

## 장애경보 방지를 위한 연소 연기입자와 비연소 연기입자의 광 특성 분석

(Analysis of Optical Properties of Fire Smoke and Non-fire Smoke for Reduction of Nuisance Alarm)

지승욱\*

(Seung-Wook Jee)

### Abstract

This paper is basic study for development of an advanced photoelectric type smoke detector that has high reliability by reducing the occurrence of nuisance alarms. This paper was attempted to distinguish optical characteristics of the typical fire smoke particle and non-fire smoke particle. According to UL 268 standards, three types of test fires (the paper, the wood and the flammable liquid) were used in this paper for measurement of the fire smoke particles, and the water vapor and the cigarette smoke that were known as the main cause of the nuisance alarms were also used for the non-fire smoke particles. A smoke detection chamber was created, which was equipped with one light source and several light sensors for enabling simultaneous detection of light extinction and scattering, respectively. This paper analyzes the optical characteristics of each smoke particle using this chamber.

Key Words : Photoelectric Smoke Detector, Extinction, Scattering, Smoke Particles,  
Optical Characteristics of Smoke

### 1. 서 론

연기감지기는 화재 시 발생하는 연소생성물인 연기를 자동적으로 감지하여 화재의 발생을 감지기 그 자체에 부착된 음향장치로 경보를 발하거나 선로를 통

하여 수신기에 신호를 전송하는 장치로서 동작원리에 따라 이온화식, 광전식 등으로 나뉠 수 있다. 이온화식 연기감지기는 방사선 동위원소를 사용하기 때문에 사용이 규제되고 있으며, 현재는 광전식 연기감지기가 가장 많이 사용되고 있다[1-3]. 소방산업정보시스템에 따르면, 우리나라도 2012년 10월 이후 국내 판매를 위해 형식승인을 얻은 연기감지기의 전량이 광전식인 것으로 나타났다[4].

연기감지기는 열 감지기 등 다른 화재 감지기들보다 화재 감지가 빠르지만 장애경보에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 광전식 연기감지기 역시 연소에 의한 연

---

\* 주저자 : 영남대학교 대학원  
\* Main author : Yeungnam University, Graduate School  
Tel : 011-548-1150, Fax : 053-810-4689  
E-mail : skraken@chol.com  
접수일자 : 2014년 7월 15일  
1차심사 : 2014년 7월 17일  
심사완료 : 2014년 8월 12일

기입자 대신 다른 미립자들을 연기입자로 오인하여 경보를 발할 수 있다[5]. 이런 문제점을 해결하기 위해 선행연구자들은 데이터를 축적하거나, 화재출력을 지연하고 환경을 보상하는 방법을 사용하였다[5]. 또한 온도 센서나 CO 센서 등 다른 센서를 연기감지기와 함께 사용하는 방법도 연구하였다[6-8]. 또 다른 방법으로 미 산란을 이용하여 연기입자의 크기를 측정함으로써 연기입자를 구별하려는 연구도 있었다[9-11]. 이 방법은 레이저와 같은 편광된 단색광과 다수의 광 수신기를 필요로 한다. 특히 연기입자는 그 종류에 따라 크기가 고르지 못하거나 서로 부착하려는 성질을 가지며 매우 검은 색인 경우도 있어서 한계가 있었다. 그렇지만 장애경보 검출은 물론 연기입자로부터 화원을 구별해냄으로써 소화에 필요한 유용한 정보를 얻을 수 있는 장점도 가질 수 있다.

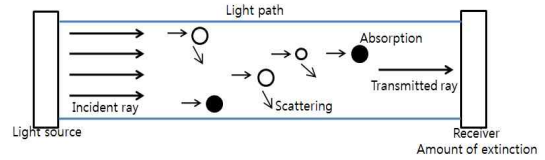
이에 본 논문은 실용성을 높이기 위해 현재 광전식 연기감지기에 많이 사용되는 광원을 사용하고 소수의 광센서만으로 고신뢰성 광전식 연기감지기 개발에 필요한 각종 연기입자의 특성을 분석하고자 시도하였다.

## 2. 관련 이론

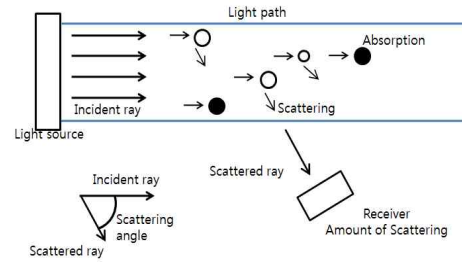
### 2.1 감광식과 산란식 연기감지기

연소에 의해 생성된 연기입자는 부유하면서 산란이나 흡수를 통해 빛을 소멸시키는 성질을 가지고 있다. 그림 1 (a)와 같이 연기입자에 의해 소멸된 빛의 양을 감지함으로써 화재유무를 판단하는 것을 감광식 연기감지기라고 하고, (b)와 같이 연기입자에 의해 산란된 빛을 감지함으로써 화재유무를 판단하는 것을 산란식 연기감지기라고 한다[3,12].

산란식은 매우 검은 연기입자에 대해 그 존재를 감지하지 못하는 경우도 있지만, 광원의 파장과 입자의 크기에 따라 산란각이 달라지기 때문에 산란각(scattering angle, incident ray와 scattered ray가 이루는 각)을 측정함으로써 연기입자의 크기를 알 수 있는 장점이 있다. 감광식은 소광의 원인이 흡수인지 산란인지 구별할 수 없지만 연기 색에 관계없이 연기를 감지할 수 있는 장점이 있다[13].



(a) A photoelectric light obscuration smoke detector



(b) A photoelectric light-scattering smoke detector

그림 1. 광전식 연기감지기의 동작 원리

Fig. 1. Principle of operation for photoelectric smoke detectors

한편 감광식과 산란식 연기감지기 모두, 광 경로 상에 연기입자가 아닌 다른 미립자(예를 들면, 수증기, 담배연기 등)가 존재하더라도 연기입자로 오인하는 장애경보를 발생시킬 수 있다[5]. 본 논문은 하나의 광원에 네 개의 광센서를 사용하여 소광량과 산란량의 분포를 분석함으로써 각종 연기입자의 특징을 구명하고자 하였다. 실험에 사용된 연기입자는 화재를 일으킬 수 있는 연기입자(이하, 연소 연기입자) 3종과 장애경보를 일으키는 연기입자(이하, 비연소 연기입자) 2종 등 총 5종이다.

연소 연기입자는 UL268에서 사용되는 종이화원(Paper fire), 목재화원(Wood fire), 인화성 액체화원(Flammable liquid fire)을 사용하였고, 비연소 연기입자는 장애경보의 주요 원인으로 알려져 있는 담배연기와 수증기를 사용하였다.

### 2.2 UL268 화원별 연기입자의 특징

그림 2는 각각 UL 268에 따라 만들어진 종이화원과 목재화원에서 발생된 연기를 포집하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM)으로 촬영한 영상을 보여준다[13]. 종이화원의 경우 연기입자들의

크기가 비교적 일정하지만 목재화원의 경우 연기입자들의 크기 차이가 매우 크다. 특히 불완전 연소로 추정되는 입자의 경우 다른 입자에 비해 그 크기가 수 배에 달하는 것을 볼 수 있다. 한편 인화성 액체화원에서 발생된 연기는 색이 매우 검기 때문에 주로 흡수를 통해 소광을 일으키는 것으로 알려져 있다[13].

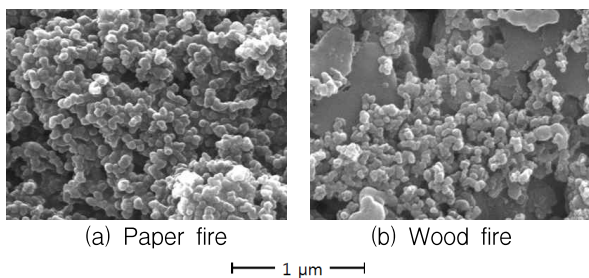


그림 2. 연기입자의 주사전자현미경 사진  
Fig. 2. SEM images of smoke particles

### 3. 실험장치 및 방법

실험은 온도 17~23°C, 습도 30~70%, 그림 3과 같은 화재시험장(Fire test room, 7.0m×3.4m×2.4m)에서 진행되었다.

A는 연기를 감지하기 위한 연기챔버로서 그림 4와 같이 제작되었다. 광원부(Light source)는 재래식 연기감지기에 많이 사용되는 파장 960nm의 LED와 집광렌즈로 구성되어 있다. 광센서(photo sensor)도 산란광식 연기감지기에 많이 사용되는 photo diode가 사용되었으며, 모두 네 개의 광센서들이 내경 180mm인 원통(annulus)의 한쪽에 설치되어 있다.

광센서 중 PS0는 전체 소광량을 측정하기 위한 것으로 광원부와 CP(Center point of annulus)가 이루는 일직선 상에 놓여 있다. 그림 4에서 산란각은 PS0, CP 및 광센서(PS1, PS2 또는 PS3)가 이루는 각이 된다. 전방산란을 측정하기 위해 26° 지점에 광센서 PS1을 설치하였고 후방산란을 측정하기 위해 156° 지점에 PS3를 설치하였으며, 78° 지점에 PS2를 설치하였다. CP를 기준으로 광원부까지 거리는 90mm, PS0까지 거리는 90mm, PS1(또는 PS2나 PS3)까지 거리는 60mm이다.

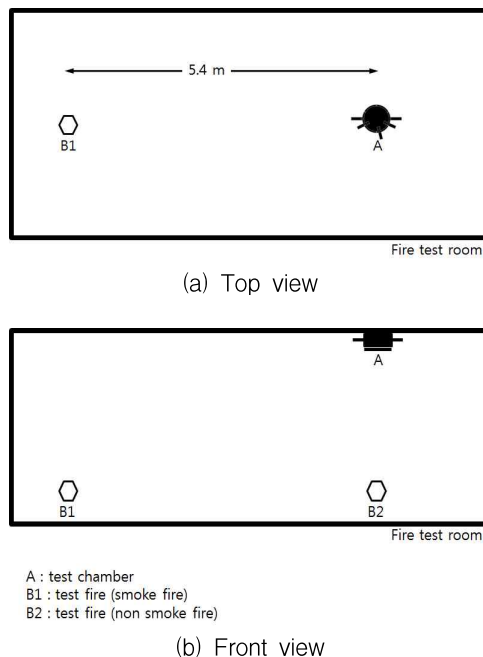


그림 3. 실험 배치도  
Fig. 3. Experiment setup diagram

원통은 그림 4와 같이 상판과 하판을 부착한 후, 화재시험장의 천장(그림 3의 A 부분)에 설치되었다. 네 개의 광센서로부터 입력된 신호는 데이터 취득장치(sampling time: max 1s, measuring accuracy : ±0.1% of rdg + 2digits)에 저장된다.

본 연구에 사용된 연소 연기입자 3종은 모두 UL 268에 따라 만들었다. 즉 종이화원은 10×102mm 크기로 자른 흑백 신문 42.6g을 0.8mm 두께의 박판으로 만든 직경 102mm, 높이 300mm의 리셉터클에 넣는다. 이 리셉터클은 그림 5 (a)와 같이, 지지대를 이용하여 화재시험장 바닥으로부터 300mm 띄워 설치된다. 목재화원은 19.1×19.1×152mm 크기의 목재 6개를 일정한 간격으로 배치하여 한 층을 이루게 하고, 이를 그림 5 (b)와 같이 서로 직각이 되게 3층으로 쌓아 만들었다. 목재화원은 4ml의 촉진제(5%의 메탄올+95%의 에탄올)를 담고 있는 직경 38mm, 깊이 25.4mm의 금속 용기 바닥으로부터 89mm 위에, 화재시험장 바닥으로부터는 300mm 띄워 설치되었다. 인화성 액체화원은 톨루엔 25%와 헵탄 75%를 혼합하고, 이를 그림 5 (c)

장애경보 방지를 위한 연소 연기입자와 비연소 연기입자의 광 특성 분석

와 같이, 0.635mm 스테인리스 강판으로 만든 리셉터클(직경 158mm, 바닥 직경 25.4mm, 깊이 32mm의 둥근 형태)에 담겨져 화재시험장 바닥으로부터 300mm 띄워 설치되었다.

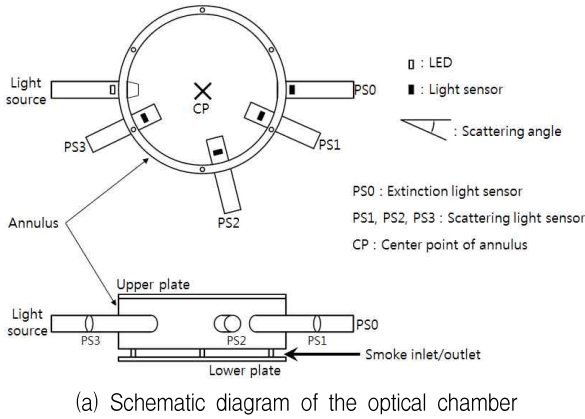


그림 4. 광학 챔버  
Fig. 4. The optical chamber

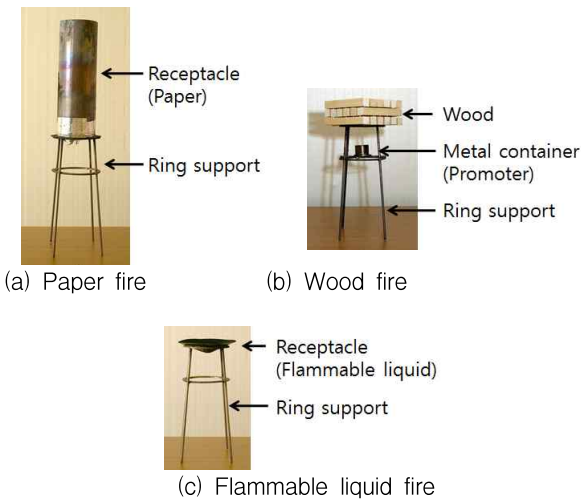


그림 5. 시험화원(연소 연기입자)  
Fig. 5. Test fires/fire smoke

비연소에 의한 연기입자는 각각 수증기와 담배연기로 만들었다. 수증기는 직경 240mm의 스테인레스 용기에 물을 붙고 버너로 가열하여 증기를 발생시키는 방법으로 만들었다. 담배연기는 세 개피의 담배에 불을 붙이고 블로어로 공기를 공급하는 방법으로 만들었다.

연소 연기입자는 UL268에 따라 그림 3의 B1 지점에서, 비연소 연기입자는 B2 지점에서 발생시키게 된다. 실험은 다섯 가지 시험화원 중 하나를 점화하면서 시작되며, 연기 유입 후 120s 동안 진행하였다. 네 개의 광센서로부터 5s 간격으로 데이터를 읽어 데이터 취득장치에 저장하였다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 연소입자에 의한 연기의 광학적 특징

그림 6에서 그림 10은 각종 화원에 대한 실험결과를 보여준다. PS0의 크기는 광원부에서 출발한 빛이 산란이나 흡수를 통해 소광되고 PS0에 도달한 빛의 양을 의미한다. PS1, PS2 및 PS3의 크기는 광원부에서 출발한 빛이 연기입자와 충돌하여 각각 PS1, PS2 및 PS3 방향으로 산란되어 광센서에 도달한 빛의 양을 의미한다.

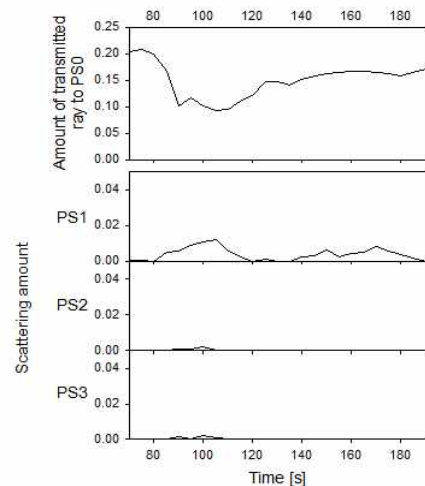


그림 6. 종이화원에 대한 산란량과 소광량  
Fig. 6. Amount of scattering and extinction for paper fire

그림 6은 종이화원에 대한 실험결과를 보여준다. 연기가 연기챔버 내로 유입되면서 소광량이 급격히 늘고 있으며, 동시에 산란량도 증가되는 것을 볼 수 있다. 세 개의 산란 센서가 감지한 산란량을 비교해 보면, PS1의 감지량이 PS2나 PS3보다 훨씬 큰 것을 볼 수 있다. 그림 6의 경우 PS1의 산란량이 전체 산란량의 92.7%를 넘었다.

그림 7은 목재화원에 대한 실험결과를 보여준다. 연기가 연기챔버 내로 유입되면서 소광량이 서서히 증가하고 있다. 산란량 역시 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. PS1, PS2 및 PS3의 값은 종이화원의 경우보다 고르게 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 각각 PS1이 61.6%, PS2가 30.7%, PS3가 7.7%였다.

종이화원의 경우 PS1의 값이 매우 크게 나타났다. 이것은 종이화원에 의한 연기입자들의 크기가 비교적 고르다는 것을 의미한다. 반면에 목재화원의 경우 세 개의 산란 센서가 모두 광을 감지하였다. 이것은 목재화원에 의한 연기입자의 크기가 고르지 못하거나 입자들끼리 서로 쉽게 엉겨 붙는 것을 의미한다. 이것은 그림 2에 있는 SEM 영상과도 일치한다.

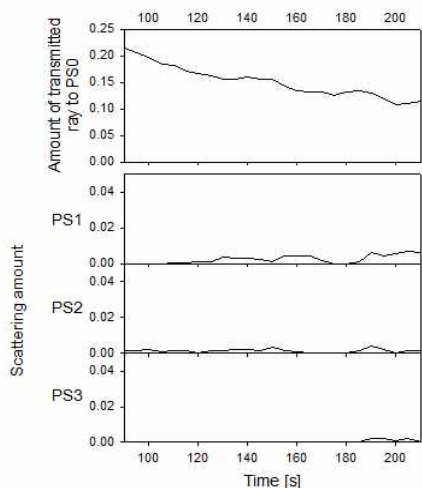


그림 7. 목재화원에 대한 산란량과 소광량  
Fig. 7. Amount of scattering and extinction for wood fire

그림 8은 인화성 액체화원에 대한 실험결과를 보여준다. 연기가 연기챔버 내로 유입되면서 소광량이 서서히 증가하고 있다. 소광량이 증가하고 있지만 감지된 산란량은 0이다. 이는 인화성 액체화원의 연기가 매우 검어서 주로 흡수에 의해 소광을 일으키기 때문이다. 인화성 액체화원의 연기는 소광이 발생해도 산란이 감지되지 않는 특징을 보였다.

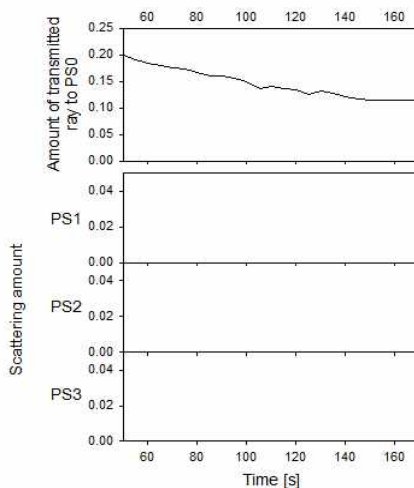


그림 8. 인화성 액체화원에 대한 산란량과 소광량  
Fig. 8. Amount of scattering and extinction for flammable liquid fire

#### 4.2 비연소입자에 의한 연기의 광학적 특징

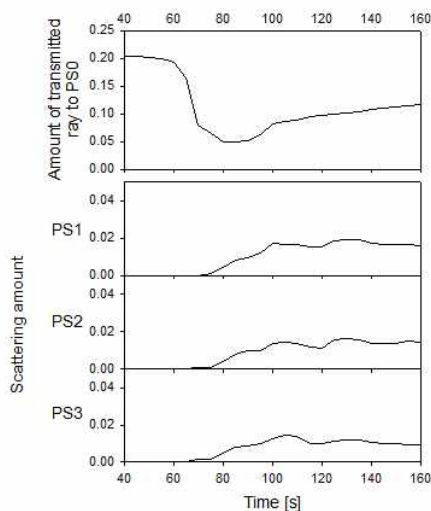


그림 9. 수증기에 의한 산란량과 소광량  
Fig. 9. Amount of scattering and extinction for water vapor

그림 9는 수증기에 대한 실험결과를 보여준다.

연기챔버 내로 수증기가 유입되면서 소광량이 급격히 늘고 있으며, 동시에 산란량도 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. PS1이 39.2%, PS2가 33.2%, PS3가 27.6% 였다. 목재화원과 비교할 경우, 후방산란인 PS3의 값이 매우 크게 나타났다.

그림 10은 담배연기에 대한 실험결과를 보여준다. 담배연기가 연기챔버 내로 유입되면서 소광량이 서서히 증가하고 있고 산란도 PS1이 29.3%, PS2가 20.5%, PS3가 50.2%로 나타났다. 그러나 목재화원에 비해 산란량의 증가와 감소가 계속해서 반복되는 특성을 보이고 있다. 이것은 연기챔버가 극히 작은 공간에 대한 연기 농도를 측정하는데 비해 담배연기는 그 양이 충분하지 못해 공간별 시간별로 분포 차이가 크기 때문인 것으로 생각된다.

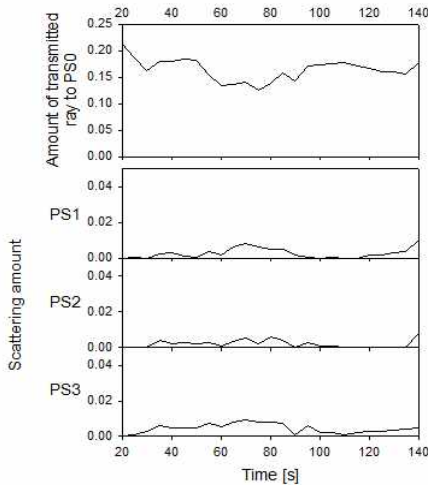


그림 10. 담배연기에 의한 산란량과 소광량  
Fig. 10. Amount of scattering and extinction for smoke of cigarette

## 5. 결 론

본 연구는 장애경보를 줄인 고신뢰성 연기감지기 개발을 위한 기초 연구로서, 연소 연기와 비연소 연기에 대한 광학적 특성을 구하고자 시도하였다.

이를 위해 연기챔버가 제작되었다. 연기챔버는 소광과 산란을 동시에 측정할 수 있도록 하나의 광원에

4개의 광센서를 가지고 있다. 화원은 연소 연기를 위해 종이, 목재, 인화성 액체가, 비연소 연기를 위해 수증기 및 담배연기가 사용되었다. 이들 각 화원이 가지는 광학적 특징은 다음과 같다.

첫째, 연소 연기 중 연기입자의 크기가 비교적 일정한 종이화원은 소광이 시작되면서 산란각 26°에 설치된 센서로 산란이 집중되었다. 입자가 고르지 못한 목재화원은 소광이 시작되면서 거의 모든 방향으로 산란을 일으켰다. 연기색이 매우 검은 인화성액체 화원은 소광이 진행되는 동안에도 산란이 감지되지 않았다.

둘째, 비연소 연기입자인 수증기는 소광과 함께 모든 방향에서 산란이 감지되었다. 특히 목재화원에 의한 연기에 비해 후방산란이 크게 나타났다. 담배연기도 소광과 함께 모든 방향에서 산란이 감지되었다. 담배연기는 그러나 목재화원에 비해 연기량이 부족하여 소광 및 산란량의 증가와 감소가 반복적으로 나타나는 특징을 보였다.

이상의 결과는 장애경보를 줄인 고신뢰성 광전식 연기감지기 개발에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] National Fire Safety Code, "Safety Guides for the Automatic Fire Alarm System (NFSC 203)", Notification No.2012-91, National Emergency Management Agency, 2012.
- [2] Seung-Wook Jee et al., "Development of a Traceable Fire Alarm System Based on the Conventional Fire Alarm System", Fire Technology, Vol.50, No.3, pp.805-822, 2012.
- [3] Richard W. Bukowski, Wayne D. Moore, "Fire Alarm Signaling Systems 3 Edition", NFPA Inc., pp.84-176, 2003.
- [4] Korea Institute of Fire Industry & Technology's Website, "http://www.kfi.or.kr/home/information/information08.do", 2013.
- [5] Guy-Taek Jung, "A Study on Design of a Fire Smoke Detector with Auto-tuning Sensitivity for Prevention of False Alarm", MS Thesis, Univ. of Seoul, Korea, 2003.
- [6] F. Derbel, "Performance Improvement of Fire Detectors by Means of Gas Sensors and Neural Networks", Vol. 39, Issues 5, pp.383-398, 2004.
- [7] R. Siebel, "Test of Fire Detection Algorithms Using Artificially Generated Events", Fire Safety Journal, Vol. 41, Issues 4, pp.258-265, 2006.
- [8] S. W. Jee, S. K. Kim, J. J. Lee, P. Y. Kim and C. H. Lee,

- “Development of the Low Power Stand-Alone Smoke and Heat Detector for the Reliability Improvement”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 1, pp.62-68, 2011.
- [9] William C. Hinds, “Aerosol Technology”, Translation of Korean Language, Shinkwang MunHwa Publishing Co., pp.379-412, 1995.
- [10] M. Loepfe, P. Ryser, C. Tompkin and D. Wieser, “Optical Properties of Fire and Non-fire Aerosols”, Fire Safety Journal, Vol. 29, Issues 2-3, pp.185-194, 1997.
- [11] S. W. Jee, “Distinction of Fire Source from Smoke using Discrete Probability Distribution and Neural Networks”, Fire Technology(DOI: 10.1007/s10694-014-0424-3), pp.1-18 2014.
- [12] Richard W. Bukowski, “Smoke Measurements in Large- and Small-Scale Fire Testing - Part I”, Fire Technology, Vol.15, Issue 3, pp. 173-179, 1979.
- [13] S. W. Jee, “Analysis of the Response Time of a Photoelectric Spot-Type Smoke Detector Depending on the Type of Fires”, Journal of KIIE, Vol.27, No.5, pp.89-94, 2013.
- [14] UL 268-2006, “The Standard of Safety for Smoke Detectors for Fire Alarm Signaling Systems”, 2006.

### ◇ 저자소개 ◇



#### 지승욱(池昇昱)

1971년 12월 27일생. 1995년 영남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 졸업(박사). 현재 도담엔지니어링 상무, 영남대학교 대학원 출강.