를 사용하고 광센서로는 실리콘 포토다이오드를 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 영국에서 국가표준(British Standard)으로 채택되었다는 것은, 새로운 표준이 과거 표준과 등가성이 있음을 의미한다고 사료된다. 환경 분야에서는 2,000~2,800K의 색온도(Color temperature)를 갖는 텅스텐 램프를 표준으로 하여 처음 제정되었으나, 1980년대 후반에 유럽과 미국에서 등가성 있는 표준 광원을 개발하여 새로운 표준을 제정하였다(ISO 11614, 1999). 텅스텐 램프의 수명이 6개월 정도로 짧은 반면에 새로이 채택된 발광다이오드의 수명은 10년 정도로 매우 길며 안정적이기 때문이다.

이와 같은 변화에도 불구하고 국내에서는 감광식 연기농도 측정기에 대한 연구나 개발이 진행된 바 없었다. 더 이상 구입할 수 없는, 셀렌 광전지를 이용한 감광식 연기농도 측정기를 대체할 수 있는, 새로운 국가 표준에 대한 기술적 연구 및 검토가 신속히 이루어져야 함이 요구되었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 셀렌 광전지를 대체하는 발광다이오드와 포토다이오드를 이용한 감광식 연기농도측정기를 개발하였다. 또한 발광다이오드와 포토다이오드를 이용한 연기농도측정기의 성능평가를 위하여 기존의 셀렌광전지 연기농도측정기와 비교실험을 통하여 그 성능을 확인하였으며 본 연구를 통하여 국산 연기감지기의 성능향상에 기여하고자 한다.

2. 감광식 연기농도 측정기

2.1 이론적 배경

감광식 연기농도 측정기의 측정원리와 관계된 이론적인 식은 Eqs. (1)~(5)와 같다(ISO 11614, 1999; ISO 7240-7, 2018; UL 268, 2009). 연기농도 측정기의 측정원리는 광투과법(Light obscuration or extinction method)이며, 광원(Light source)은 550~570 nm 사이의 연초록광선을 사용하거나, 근적외선(860 nm)를 사용한다. 광센서로는 실리콘 포토다이오드(Silicon Photodiode)를 사용한다.

$$T = \left(\frac{I_T}{I_0}\right) = e^{-kL} \quad (1)$$

$$N = 100(1 - T) \quad (2)$$

$$N_s = 100(1 - e^{-kL_s}) \quad (3)$$

$$N_s = 1001 - \left(\frac{N_m}{100}\right)^{\frac{L_s}{L_m}} \quad (4)$$

$$k = -\left(\frac{1}{L}\right)\ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (5)$$

T : Transmittance of light in the smoke plume

e : Base of natural logarithms

k : Smoke density (m^{-1})

L : Effective optical path length (m)

L_s : Standard effective optical path length (m)

L_m : Real effective optical path length (m)

N : Light obscuration (%)

N_s : Standard obscuration of standard EOPL

N_m : Real obscuration of real EOPL

ln : Natural log

위의 식에서 유효광로길이(Effective Optical Path Length, EOPL)란 광원으로부터 방사된 빛이 광센서에 도달하기 전의 이동경로 중에서 실제로 연기 입자가 포함된 유동과 만난 경로의 길이를 의미한다. 연기감지기의 표준 유효광로길이(Standard EOPL)는 1미터이다. 즉 빛이 1미터 진행하였을 때 감쇄되는 광량의 백분율(obs%/m)이 기본단위이다. 연기농도 측정기에서 실광로길이(Real Optical Path Length)는 제조사의 설계 의도에 따라 표준 유효광로길이와 동일하지 않을 수 있다. 제조사는 적용 용도와 사용 환경을 반영하여 실광로길이를 짧게 설계하고, 표준 유효광로길이에 대한 값으로 환산하는 경우도 있다. 이런 경우 연기농도 측정기의 광학부 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다.

상기의 식으로 측정된 연기농도는, 측정 당시의 주위 환경이 표준상태가 아닐 경우, 아래의 식으로 표준 상태로 보정할 수도 있다(ISO 11614, 1999).

$$k_{cor} = k_{meas} \left(\frac{p_{atm}}{p_{meas}}\right) \quad (6)$$

$$k_{cor} = k_{meas} \left(\frac{T_{meas}}{T_s}\right) \quad (7)$$

k_{cor} : Measured smoke density corrected for pressure and temperature (m^{-1})

k_{meas} : Measured smoke density (m^{-1})

p_{atm} : Atmosphere pressure (kPa)
 p_{meas} : Measured static pressure in the measuring zone (kPa)
 T_{meas} : Ambient temperature in the measuring zone (K)
 T_s : Standard temperature in the measuring zone (K)

2.2 광학구조

Fig. 1에는 감광식 연기농도 측정기의 개략적인 광학구조가 도식되어 있다. 감광법을 이용하는 연기농도 측정기(Optical smokemeter)의 광학부를 구성하는 광원과 광센서 앞에는 집광렌즈가 설치되어 있다. 집광렌즈의 오염은, 투과광량의 감소를 야기 시키기 때문에 오염되지 않도록 오염방지공기로서 청정공기(Protection air)가 렌즈 전방에 공급되고 있다. 이 때 오염방지공기의 공급에 의해서 유효광학경로 길이가 변동되지 않도록 설계되어 있다. 오염방지공기의 전단에는 미세먼지를 걸러주는 필터가 설치되어 오염방지공기에 미세먼지가 포함되지 않도록 제거한다.

이러한 시스템을 환경 계측기 분야에서는 상시모니터링(Continuous monitoring system)시스템이라고 한다. 상시 모니터링 시스템은 24시간 365일 연속적으로 작동하여도 오염에 의한 신호 에러가 발생하지 않도록 설계되어 있다. 화재경보에 사용되는 고가의 고감도 흡입형 화재정보기도 이러한 구조를 갖고 있다.

Fig. 1. Optical Part Structure

2.3 감광식 연기농도기 제작

본 연구에서는 이론적인 고찰을 통하여, 연기농도 측정기의 장기간 사용에 따른 감도저하(편차발생)를 최소화하거나 방지하기 위한 기술을 개발하였다. 광투과법에서 먼지에 의한 광학계의 오염이 발생시키는 감도 저하는 논리적으로 연산을 하여야만 가능하다. 이를 위해서는 CPU를 사용하여 마이크로컨트롤러를 설계하였으며, 입력된 논리적인 프로그램에 의해 보정하도록 설계하였다.

Fig. 2는 본 연구를 통해 제작된 광원 및 광센서 회로이며, Fig. 3은 마이크로컨트롤러 등의 제어회로이다. Fig. 3에 제시된 마이크로컨트롤러의 주 기능은 고감도 연기농도 측정 기능이다. 연기농도 측정기의 광원 제어회로, 광센서

신호의 2차 증폭회로가 내장되어 있으며, 덕트형 연감지기 감도시험기 챔버의 센서와 연기발생 장치를 제어하며 외부 기기와의 인터페이스를 수행한다. CPU로는 XMEGA 계열을 사용하였으며, CPU 내부에 A/D 채널과 RS232 및 RS485 채널이 제공된다. 기존 국내 표준과 동일한 직경 50 mm의 평행광을 이용한 연기농도 측정을 위한 연구를 위해 Fig. 4와 같이 유효 광학 경로 길이(EOPL)가 500 mm인 광학부를 설계하여 제작하였다. 빔의 직경이 50 mm가 되도록 하기 위해 렌즈 직경 50 mm를 사용하였고, 50 mm 렌즈를 고정하기 위한 렌즈 홀더를 제작하였다. Table 1은 본 연구에서 개발한 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기의 기술적 사양을 나타낸다.

Fig. 2. Light Source (left) and Light Sensor (right) Circuit

Fig. 3. Microcontroller of Light-Obscuration-type Smokemeter

Fig. 4. Optical Part of Light-Obscuration-Type Smokemeter Using 50mm Diameter Lens

Table 1. Technical Specification of Single Wave Length

	Selen Light smokemeter	Single wave length smokemeter
Light Source	Tungsten lamp	High brightness LED
Light Detector	Selen photocell	Silicon photodiode
EOPL	500 mm	500 mm
Detection Limit	0.05%obs/m	0.05%obs/m
Resolution	0.1%obs/m	0.1%obs/m
Range	0.0~35.0%obs/m	0.0~100.0%obs/m

3. 덕트형 연감지기 감도시험기

본 연구에서 개발된 직경 50 mm의 평행광을 이용한 연기농도 측정기를 위해, 덕트형 연감지기 감도시험기를 설계 및 제작하였다(Fig. 5). 이는 연기농도를 측정하기 위해서는 제한된 일정한 공간의 연기를 측정해야 하므로 덕트형의 연기감도시험기를 제작한 것이다. 이 형태는 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기의 성능을 확인하기 위해서 현재 공인시험기관에서 사용하는 연기감도시험기와 같은 형태로 제작한 것이다.

Fig. 5. Duct Type Smoke Detector Sensitivity Tester

본 연구에서는, 빔 직경이 10 mm인 연기농도 측정기와 빔 크기가 50 mm인 연기농도 측정기를 동시에 챔버에 부착하여 측정값을 비교 분석함은 물론, 기존의 감도시험기 사용시 사용자의 불편함과 문제점을 해결하기 위해 사용자가 설정한 연기농도로 자동으로 조절되는 기능과, 챔버 내부에 디지털 카메라를 설치하여 내부의 연기 유동을 관찰할 수 있도록 제작하였다. 또한 시험 종료 후 챔버 내부의 연기는 배연용 팬을 통해 외부로 배출할 수 있도록 제작하였다.

Fig. 5는 본 연구에서 개발한 감도시험기 챔버와 주제어기, 연기발생기를 나타낸 것이다. Fig. 5에서, 중앙의 감도시험기 챔버에는 연기를 공급하는 호스가 오른쪽의 연기발생기에 연결되어 있다. 호스가 연결된 연기발생기에는 자동제어가 가능한 송풍기가 장착되어 감도시험기 챔버로 연기를 공급할 수 있다. 중앙의 챔버 왼쪽에 있는 주제어기에는 감도시험

기 전체를 제어하는 PC와 마이크로컨트롤러들이 설치되어 있다. PC에서는 감도시험기의 모든 센서 측정값들을 받아들이고, 액추에이터를 제어할 수 있다.

3.1 챔버(chamber)

Fig. 6은 감도시험기 챔버의 앞뒷면을 나타낸 것이다. 감도시험기 챔버의 양 쪽 측벽에 빔 직경 10 mm와 50 mm의 감광식 연기농도 측정기가 각각 1대씩 설치되어 있으며, 연기발생기에서 연기를 공급하는 입구와, 시험 종료 후 연기를 배출하는 출구가 있고 상단에는 시험 및 평가하고자 하는 연감지기를 설치할 수 있는 설치대가 있다. 연감지기의 성능을 시험하기 위해서는, 챔버 내부의 기체가 일정한 연기농도를 유지하여야 한다. 챔버 내부의 연기농도를 일정하게 유지하기 위하여 내부에는 기류순환용 팬, 감광식 연기농도 측정기, 기류상승용 가열기 등이 설치되어 있다.

본 연구에서 개발한 감도시험기는, 사용자가 주제어기에서 연기농도를 설정하면, 자동으로 챔버 내부의 연기농도를 사용자가 설정한 농도로 일정하게 유지한다. 이를 위해서 챔버 내부의 연기농도가 설정값보다 낮을 경우에는 외부의 연기발생기로부터 자동으로 연기를 공급한다. 또는 챔버 내부의 연기농도가 설정값보다 높을 경우에는 자동으로 외부로 배출하여 연기농도를 낮춘다.

챔버 내부의 연기농도가 설정된 값으로 일정하게 유지되는 지 여부를 확인하기 위해서, 감광식 연기농도 측정기(Optical smoke meter)가 챔버의 양 쪽 측벽에 설치하였다. 감광식 연기농도 측정기는 매우 정밀한 계측기로서, 여기서 측정된 연기농도를 기준으로, 챔버 내부의 농도를 목표값(주제어기에서 설정된 연기농도)과 일치하도록 주제어기에서 제어한다.

발광부에는 광원(고휘도 LED) 제어 회로, 광원, 및 집광렌즈(15 mm, 50 mm)가 설치되어 있으며, 수광부에는 광센서(실리콘 포토다이오드)의 증폭회로, 광센서 및 집광렌즈가 설치되어 있다. 광원에서 방사된 빛은 집광렌즈를 통과해서 평행하게 정렬된 다음 챔버 내부의 연기 기류를 통과한다. 그 다음에 수광부의 집광렌즈를 통과한 후 광센서에 집광된다.

Fig. 6. Chamber (Left: Front, Right: Back)

본 연구에서 개발한 감광식 연기농도 측정기의 광학부에는, 집광렌즈의 오염을 방지하는 오염방지공기(청정공기)가 공급되는 것이 특징이다. 기존의 다른 감도시험기에 설치된 감광식 연기농도 측정기의 집광렌즈는 연기 기류와 직접적으로 접촉하기 때문에 시험 도중에 연기 입자에 의해서 오염되는 경우가 종종 발생한다. 집광렌즈가 연기 입자에 의해서 오염되면 챔버 내부의 실제 연기농도보다 더 높은 농도로 측정되는 오차가 발생할 수 있다. 따라서 기존의 감광식 연기농도 측정기는 시험 도중에 자주 집광렌즈를 세정해야 하는 번거로움이 있다. 본 연구에서 개발된 감광식 연기농도 측정기는, 집광렌즈 전방에 미량의 오염 방지공기(1 LPM)를 공급하여 연기 입자에 의한 렌즈 오염을 방지 하였다. 따라서 챔버 내부의 정확한 연기농도를 측정하면서 동시에 장시간의 연기감지기 감도시험을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 광학부에 공급되는 오염방지공기는 감도시험기 챔버 내부로 유입될 때 오염방지공기가 청정공기이므로, 유량이 너무 크거나 압력이 높으면 챔버 내부의 연기 유동을 왜곡하여 측정기에서 측정되는 연기농도가 부정확해질 수 있다. 본 연구에서는 이런 왜곡현상을 막기 위해 반복 실험을 통하여 측정해 본 결과, 1.0 LPM ($\pm 20\%$)의 청정공기를 사용할 때 연기농도 측정값에 변화가 없음을 확인하였다.

3.2 연기발생기(smoke generator)

Fig. 7은 연기발생기를 나타낸 것이다. 기존의 연기발생 장치는 덩트형 감도시험기 챔버 안에 오븐 히터가 설치되어 있어 사용자가 연소지를 수동으로 찢어서 연기를 발생시키는 방법으로 사용하였다. 하지만 이럴 경우 시험자가 원하는 연기농도를 정확히 맞추기가 어려울 뿐만 아니라, 장시간 시험할 경우에는 육체적으로 매우 힘이 든다. 이런 문제점을 보완하여 Fig. 7과 같이 연기발생 장치를 외부에 독립적으로 설치하였다. 연기발생기 내부에 다량의 시험지를 넣어 다량의 고농도 연기를 발생시킨 후 자체적으로 내부에 보관하고 있다가, 챔버와 연기발생기를 연결한 호스를 통하여 연기 유동을 공급하여 챔버 내부의 연기농도를 자동으로 제어한다.

Fig. 7. Smoke Generator (Left: Front, Right: Back)

Fig. 7에 제시된 연기발생기는 감도시험기 챔버와는 별개

의 장치이다. 연기발생기는 시험용 종이(연소지)를 연소시켜 연기를 발생시키는 가열기(Heater), 가열기의 온도를 일정하게 유지하는 온도센서 및 온도제어기, 연기를 저장하는 연기저장실, 챔버로 연결되는 호스, 챔버로 연기를 불어주는 송풍기 등으로 구성된다. 가열기는 표면온도 800℃까지 가열이 가능하다.

3.3 주제어기(Main controller)

Fig. 6에 주제어기를 나타내었으며 감도시험기 챔버 및 연기발생기를 제어하고 관리하는 시스템이다. 챔버에 설치된 감광식 연기농도 측정기의 제어기가 주제어기에 연결되어 있다. 이 주제어기는 컴퓨터와 연결되어 있으며 컴퓨터와 연결된 LCD 모니터에서는 감광식 연기농도 측정기에서 측정되는 챔버 내부의 연기농도를 측정, 확인, 및 기록할 수 있다. 챔버에 설치된 감광식 연기농도 측정기의 영점 조정도 주제어기의 프로그램 상에서 수행된다.

사용자는 주제어기의 컴퓨터 프로그램 상에서 챔버 내부의 연기농도를 설정할 수 있다. 주제어기는 챔버 내부가 설정된 연기농도에 도달할 때까지, 연기발생기와 챔버 사이의 밸브를 열고 연기발생기에 설치된 송풍기를 구동한다. 이렇게 함으로써 고농도의 연기가 연기발생기로부터 챔버로 공급되게 된다. 챔버 내부의 연기농도가 낮아지면 주제어기는 자동으로 위의 과정을 반복하며 챔버 내부의 연기농도를 일정하게 유지한다.

주제어기는 컴퓨터 본체, LCD 화면, 키보드, 마우스 등이 제공되며, 컴퓨터 화면에 표시되지 않는 다른 변수들과 관련된 여러 가지 버튼이나 레버는 컴퓨터 본체 하단의 전면 패널에 설치되어 있다.

4. 성능실험 및 결과

본 연구에서 개발한 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기의 신뢰도를 검증하기 위해서, 현재 연감지기를 검사할 때 사용하는 셀렌광전지를 사용하는 감광식 연기농도 측정기(표준장비)와 비교 평가 실험을 수행하였다.

그 결과는 Table 2와 같다. 셀렌광전지 방식과 단파장 가시광선 방식의 감광식 연기농도 측정기로부터 측정된 데이터는 $\pm 1.5\%$ 의 편차를 보여줄 정도로 높은 상관성을 보여주었다.

본 연구에서 개발한 감광식 연기농도 측정기는 측정범위가 0-100.0%obs/m이므로 전체 스케일(Full scale)을 고려 시 $\pm 1.5\%$ 의 편차가 발생한 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 개발한, 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기는 표준장비와 등가성이 있는 것으로 입증되었다.

Table 2. Comparison of Smoke Density Measurement Results Between Selen Photocell Type and Visible Light of Single Wave Length Type

Smoke Obscuration (%obs/m)		
Selen Photocell Type	Visible Light of Single Wave Length Type	Deviation
5.0	5.2	+0.2
10.5	11.2	+0.7
15.0	15.5	+0.5
20.0	21.1	+1.1
25.5	26.7	+1.2
30.0	31.1	+1.1

5. 결 론

본 연구에서는 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정 기술을 개발하였으며, 이를 이용한 표준장비와 등가성 있는 감광식 연기농도 측정기를 개발하였다. 또한 상기 감광식 연기농도 측정기를 이용한, 국내 최초로 연감지기 감도시험기도 개발하였다.

감광식 연기농도 측정기의 집광렌즈가 오염되지 않도록 오염방지공기를 공급하는 구조를 개발하였으며 이를 이용한 감도시험기는 장시간의 사용에도 렌즈가 오염되지 않고 연감지기의 성능을 시험을 연속적으로 수행할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 연감지기 감도시험기는 챔버 내부의 연기농도를 사용자가 설정한 농도로 자동으로 제어가 되도록 개발하였으므로, 생산 현장에서 전수 검사 용도로 사용할 경우 생산성을 높일 수가 있음을 확인하였다.

결론적으로 본 연구에서 개발한, 단파장 가시광선을 이용한 감광식 연기농도 측정기는 셀렌광전지를 사용하는 표준 장비와 상관성이 매우 높아서 등가성이 입증되었다고 사료

된다. 또한 적정 유량의 오염방지공기의 공급은 렌즈의 오염을 방지하여 장시간 시험이 가능하도록 해 주었으며, 셀렌광전지 방식의 표준장비와의 등가성에 아무런 영향을 주지 않았다.

감사의 글

본 연구는 소방청 연구개발사업(재난안전기술개발 기반 구축사업)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- BS 5446-1. (2000). *Fire detection and fire alarm devices for dwellings. Specification for smoke alarms*. British Standards Institution.
- ISO 11614. (1999). *Reciprocating internal combustion compression-ignition engines - Apparatus for measurement of the opacity and for determination of the light absorption coefficient of exhaust gas*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 7240-7. (2018). *Fire detection and alarm system - Part 7: Point-type smoke detectors using scattered light, transmitted light or ionization*. International Organization for Standardization (ISO).
- UL 268. (2009). *Smoke detector for alarm signaling systems*. Underwriters Laboratories Inc.

Received	November 7, 2019
Revised	November 12, 2019
Accepted	November 27, 2019