

[Research Paper]

## 분진색상에 따른 광전식연기감지기 챔버의 응답특성에 관한 연구

이호성 · 김시국<sup>†</sup>

호서대학교 소방방재학과

### A Study on Response Characteristics of Photoelectric Type Smoke Detector Chamber Due to Dust Color

Ho-Sung Lee · Si-Kuk Kim<sup>†</sup>

Development of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

(Received September 27, 2017; Revised October 17, 2017; Accepted October 21, 2017)

#### 요 약

본 논문은 분진 색상에 따른 광전식연기감지기 챔버의 응답특성에 관한 연구이다. 국내 자동화재탐지설비 및 경보설비의 화재안전기준의 개정으로 연기감지기의 실내 적용이 의무화되었으나, 아직까지 국내에서는 실내 환경에서 발생하는 실내먼지 및 환경조건 등에 의해 발생할 수 있는 부작용 및 비화재보에 대한 연구가 미비한 편이다. 이에 본 연구에서는 실내먼지 중 가장 많이 발생될 것으로 판단되는 다양한 색상의 섬유분진에 따른 연기감지기의 실내 적응성을 연구하기 위해 국내에 가장 많이 보급화 되어 있는 격자형의 연기챔버를 가진 광전식 연기감지기를 실험 대상으로 하고, 갈색, 백색, 회색, 흑색 4종류의 섬유분진을 실험분진으로 하여 분진시험 및 감도시험을 진행하였다. 또한, 연기챔버의 수광부 전압을 측정하여 챔버 내부의 산란현상을 관찰하였다. 실험결과 4종류의 분진 모두 오염도 A에서는 분진시험 및 감도시험에서 모두 적합한 것으로 나타났다. 반면, 오염도 B와 C에서는 갈색, 백색, 회색분진의 경우 작동시험 및 부작용시험에서 분진오염에 의한 오작동이 나타났고, 흑색분진의 경우 작동시험에서 부작용이 발생하는 것으로 확인되었다. 연기챔버의 수광부 전압측정 결과는 갈색 및 백색분진의 경우 오염도가 증가할수록 전압이 증가하였고, 회색 및 흑색분진의 경우 전압이 감소하는 것을 확인하였다.

#### ABSTRACT

This paper is based on a study of the response characteristics of photoelectric type smoke detector chambers according to dust color. Due to an amendment to the Fire Safety Codes to automatic fire alarm systems and visual alarm device, the installation of indoor smoke detectors has become mandatory, but in Korea there is still insufficient research on the non-operation or false alarms that could arise in indoor environments by indoor dust and other environmental conditions etc. In light of this, for this study, research was conducted on the indoor adaptability of smoke detector under various colors of fiber dust that were judged to occur most frequently in among the common indoor dust, photoelectric smoke detector with the lattice-type smoke detection chamber that the smoke detector which is most popular in the country was used, and four colors of fiber dust (brown, white, gray and black) were used the test dusts for carrying out dust and sensitivity testing. Also, the voltage of the photocell part of the smoke chamber was measured, and the scattering phenomenon in the chamber was observed. The result of the testing showed that all four dust types were suitable for dust and sensitivity testing under conditions of pollution A. Yet, there were occasions, at pollution B or C, where the brown, white and gray dust would cause fail alarm during operation testing. And black dust was confirmed to cause non-operation during operation testing. In the case of brown and white dust, the voltage measurement result of the photocell part of the smoke chamber confirmed that the voltage increases as the pollution level increases, and in the case of gray and black dust, the voltage decreases.

**Keywords** : Life Dust, Dust Color, Smoke Detector, Smoke Chamber, Operation, Non Operation, Pollution Level

#### 1. 서 론

화재는 크게 예방·경계·진압의 3가지 측면으로 나뉘며, 그 중에서 화재로 인한 피해를 최소화하기 위해 가장 중요

한 일차적 핵심은 예방과 경계이다. 일반적으로 화재의 예방과 경계는 화재가 발생하였을 경우 인명 및 재산피해 경감에 가장 직접적인 영향을 미치는 것으로 소방시설 중 자동화재탐지설비가 그 기능을 담당하고 있다.<sup>(1)</sup> 자동화재탐

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: kimsikuk@hoseo.edu, TEL: +82-41-540-5736, FAX: +82-41-540-5738

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

지설비의 구성은 감지기, 수신기, 발신기, 경종 등으로 되어 있으며 이 중에서도 화재감지기는 화재와 일차적으로 대응하는 설비로서 화재로부터 발생하는 열·연기·불꽃 등을 조기에 감지 또는 감시하는 역할을 수행하고 있어 가장 중요하다 할 수 있다.<sup>(2)</sup> 이러한 화재감지기에는 열감지기와 연기감지기, 불꽃감지기 등이 있으며, 현재 기존 건축물의 내부에는 주로 열감지기가 사용되고 있으나 최근 전 세계적으로 가정화재 및 건축물 화재로 인한 인명피해를 예방하기 위해 연기감지기의 실내적용 의무화를 법으로 제정하고 있는 추세이다.<sup>(3)</sup> 또한 국내에서도 연기감지기의 응답특성이 열감지기보다 약 8분 정도의 빠른 응답특성을 가진다는 연구결과를 토대로 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(이하; NFSC 203)을 개정하여 특정소방대상물의 취침·숙박·입원 등 이와 유사한 용도로 사용되는 거실에 연기감지기를 설치하도록 시행하고 있다.<sup>(4,5)</sup> 이렇듯 연기감지기의 우수한 성능이 부각되면서 복도 및 계단 등에 설치되던 연기감지기가 실내에 적용되었을 경우에도 동일한 성능을 발휘할 수 있는 지에 대한 국민들의 관심이 높아지고 있다. 그러나, 최근 실내 환경은 공조설비의 급격한 발달과 외부환경의 오염으로 인하여 밀폐환경 특성을 나타내고 있으며, 공조설비에 의해 실내의 강제 기류 순환이 이루어지고, 냉·난방이 재실자의 요구사항에 맞추어 조절되기 때문에 기존의 설치되던 개방된 환경과는 많은 차이점을 가지고 있다. 더불어 실내에서는 재실자의 이동 및 기류순환에 의한 실내 먼지들이 상시 부유하고 있으며, 이러한 부유분진들은 실내의 다양한 가연물 등에서 발생되어 분진의 색상과 화재시 발생하는 연기의 색상이 많아지기 때문에 실내환경에 연기감지기를 적용하였을 경우 어떠한 성능 변화가 발생될지에 대한 명확한 해답이 제시되지 못하고 있는 상황이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 실내 환경에서 연기감지기의 응답특성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인을 분석하고 해당 요인들을 이용한 연기감지기의 연구를 실시하여 기초 데이터 확보와 더불어 아직까지 국내의 미비한 연기감지기 챔버에 관한 연구를 지속적으로 실시하여 연기감지기에 대한 기술력 향상을 필요로 하지만, 연기감지기에 대한 국내의 연구동향의 경우 비화재분야에 대한 응답특성 개선 및 기존의 설치환경에 맞춘 성능시험과 응답특성 등의 연구가 대부분이다.

따라서 본 연구에서는 실내환경에서 발생하는 다양한

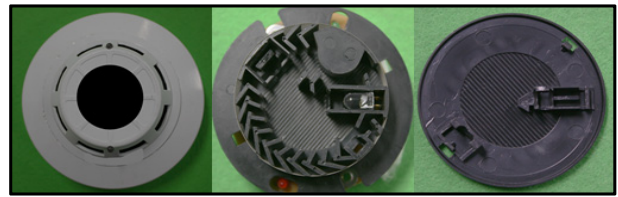


Figure 1. Experiment object of photoelectric smoke detector.

색상의 분진오염에 따른 광전식연기감지기 챔버의 응답특성을 확인하기 위해 현재 국내에서 가장 많이 보급화 되어 있는 격자형태의 연기챔버를 가지는 광전식연기감지기(2종, 비축적형)를 실험대상으로 선정하였고, 실험분진으로는 갈색, 백색, 회색, 흑색 4종류의 섬유분진을 사용하였다. 또한, 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 의거한 분진시험 및 감도시험을 진행하여 분진색상에 따른 광전식연기감지기 챔버의 응답특성을 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험대상

Figure 1은 실험대상인 광전식연기감지기(이하; 연기감지기)를 나타낸 것으로, 현재 국내에서 형식승인을 취득하여 판매되고 있는 연기감지기(2종, 비축적형) 중 격자형 연기챔버를 가지는 연기감지기를 실험대상으로 선정하였다. 연기챔버는 지름이 45 mm이며, 발광부와 수광부 각도가 140°인 격자형 레비린스와 콘덴서 커버(cover)를 가진 구조로서 연기챔버 결면에는 방충망을 가지고 있다. 추가적으로 연기감지기에 대한 실험결과와 신뢰성을 높이기 위하여 동일 제품의 연기감지기 5개를 실험에 사용하였다.

### 2.2 실험분진

Figure 2는 분진색상에 따른 광전식연기감지기의 응답특성을 확인하기 위해 사용된 분진시료를 나타낸 것으로 실제 연기감지기의 응답특성을 확인하기 위해서는 연기를 이용한 실험이 적합하나, 연기의 경우 농도 및 연기입자 크기 등 동일조건외의 표준시료 제작에 어려움이 있기 때문에 연기입자 크기에 맞는 분진을 실험시료로 사용하였다. 분진은 실내 환경에서 가장 많이 발생하는 것으로 생각되는 섬유분진을 사용하였으며, 사용된 분진의 색상은 화재시 대



(a) Brown color dust



(b) White color dust



(c) Gray color dust



(d) Black color dust

Figure 2. Dust samples.

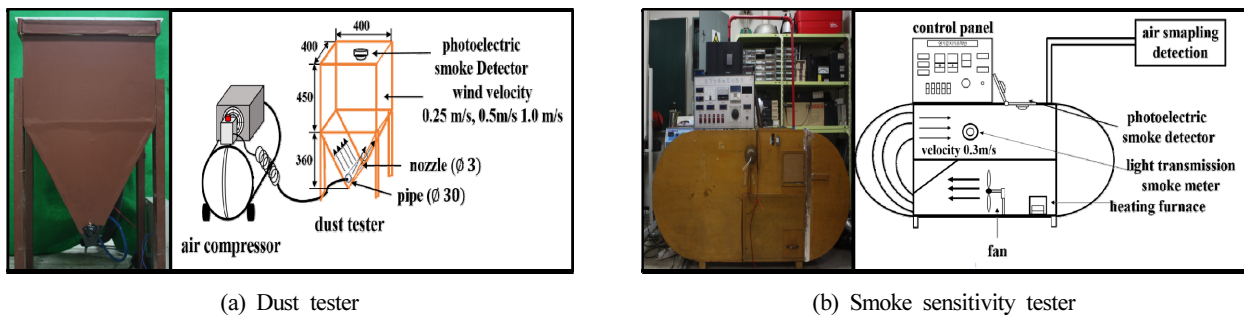


Figure 3. Dust tester and smoke sensitivity tester (schematic diagram & photograph).

표적으로 발생될 수 있는 연기의 색상을 고려하여 갈색(섬유), 백색(인), 회색(종이), 흑색(고무)의 4가지 색을 선정하였다. 또한 수분 및 유분에 의한 변수조건을 없애기 위하여 완전건조 된 분진만을 사용하였으며, 분진 시료마다 분진 입자크기(10  $\mu\text{m}$ )에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 감지기 형식승인기준의 분진시험 시 표준 분진시료인 플라이애시의 입자크기를 기준으로 하여 KS L 5405(플라이애시)<sup>(6)</sup> 규격과 KS A 0090(시험용 분체 및 시험용 입자)<sup>(7)</sup> 규격에 명시되어있는 시험용망체법을 이용하여 표준 mesh망 최소 크기인 325 mesh (45  $\mu\text{m}$ )를 가지는 투망체를 통과한 분진만을 사용하였다.

## 2.3 실험방법<sup>(3)</sup>

### 2.3.1 분진시험

분진시험은 온도  $20 \pm 5$  °C, 습도  $45 \pm 5\%$ 의 환경조건에서 시험을 진행하였다. 연기감지기의 분진시험은 감지기 형식승인기준 제31조(분진시험)에 규정<sup>(8)</sup>되어 있으며 시험방법은 내용적  $0.09 \text{ m}^3$ 이 되는 밀폐된 상자 내에 감지기를 정상 위치에 부착하고, 분진 60 g을 상자 속에 투입 후 풍속 0.25 m/s로 압축된 공기로 15분간 교반하는 방식이다. 이에 본 연구에서는 분진색상에 따른 광전식 연기감지기 챔버의 응답특성을 확인하기 위해 감지기 형식승인기준 제31조(분진시험) 규정을 응용하여 실험을 진행하였다. Figure 3(a)는 감지기 형식승인 취득을 위해 소방제조업체에서 보유하고 있는 내용적  $0.09 \text{ m}^3$ 의 분진시험기로써 에어컴프레서를 통한 압축된 공기를 하단의 파이프 노즐을 통해 양방향으로 분사하는 방식으로 압력조절기(air regulator)를 통해 풍속을 가변할 수 있는 구조로 되어 있다. 분진시험기를 이용하여 실험대상인 광전식 연기감지기를 부착하고, 분진색상에 따른 응답특성을 관찰하기 위한 실험분진인 갈색, 백색, 회색, 흑색의 섬유분진을 각각 60 g씩 분진시험기에 투입하여 시험을 진행하였다. 이때, 실험풍속은 분진시험 기준풍속조건인 0.25 m/s 및 실내의 공조설비 및 냉난방설비 등에 의한 강제기류를 고려하여 가혹분진인가 풍속조건을 0.5 m/s, 1.0 m/s로 설정하였고, 시험결과는 각각의 풍속조건에 의해 오염된 정도를 오염도 A(분진인가 풍속조건

0.25 m/s)와 오염도 B(분진인가 풍속조건 0.5 m/s), C(분진인가 풍속조건 1.0 m/s)로 구분하여 분석하였다.

### 2.3.2 작동 및 부작동시험

작동시험은 실제 소방제조업체에서 보유하고 있는 감도시험기를 이용하였고, 시험기 내의 감광율 15 %/m 농도의 연기를 포함하는 풍속 0.3 m/s의 기류에 연기감지기를 투입하여 30초 이내에 감지기 작동 여부에 따라 적합 유·무를 판정하였다. 부작동시험은 5 %/m 농도의 연기를 포함하는 풍속 0.3 m/s의 기류에 연기감지기를 투입하여 300초 이내에 감지기 부작동 여부에 따라 적합 유·무를 판정하였다. 또한, 실험종료 후 연기감지기 챔버를 분해하여, 분진종류 및 풍속에 따른 오염도를 사진으로 촬영하여 육안으로 관찰하였으며, 모든 실험은 5회 실시한 후 분진 및 풍속에 따른 실내적용성의 문제점을 파악하기 위해 작동시험의 경우 가장 느리게 작동된 감지기의 데이터를, 부작동시험의 경우 가장 빠르게 오작동한 감지기의 데이터로 나타내었다. 추가적으로 감도시험기의 감지기 결합부 뒷편에 공기흡입형 연기감지기(VESDA-E VEP-A10-P, Xtralis Pty Ltd., Australia)를 설치하여 실험을 실시하는 동안의 연기농도를 광학농도계와 비교측정하여 연기감지기에 인가되는 연기농도의 정확성 및 신뢰성을 높이고자 하였다.

### 2.3.3 연기챔버 수광부 전압측정 실험

연기챔버 수광부 전압측정 실험은 분진색상에 따라 오염된 연기챔버 내부에서 발생하는 산란광의 변화를 정확하게 관찰하기 위한 것으로 분진시험에서 사용한 시험기 및 시험조건에 따라 각각 분진시험을 실시한 후에 작동시험 기준과 동일한 15 %/m의 농도를 포함하는 풍속 0.3 m/s의 기류에 연기감지기를 투입하여 30초간 작동시험을 실시할 때 수광부 전압을 측정하였다. 이때, 수광부 전압변화의 측정은 PCB에 의한 변수조건을 배제하기 위하여 실험대상인 연기감지기의 발광 다이오드와 수광소자를 PCB로부터 분리하였으며, 발광 다이오드에는 직류전원공급장치(TX-3005T, Trinix Co., Korea)를 연결하여 직접 1.5 V 전압으로 전원을 인가하였으며, 수광소자에는 발생하는 전압을 측정하기 위하여 멀티테스터기(Fluke 289, Fluke Co., Korea)를 연결하

**Table 1.** Dust Test Results by Brown and White Color (NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Detector Operation Time					
	A		B		C	
	Brown Dust	White Dust	Brown Dust	White Dust	Brown Dust	White Dust
No. 1	NO	NO	40 s	61 s	7 s	12 s
No. 2	NO	NO	NO	NO	8 s	18 s
No. 3	NO	NO	60 s	NO	7 s	10 s
No. 4	NO	NO	NO	NO	8 s	10 s
No. 5	NO	NO	15 s	25 s	8 s	8 s

**Table 2.** Detector Sensitivity Test Results by Brown Color Dust (P: Pass, F: Fail, NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Operation Test (Fit Condition: Operation within 30 s)			Non-Operation Test (Fit Condition: Non-Operation within 300 s)		
	A	B	C	A	B	C
No. 1	P (5.5 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F (60 s)	F(Abnormal)
No. 2	P (4.7 s)	P (4.8 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)	F(Abnormal)
No. 3	P (5.2 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F(Abnormal)	F(Abnormal)
No. 4	P (5.8 s)	P (4.4 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)	F(Abnormal)
No. 5	P (4.5 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F (8.4 s)	F(Abnormal)

여 분진색상에 따라 오염된 연기챔버 내부의 수광부 전압의 변화를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

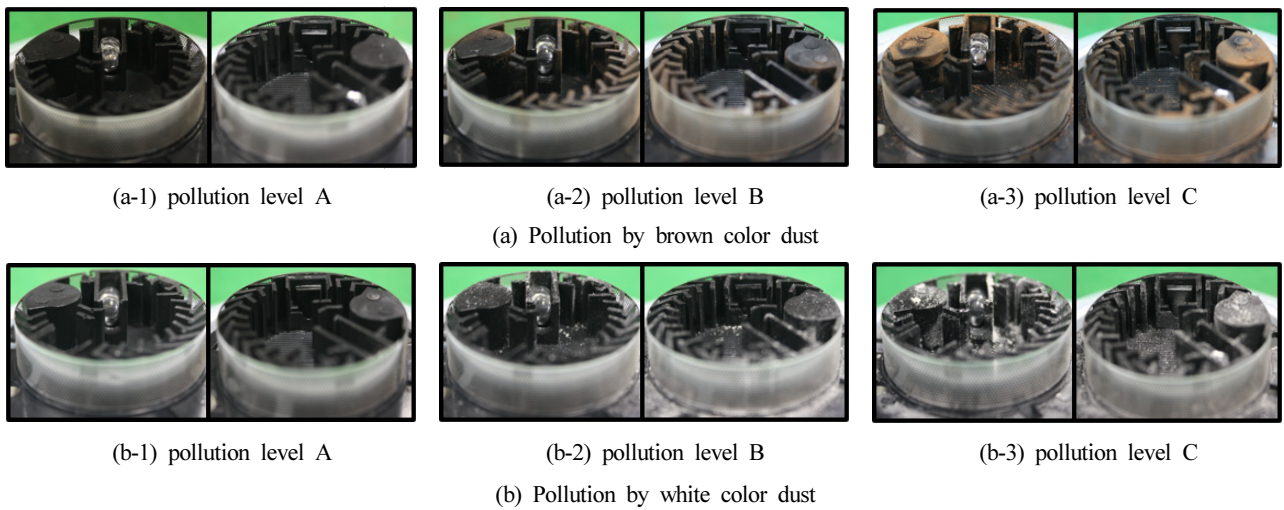
#### 3.1 갈색 및 백색분진을 이용한 분진 및 감도시험결과

Table 1은 분진색상에 따른 광전식 연기감지기의 응답특성을 확인하기 위해 갈색분진과 백색분진을 이용하여 감지기 형식승인 기준에 의거한 분진시험의 결과를 나타낸 것이다. 분진시험결과 기준분진인가 풍속조건인 0.25 m/s에서 오염된 오염도 A에서는 15분간 연기감지기에 분진을 교반하였을 때 사용된 연기감지기들 모두 작동하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 추가적인 응답특성을 확인하기 위해 실시한 가혹분진인가 풍속조건인 0.5 m/s에서 오염된 오염도 B의 연기감지기들은 분진인가 후 갈색분진의 경우 No. 1과 No. 3, No. 5의 감지기가 각각 40 s, 60 s, 15 s에 작동되었으며, 백색분진의 경우 No.1 및 No. 5의 감지기가 각각 61 s, 25 s에 작동되는 것을 확인할 수 있었다. 가혹분진인가 풍속조건인 1.0 m/s에서 오염된 오염도 C의 연기감지기들은 분진색상에 상관없이 실험대상으로 사용되었던 5개의 연기감지기가 모두 작동하는 것을 확인할 수 있었다. Table 2는 갈색분진으로 오염된 연기감지기의 감도시험의 결과를 나타낸 것으로 오염도 A의 연기감지기들은 모

두 기준에 적합한 것으로 나타났다. 반면, 오염도 B의 연기감지기들 중 No.1, No.3, No.5 연기감지기들만이 15 %/m의 연기 농도를 가지는 감도시험기 내에 투입하기 전에 작동되는 이상상태 즉, 분진 오염에 의해 시험기에 체결 후 즉시 작동되는 오작동이 발생하였으며, 부작동시험에서는 작동시험에서 오작동 하였던 연기감지기들이 감도시험기에 투입 전 작동하거나 60 s 이내에 작동하여 해당 오염도에서 연기감지기의 성능이 부적합한 것으로 나타났다. 오염도 C의 연기감지기들 중에서는 작동 및 부작동시험에서 모두 시험기에 체결하는 즉시 오작동하는 것을 확인하였다. Table 3은 백색분진으로 오염된 연기감지기의 감도시험의 결과를 나타낸 것으로 오염도 A에서는 작동시험 및 부작동시험에서 모두 적합한 것으로 나타났다. 반면, 오염도 B의 경우 작동시험에서는 분진시험에서 작동되었던 No. 1 및 No. 2의 연기감지기가 감도시험기 투입 전에 오작동하였고, 부작동시험에서는 2개의 연기감지기가 작동시험과 동일하게 오작동 되는 현상이 나타났으며, 추가적으로 No. 4 연기감지기가 7.7 s만에 작동되는 것을 확인하였다. 또한, 오염도 C에서는 시험에 사용된 모든 연기감지기가 작동시험 및 부작동시험에서 오작동 되는 것을 확인할 수 있었다. 갈색분진과 백색분진을 이용한 분진 및 감도시험 결과 기준 분진인가풍속인 0.25 m/s에서는 연기감지기가 오염된 상태에서도 작동성능의 이상이 없는 것을 확인하였으나,

**Table 3.** Detector Sensitivity Test Results by White Color Dust (P: Pass, F: Fail, NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Operation Test (Fit Condition: Operation within 30 s)			Non-Operation Test (Fit Condition: Non-Operation within 300 s)		
	A	B	C	A	B	C
No. 1	P (5.9 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F(Abnormal)	F(Abnormal)
No. 2	P (6.4 s)	P (4.2 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)	F(Abnormal)
No. 3	P (8.0 s)	P (5.6 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)	F(Abnormal)
No. 4	P (11.6 s)	P (3.2 s)	F(Abnormal)	P (NO)	F (7.7 s)	F(Abnormal)
No. 5	P (6.0 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F(Abnormal)	F(Abnormal)



**Figure 4.** Photograph of measurement result of pollution by dust test (brown and white color dust).

분진인가 풍속이 증가됨에 따라 연기감지기 중에 다수의 감지기가 시험기 내부에 투입되기 전에 작동되거나 비화재보의 연기농도에서도 작동되어 연기감지기의 비화재보 발생 가능성이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 4는 갈색 및 백색분진을 이용한 분진시험 결과를 나타낸 것으로 분진인가 풍속조건에 따른 연기챔버 오염도의 결과를 비교 촬영하였다. 오염도 A에서는 갈색 및 백색 분진 모두 소량의 분진만이 분진시험기 내에서 부유되어 연기챔버 내부의 오염도가 사진 및 육안으로도 관찰하기가 어려웠다. 반면, 오염도 B와 C에서는 풍속조건이 가혹화가 될수록 연기챔버 내부에 도포되는 분진량이 증가되어 오염도를 명확하게 관찰할 수 있었다. 일반적으로 광전식연기감지기의 산란방식은 공기 중에 부유하는 작은 입자의 직경이 반사된 빛의 파장보다 같거나 길고, 빛의 진행방향과 동일한 방향으로 산란현상이 극대화되는 미에 산란(mie scattering)<sup>9)</sup>으로 발광 다이오드(infrared sensor)에서 발하는 약 940 nm 파장대의 적외선이 화재로부터 발생하는 연기 입자에 의해 미에 산란이 나타나게 되면서 수광부로 입사되는 광량을 통해 연기감지기가 화재를 감지하게 된다. 이

러한 광전식 연기감지기의 화재감지 메커니즘에 갈색 및 백색 등의 밝은 색상의 분진이 연기챔버 내부로 유입되어 연기챔버 내부의 오염도가 증가할 경우에는 연기입자에만 발생되던 미에 산란과 더불어 섬유분진입자와 분진색상에 의해 추가적인 산란 현상이 발생되면서 수광부(photocell)로 입사되는 광량이 정상상태일 때보다 큰 폭으로 증가되어 연기감지기의 비화재보를 발생시키는 것으로 생각된다. 즉, 연기챔버 내부로 유입되는 연기의 농도 및 양이 일정할 때, 내부에서 발생하는 빛의 산란현상은 연기입자와 더불어 밝은 색상의 분진에 의해 극대화되면서 연기감지기 응답특성에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 판단하였다.

**3.2 회색 및 흑색분진을 이용한 분진 및 감도시험결과**

Table 4는 회색 및 흑색분진을 이용하여 분진시험을 실시한 결과를 나타낸 것으로 오염도 A에서는 두 색상의 분진 모두 연기감지기 형식승인에 적합한 것으로 나타났으나, 오염도 B와 C에서는 회색분진과 흑색분진의 시험결과가 서로 다르게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 회색분진의 경우 오염도 B에서는 No. 2의 연기감지기를 제외한 감지기

**Table 4.** Dust Test Results by Gray and Black Color (NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Detector Operation Time					
	A		B		C	
	Gray Dust	Black Dust	Gray Dust	Black Dust	Gray Dust	Black Dust
No. 1	NO	NO	118 s	NO	17 s	NO
No. 2	NO	NO	NO	NO	15 s	NO
No. 3	NO	NO	54 s	NO	54 s	NO
No. 4	NO	NO	34 s	NO	14 s	NO
No. 5	NO	NO	24 s	NO	12 s	NO

**Table 5.** Detector Sensitivity Test Results by Gray Color Dust (P: Pass, F: Fail, NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Operation Test (Fit Condition: Operation within 30 s)			Non-Operation Test (Fit Condition: Non-Operation within 300 s)		
	A	B	C	A	B	C
	No. 1	P (5.9 s)	P (4.1 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)
No. 2	P (6.4 s)	P (4.2 s)	F(Abnormal)	P (NO)	P (NO)	F(Abnormal)
No. 3	P (8.0 s)	P (5.6 s)	P (6.1 s)	P (NO)	P (NO)	P (NO)
No. 4	P (11.6 s)	F(Abnormal)	F(Abnormal)	P (NO)	F(Abnormal)	F(Abnormal)
No. 5	P (6.0 s)	P (3.1 s)	F(Abnormal)	P (NO)	F (9.9 s)	F(Abnormal)

**Table 6.** Detector Sensitivity Test Results by Black Color Dust (P: Pass, F: Fail, NO: Non Operation)

Pollution Level Test Sample	Operation Test (Fit Condition: Operation within 30 s)			Non-Operation Test (Fit Condition: Non-Operation within 300 s)		
	A	B	C	A	B	C
	No. 1	P (6.0 s)	P (11.5 s)	F (NO)	P (NO)	P (NO)
No. 2	P (4.4 s)	P (21.5 s)	F (NO)	P (NO)	P (NO)	P (NO)
No. 3	P (4.4 s)	P (20.4 s)	F (NO)	P (NO)	P (NO)	P (NO)
No. 4	P (5.8 s)	F (NO)	F (NO)	P (NO)	P (NO)	P (NO)
No. 5	P (5.3 s)	F (NO)	F (NO)	P (NO)	P (NO)	P (NO)

들이 최대 118 s 이내에 작동하였으며, 오염도 C에서는 54 s 이내에 모든 감지기가 작동하였지만, 흑색분진의 경우 오염도 B와 C에서 5개의 연기감지기 모두 작동되지 않는 것을 확인할 수 있었다. Table 5는 회색분진으로 오염된 연기감지기의 감도시험결과를 나타낸 것으로 오염도 A에서는 작동 및 부작동시험 모두 감지기 형식승인에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 오염도 B에서는 갈색 및 백색분진으로 오염된 연기감지기의 감도시험결과와는 다르게 작동시험결과 No. 4 감지기만이 시험기 체결 후 즉시 작동되는 오작동현상을 나타내었고, 그 외의 연기감지기들은 형식승인 기준에 적합한 것으로 나타났으며, 부작동시험에서는 No. 4 연기감지기가 시험기 체결 후 즉시 작동되는 오작동을 No. 5 연기감지기는 9.9 s만에 작동하면서 형식승인 기준에는 부적합한 것으로 나타났다. 또한 오염도 C에서는

No. 3 연기감지기만이 작동 및 부작동시험 기준에 적합하였고 그 외의 감지기들은 모두 오작동을 나타내었다. Table 6은 흑색분진으로 오염된 연기감지기의 감도시험결과로서 오염도 A에서는 작동 및 부작동시험에 적합하였으나, 오염도 B에서는 No. 1 연기감지기는 11.5 s, No. 2는 21.5 s, No. 3는 20.4 s로 작동시간이 매우 지연되었으며, No. 4와 No. 5 연기감지기는 부작동 현상을 나타내었다. 또한 오염도 C에서는 작동시험에서 모든 감지기가 부작동되는 현상이 나타났으며, 부작동시험의 경우는 모두 작동되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 6은 회색 및 흑색분진을 이용한 분진시험 결과를 나타낸 것으로 갈색 및 백색분진시험 결과와 동일하게 분진인가 풍속조건에 따라 연기챔버의 오염된 정도를 비교 촬영하였다. 오염도 A에서는 앞서 실험과 같이 해당 분진

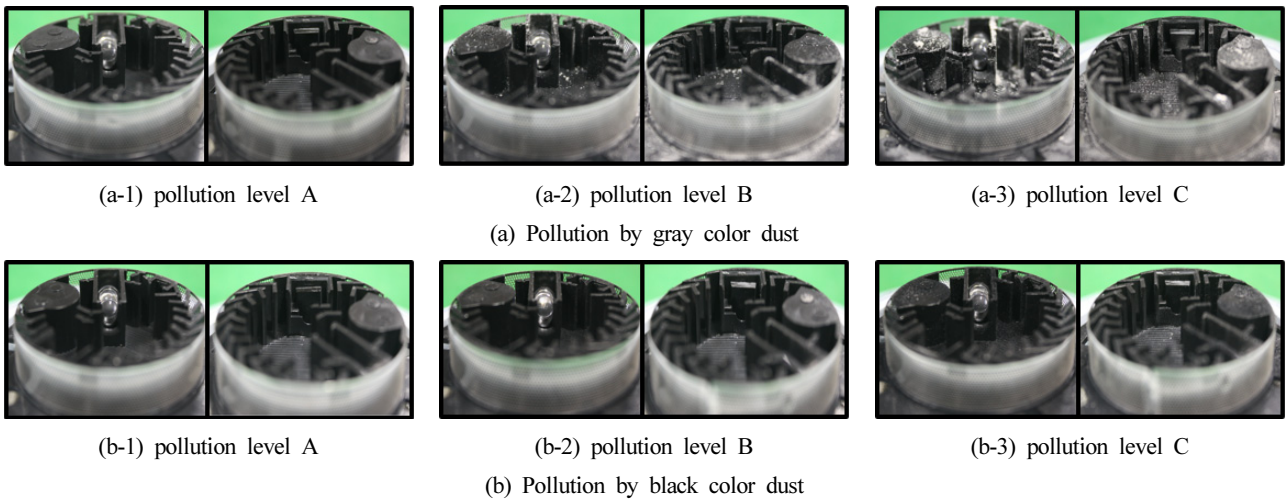


Figure 5. Photograph of measurement result of pollution by dust test (Gray and black color dust).

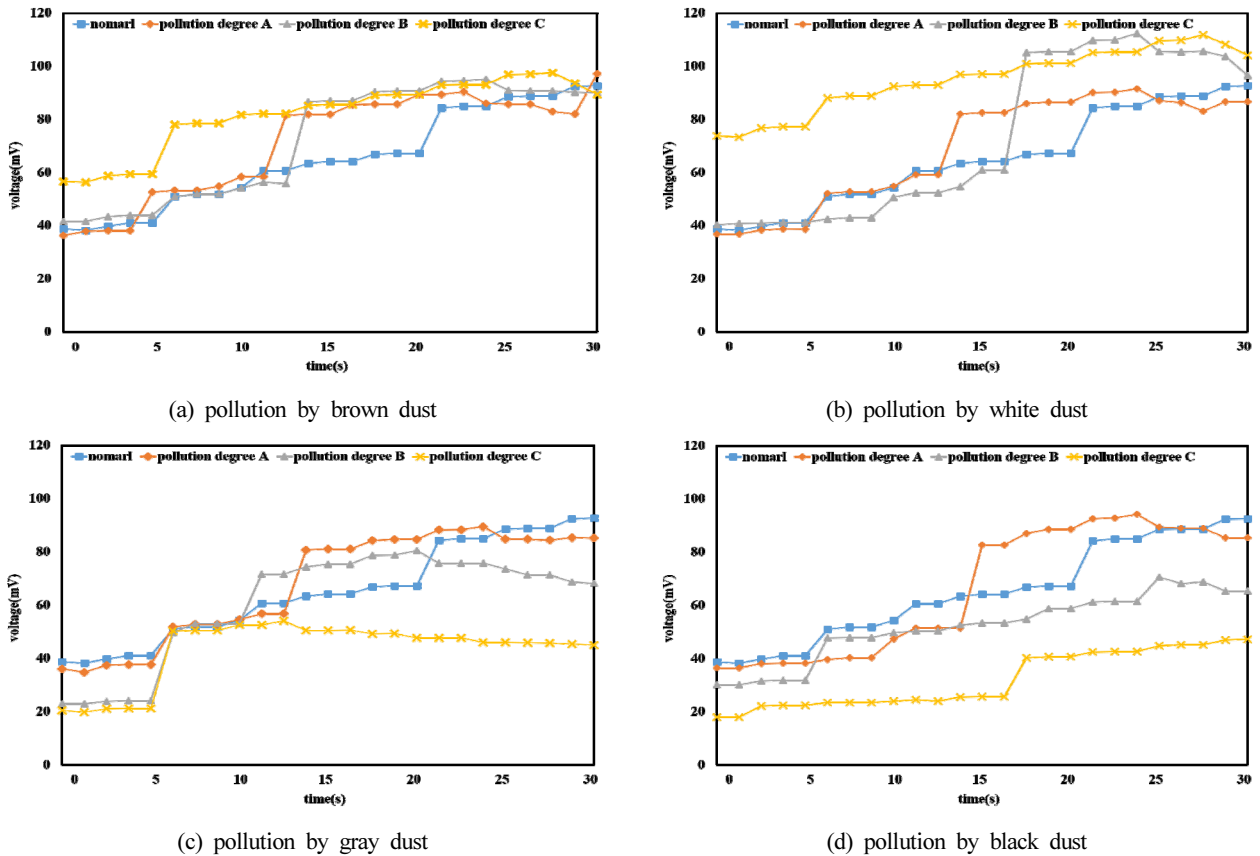


Figure 6. Voltage measurement result of smoke chamber photocell polluted by dust color.

시험기 내부에서 풍속조건에 따라 부유되는 분진량이 적어 감지기 표면 및 연기챔버 내부에 도포되는 분진을 사진 및 육안으로 관찰하기가 어려웠다. 오염도 B와 C에서는 회색 및 흑색분진 모두 분진시험기 내부에서 부유되는 분진의 양이 증가함에 따라 감지기 표면과 연기챔버 내부에 다량의 분진이 도포되는 것을 확인할 수 있었다. 이때, 흑색분

진의 경우는 연기챔버 색상과 분진의 색상이 동일하여 육안으로도 명확한 구별이 쉽지 않았다. 전체적인 실험결과 회색 및 흑색과 같은 어두운 색상의 분진으로 오염될 경우 빛의 반사율이 높은 갈색 및 백색분진으로 오염되었을 때 처럼 미세 산란과 추가적인 산란이 발생하는 것이 아니라, 분진이 가지고 있는 색상의 특성상 흡광율이 높아 연기입

자에서 발생하는 미에 산란광이 회색 및 흑색분진에 흡광되면서 산란현상이 감쇄되어 연기감지기의 화재감지능력에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 다만, 회색분진의 경우는 흑색분진보다 명도가 높기 때문에 상대적으로 빛의 흡광률이 낮아 오염도가 증가할수록 연기챔버 내에서 발생하는 다량의 산란광을 흡수하지 못하면서 흑색분진보다 오작동 현상이 많이 나타나는 것으로 생각된다. 회색 및 흑색분진을 이용한 실험결과 동일한 농도 및 양의 연기가 연기챔버 내부로 유입되더라도 연기챔버 내부에서 발생하는 빛의 산란현상은 어두운 색상의 분진에 의해 흡광되고 이와 더불어 수광부로 입사되는 산란광이 감쇄되어 정상상태 및 밝은 색상의 분진에 오염된 연기감지기의 작동성능보다 저하되는 결과로 이어지게 되는 것으로 판단하였다.

### 3.3 분진색상에 따른 연기챔버 수광부 전압측정

Figure 6은 분진색상에 따라 오염된 연기감지기 챔버 내부의 수광부 전압측정 결과를 나타낸 것으로 정상상태와 오염도를 비교분석하였다. Figure 6(a)는 갈색분진으로 오염된 연기챔버의 수광부 전압측정 결과로서 정상상태의 초기전압이 38.7 mV일 때 갈색분진에 의한 오염도가 증가할수록 오염도 A는 36.3 mV, 오염도 B는 41.6 mV, 오염도 C는 56.6 mV로 전압값이 상승하는 것을 확인할 수 있었고 최대전압은 정상상태가 88.8 mV일 때 오염도 A는 90.3 mV, 오염도 B는 95.1 mV, 오염도 C는 97.5 mV로 전압값이 오염도와 비례하여 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 정상상태의 경우는 연기챔버 내부에서 발생하는 산란현상이 미에 산란만이 발생되어 수광부로 입사되는 광량이 적은 편이지만, 오염도가 높아질수록 연기챔버 내부에서 발생하는 산란현상이 분진입자와 색상에 의해 추가적으로 발생되어 수광부 전압이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. Figure 6(b)는 백색분진으로 오염된 연기챔버의 수광부 전압측정 결과로서 오염도 A의 초기전압은 36.9 mV이며, 오염도 B는 40.3 mV, 오염도 C는 73.9 mV로 측정되었으며, 최대전압의 경우는 오염도 A의 경우 91.5 mV, 오염도 B의 경우 112.4 mV, 오염도 C의 경우는 109.8 mV로 갈색분진과 동일하게 오염도가 증가할수록 수광부 전압이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 백색분진의 경우는 색상의 특성상 빛의 반사율이 매우 높아 갈색분진보다 광산란이 다량으로 발생되어 수광부 전압이 높게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. Figure 6(c)는 회색분진으로 오염된 연기챔버의 수광부 전압측정 결과로서 오염도 A의 초기전압은 36 mV이며, 오염도 B의 경우는 23 mV, 오염도 C의 경우는 20.5 mV로 측정되었으며 최대전압의 경우 오염도 A는 89.4 mV, 오염도 B는 80.5 mV, 오염도 C는 54.1로 오염도가 증가할수록 전압이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 회색분진의 경우는 색상 특성상 빛의 흡수율이 반사율보다 높기 때문에 연기입자에 의해 발생하는 산란광이 회색분진에 흡수되어 산란현상이 감쇄되는 결과로 이어져 갈색 및 백색분진의 결

과와는 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Figure 6(d)는 흑색분진으로 오염된 연기챔버의 수광부 전압측정 결과로서 오염도 A의 초기전압은 36.5 mV, 오염도 B의 초기전압은 30.2 mV, 오염도 C의 초기전압은 18 mV로 오염도가 증가할수록 전압이 크게 감소되는 것을 알 수 있으며, 최대전압의 경우 오염도 A는 94.3 mV, 오염도 B는 70.6 mV, 오염도 C는 47.2 mV로 회색분진보다 오염도가 증가할수록 감소되는 전압차가 큰 것을 확인할 수 있었다. 전체적인 실험결과 밝은 색상의 분진으로 연기챔버가 오염되었을 경우 챔버내부에서 발생하는 산란현상이 분진의 입자와 색상에 의해 극대화 되면서 정상상태 보다 더 많은 양의 수광부 전압이 발생되고 이로 인하여 연기감지기의 비화재보 발생 가능성이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 회색 및 흑색과 같은 어두운 색상의 분진으로 오염되었을 경우에는 연기입자에 의해 발생하는 산란광이 분진 입자 및 색상에 반사되는 것이 아니라 흡수됨으로써 산란현상이 감쇄되어 수광부의 전압이 낮아지게 되고 결과적으로 연기감지기의 화재감지성능의 저하로 이어지게 되는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

본 논문은 분진색상에 따른 광전식 연기감지기 챔버의 응답특성을 확인하기 위한 연구로서 본 실험조건에 따라 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 갈색 및 백색분진을 이용한 분진시험 및 감도시험결과 오염도 A에서는 분진시험의 경우 모든 감지기가 작동하지 않았으며, 감도시험에서는 모두 감지기 형식승인 기준에 적합한 것으로 나타났다. 반면, 오염도 B와 C에서는 분진인가 풍속조건이 증가함에 따라 연기챔버 내부에 오염도가 증가하게 되고 연기챔버 내부에서 발생하는 산란현상이 분진 및 색상에 의해 추가적으로 발생하게 되어 연기감지기의 비화재보가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

2. 회색 및 흑색분진을 이용한 분진시험 및 감도시험결과 오염도 A에서는 다른 분진들과 동일하게 형식승인 기준에 적합한 것으로 나타났다. 반면, 오염도 B와 C에서는 도포된 분진에 의해 산란현상이 감쇄되어 회색분진의 경우 갈색 및 백색분진보다 연기감지기의 비화재보의 발생 횟수가 적게 나타났으며, 흑색분진의 경우 작동시간이 크게 지연되거나 부작동되는 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 분진색상에 따라 오염된 연기챔버의 수광부 전압측정 결과 갈색 및 백색분진의 경우 오염도가 A에서 C로 증가할수록 광 산란현상이 극대화되면서 수광부의 전압이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 반대로 회색 및 흑색분진으로 오염된 연기챔버의 경우는 오염도가 증가할수록 산란현상이 감쇄되어 수광부 전압이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.



이상과 같은 결과 연기감지기 챔버 내부에 분진이 오염 될 경우 분진 색상과 도포 량에 따른 빛의 산란정도의 차가 발생되어 밝은 색상의 분진은 높은 반사율로 인한 비화재보, 어두운 색상의 분진은 높은 흡광률로 인한 부작동 등의 원인이 될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

끝으로 실내에서 발생될 수 있는 여러 색상의 연기 및 분진들로부터 광전식연기감지기의 화재감지성능을 유지하기 위해서는 여러 형태의 연기챔버에 대한 기초연구가 지속적으로 진행되어야 하며, 전압차 등의 다양한 방식을 이용한 새로운 화재감지 알고리즘 개발 등이 필요할 것으로 생각되며, 본 논문의 결과는 향후 연기감지기의 실내 적용성 향상을 위한 연기챔버 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

## References

1. S. K. Kim, "A Study on the Development of Tester for the Field Inspection of the Rate of Rise Spot Type Heat Detector", Master's Thesis, The Graduate School of Hoseo University, pp. 1-4 (2009).
2. S. K. Kim, H. D. Yuk, S. H. Yang, S. W. Jee and C. H. Lee, "A Study on the Problem of Tester for the Field Inspection of the Photoelectric Smoke Detector", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 4, pp 137-144 (2009).
3. C. H. Lee, H. S. Lee and S. K. Kim, "A study on Response Characteristics of Photoelectric Type Smoke Detector Chamber Due to Dust and Wind Velocity", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 50-57 (2017).
4. S. H. Sakong, S. K. Kim, C. H. Lee and J. J. Jung, "A Study on the Response Characteristics of Fire Detector by Full-Scale Experiment of Fire Phenomena in the Row House", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 67-72 (2009).
5. NFSC 203, "Fire Safety Standards for Automatic Fire Alarm System and Visual Alarm Equipment" (2016).
6. KS L 5405, "Fly ash" (2015).
7. KS A 0090, "Test Powders and Test Particles" (2012).
8. KOFEIS 0301, "Engineering Criteria for Form Approval of Detector and Product Inspection" (2015).
9. Tistory Blog Website, "Rayleigh Scattering and Mie Scattering", Retrieved from <http://lejoose.tistory.com/41> (2015).
10. Korea Trade-Investment Promotion Agency Website, "France, March 8 from Installation Oblige of Smoke Detectors", Retrieved from <http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244dataIdx=153323> (2015).
11. Korea Trade-Investment Promotion Agency Website, "German, the Outlook for Demand for Fire Smoke Detectors to Surge", Retrieved from <http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/4/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=116789> (2012).
12. B. K. Seo and S. G. Nam, "Study of the Improvement of False Fire Alarms in Analog Photoelectric Type Smoke Detector", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 5, pp. 108-115 (2016).
13. J. H. Lee, "A Study on the Multi-optical Smoke Detector Chamber", Ph.D. Thesis, The Graduate School of Hoseo University, pp. 1-118 (2013).
14. S. W. Jee, "Analysis of the Response Time of a Photoelectric Spot-Type Smoke Detector Depending on the Type of Fires", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, No. 5, pp. 89-94 (2013).
15. Naver Blog Website, "Rayleigh scattering and Mie Scattering", Retrieved from <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=sorkelf&logNo=40151907696&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.co.kr%2F> (2012).