

화재모델링 예측성능 개선을 위한 이온화식 연기감지기의 장치물성 측정

김경화 · 황철홍[†]

대전대학교 소방방재학과

Measurement of the Device Properties of a Ionization Smoke Detector to Improve Predictive Performance of the Fire Modeling

Kyung-Hwa Kim · Cheol-Hong Hwang[†]

Department of Fire & Disaster Prevention Daejeon University

(Received August 21, 2013; Revised August 28, 2013; Accepted August 28, 2013)

요 약

성능위주 소방설계(PBD)의 과정에서 화재 및 피난모델링의 신뢰성을 확보하기 위해서는 화재감지기 모델의 높은 예측성능이 필수적으로 요구된다. 본 연구의 목적은 FDS와 같은 대와동모사(Large Eddy Simulation) 화재모델에 적용될 수 있는 연기감지기의 정확한 작동 개시시간을 예측하기 위한 수치적 입력정보를 측정하는 것이다. 이를 위해 화재감지기의 장치특성을 측정할 수 있는 FDE (Fire Detector Evaluator)를 제작하였으며, 이온화식 연기감지기에 대한 Heskestad 및 Cleary 모델의 입력변수가 측정되었다. 또한 일반적으로 사용되는 FDS의 기본 값과 측정된 값이 적용된 연기감지기의 작동 개시시간을 정량적으로 비교하였다. 주요 결과로써, 본 연구에서 검토된 이온화식 연기감지기의 장치물성은 FDS에 적용된 기본 값과 매우 큰 차이를 보이고 있으며, 연기감지기 작동 개시시간이 최대 15분 이상 차이가 발생되었다. PBD의 신뢰성을 향상시키기 위하여 향후 연구에서는 보다 다양한 연기 및 열감지기의 장치물성에 대한 데이터베이스(DB)가 구축될 예정이다.

ABSTRACT

The high prediction performance of fire detector models is essentially needed to assure the reliability of fire and evacuation modeling in the process of PBD (Performance Based fire safety Design). The main objective of the present study is to measure input information in order to predict the accurate activation time of smoke detector into a Large Eddy Simulation (LES) fire model such as FDS (Fire Dynamics Simulator). To end this, FDE (Fire Detector Evaluator) which can measure the device properties of detector was developed, and the input information of Heskestad and Cleary's models was measured for a ionization smoke detector. In addition, the activation times of smoke detectors predicted using default values into FDS and measured values in the present study were systematically compared. As a result, the device properties of smoke detector examined in the present study showed a significant difference compared to the default values used into FDS, which resulted in the considerable difference of up to 15 minutes or more in terms of the activation time of smoke detector. The database (DB) on device properties of various smoke and heat detectors will be built to improve the reliability of PBD in future studies.

Keywords : Ionization Smoke Detector; Fire Modeling; FDS (Fire Dynamics Simulator); PBD (Performance Based fire safety Design)

1. 서 론

국내 초고층 건축물의 화재안전성 평가는 공간 내에 주어진 화재시나리오에 대하여 거주자가 위험한 상태에 도달하는 시간, 즉 허용피난시간(ASET, Available Safe Egress Time)을 화재모델링을 통해 예측하고 동일 공간 내에 거주자가 안전한 곳으로 피난하는데 걸리는 시간인 요구피

난시간(RSET, Required Safe Egress Time)을 평가하는 방식이 적용되고 있다⁽¹⁾. 따라서 ASET이 RSET에 비해 클수록 화재상황에 보다 안전한 건물로 평가받게 된다. 그러나 이러한 평가방식은 ASET이나 RSET을 결정하는 과정에서 화재 및 피난모델링 결과의 높은 신뢰성이 보장될 때 효과적이며, 해석결과의 신뢰성이 낮은 경우 건축물의 화재안전성 역시 보장할 수 없는 상황이 발생된다⁽²⁾.

[†]Corresponding Author, E-Mail: chehwang@dju.ac.kr
TEL: +82-42-280-2592, FAX: +82-42-280-2596

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.4.27>

성능위주 소방설계를 위한 화재시뮬레이션의 적용은 본질적인 수치 및 물리적 입력변수의 부정확성으로 인한 예측 불확실성을 갖고 있기 때문에, 해석적용 기법의 체계화 및 결과의 검증에 위하여 많은 노력이 진행되고 있다⁽³⁾. 특히 다양한 화재감지기를 이용한 화재 발생정보의 정확성은 ASET의 결정에 직접적인 영향을 주며, 합리적인 소방안전설계를 통한 인명안전 및 효율적인 화재진압을 위하여 매우 중요하다. 화재감지기를 포함한 화재모델링의 정확도를 확보하기 위해서는 화재 발생지역 및 피난 경로에서 연기, 열 및 농도에 대한 정확한 예측뿐만 아니라 적용된 화재 감지기의 장치 특성치가 제공되어야 한다^(4,5).

이러한 배경 하에 본 연구에서는 화재모델링의 수행 과정에서 요구되는 감지기의 장치물성을 측정 및 분석할 수 있는 시험 장치를 제작하고, 이를 이용하여 국내에서 사용되는 이온화식 연기감지기의 장치물성을 직접 측정하고자 한다. 현재 성능위주 소방설계에 널리 적용되고 있는 화재 모델인 FDS (Fire Dynamics Simulator)에 적용되고 있는 Heskestad 및 Cleary 연기감지기 모델의 입력정보를 획득하고, 기존 FDS 내의 기본 값(default value)과의 정량적 차이를 검토하고자 한다. 추가로, FDS를 이용한 화재모델링을 통해 기본 값 및 측정된 입력정보의 활용 시 연기 감지기의 작동 개시시간의 차이를 확인하고자 한다. 본 연구 결과는 현재 국내에서 진행 중인 초고층 건물의 성능위주 소방설계에 대한 신뢰도를 개선시킬 수 있는 매우 중요한 기회를 제공할 것으로 기대된다.

2. FDS에 적용된 연기감지기 모델에 관한 고찰

FDS는 계산 영역 내에 온도, 속도 및 연기의 농도를 제공할 수 있지만, 적용된 연기감지기의 작동 개시(activation)의 기준은 경험식을 바탕으로 제안된 수치적 모델에 의존한다. FDS에는 연기감지기의 모델링이 가능하도록 Heskestad model과 Cleary model이 적용되고 있다. 위 두 가지 모델은 시간지연법(time lag method)으로 분류되며, 감지기의 입구 형상에 의한 연기 유입저항(smoke entry resistance)을 고려하여, 감지기 외부와 감지기 내부(housing+sensing chamber)의 연기농도가 특정 시간차이를 갖는다는 아래의 개념이 적용된 것이다^(6,7).

$$\Delta t_{lag} = t_{th, sen} - t_{th, ext} \quad (1)$$

여기서, Δt_{lag} 는 시간지연을 의미하며, $t_{th, sen}$ 는 연기가 감지기 내부의 센서에 도달하는 시간, $t_{th, ext}$ 는 감지기 외부에 도달하는 시간을 나타낸다.

2.1 Heskestad 연기감지기 모델⁽⁸⁾

시간지연은 자유흐름속도(free stream velocity) U 와 연기가 감지기를 통과하여 이동하는 유효거리인 특성길이(L , characteristic length)의 함수로 표현될 수 있다. Heskestad

는 L/U 로 정의되는 특성시간을 통해 다음 식과 같은 일차 정확도의 시간 반응 감지기 모델을 제안하였다.

$$\frac{dY_c}{dt} = \frac{Y_e(t) - Y_c(t)}{L/U} \quad (2)$$

여기서 감지기 내부의 연기농도 Y_c 와 연기층의 연기농도 Y_e 사이에 $\delta t = L/U$ 만큼의 시간지연이 존재하게 된다. 따라서 Y_c 가 지정된 임계값을 초과하게 되면 감지기는 작동하게 된다. FDS에서 Heskestad 모델의 적용을 위해서는 위의 특성길이가 더불어 실제 감지기의 작동이 개시되는 단위 길이당 광소멸 퍼센트(%)가 요구된다. ACTIVATION_OBSCURATION으로 표현되는 단위 길이당 광소멸 퍼센트(%/m)는 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$Q_u = [(1 - (I/I_0)^{1/L_p})] \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

위 식에서 I/I_0 는 연기입자에 의해 소멸되는 입사광의 크기 비를 의미하며, L_p 는 광원의 경로거리(path length)를 각각 의미한다. 비교적 간단한 Heskestad 모델은 연기류의 유속이 충분히 높은 조건에서는 비교적 정확하지만, 낮은 천장 제트류(ceiling jet flow)를 갖는 연기 유속 범위에서는 단일 특성길이의 변수만을 통해 정확한 감지기 작동여부를 판단하는 데는 한계가 있다고 알려져 있다⁽⁹⁾.

2.2 Cleary 연기감지기 모델⁽¹⁰⁾

Cleary 모델은 Heskestad 모델에 감지기 내부(chamber) 내의 혼합시간 정보를 추가한 것으로서, 감지기 내부를 플러그류(plug flow)와 센서 내의 완전혼합류(PSR: perfectly stirred flow)로 구분하여 총 지연시간을 dwell time(δt)과 mixing time(τ)의 합으로 표현한 것이다. Cleary 모델의 δt 는 특성시간의 단일 변수를 통해 감지기의 작동여부를 판단하는 Heskestad 모델의 시간지연 값과 개념적으로 동일한 의미를 갖는다. Cleary는 식(4)를 바탕으로 감지기의 형상이나 내부 유동에 의해 발생할 수 있는 반응지연을 고려하였다.

$$\delta t = \alpha_c U^{\beta_c}, \quad \tau = \alpha_c U^{\beta_c}, \quad \Delta t = \delta t + \tau \quad (4)$$

위 식에서 δt 는 연기가 감지기의 housing을 채우는데 걸리는 특성시간(즉, 유입시간), τ 는 연기입자의 감지기 내부 혼합시간(sensing chamber를 채우는데 요구되는 특성시간), Δt 는 감지기의 총 반응 지연시간을 의미하며, U 는 연기입자의 이동속도이다. 또한 α 와 β 는 연기감지기의 형상과 관련된 실험상수로서 연기입자의 유입 및 혼합을 고려하기 위해 경험적으로 결정되는 상수이다. Sensing chamber 내의 질량분율의 변화는 다음과 같이 계산된다⁽⁹⁾.

$$\frac{dY_c}{dt} = \frac{Y_e(t - \delta t) - Y_c(t)}{\tau} \quad (5)$$

즉, 시간 t 에서 sensing chamber로 유입되는 연기의 농도

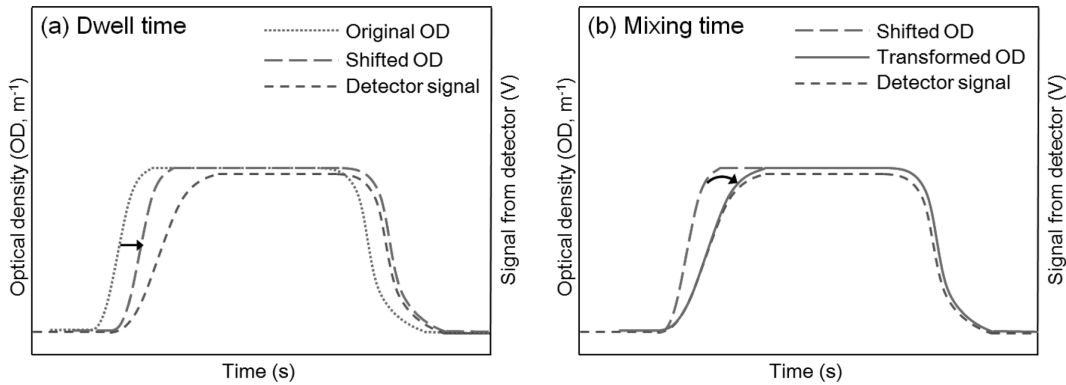


Figure 1. Process of data transformation for obtaining input information of Heskestad and Cleary models.

는 연층에서 $t-\delta t$ 시간에서의 값과 같음을 의미한다. 만약 유속이 일정하고 sensing chamber 내의 초기 연기 농도가 0이라면, 시간지연 후의 연기농도는 다음의 적분식으로 표현될 수 있다.

$$X(t) = e^{-(t/\tau)} \int_0^{t/\tau} e^{t'/\tau} X_c(t' - \frac{\delta t}{\tau}) dt' \quad (6)$$

여기서 $t'=t/\tau$ 이며, $dt'=dt/\tau$ 를 의미한다.

Cleary 모델의 식(4)에 포함된 4가지의 상수인 α_c , β_c , α_c , β_c 의 변수는 Figure 1에 제시된 바와 같이 다음의 2단계 과정을 거쳐 직접 구하게 된다⁽⁹⁾. 첫째 Heskestad 모델에서와 같이 레이저 광학 신호(original OD)를 시간에 따른 단순이동을 통해 감지기 신호(detector signal)의 초기 상승률과 유사한 dwell time (δt)을 얻게 된다. 유속에 따른 이 값을 plot 한 후에 최종 $y = \alpha_c u^{-\beta_c}$ 와 같은 형태의 fitting line을 통해 α_c , β_c 를 얻게 된다. 두 번째 mixing time (τ)과 관련된 α_c , β_c 의 변수는 다소 복잡한 과정을 통해 얻게 된다⁽¹²⁾. 첫 번째 과정을 통해 얻어진 결과에 임의의 τ 를 결정한 후, 식(6)을 통해 적분 및 반복계산을 하게 되며, 최종 변환된 레이저 광학 신호(transformed OD)와 변환된 감지기 신호와 가장 잘 일치하는(matching) τ 를 결정한다. 동일한 방법으로 유속에 따른 τ 를 $y = \alpha_c u^{-\beta_c}$ 의 형태로 표현, fitting 라인을 통해 최종 α_c , β_c 를 구하게 된다.

2.3 FDS 내의 이온화식 연기감지기의 입력정보⁽¹¹⁾

FDS에서 ACTIVATION_OBSCURATION은 3.28 %/m로 기본 설정되어 있으며, Heskestad 및 Cleary 모델에서

Table 1. Default Device Properties for Ionization Smoke Detectors into FDS

Ionization detector	α_c	β_c	α_c, L	α_c	OPM (%/m)
Heskestad model	-	-	1.8	-	3.28
Cleary model (I)	2.5	-0.7	0.8	-0.9	3.28
Cleary model (II)	1.8	-1.1	1.0	-0.8	3.28

요구되는 이온식 감지기의 특성길이(L) 및 α_c , β_c , α_c , β_c 이 Table 1에 제시되어 있다. 그러나 이들 값은 특정 감지기의 측정 결과 값이며, 국내에 사용되고 있는 이온화식 감지기의 실제 값과의 차이 및 이로 인한 감지기의 작동 시간의 차이는 현재까지 연구되지 않았다.

3. 연기감지기 시험장치(FDE)

화재모델링을 위한 화재감지기의 모델 입력정보를 측정하기 위하여 FDE (Fire Detector Evaluator)가 설계·제작되었다. 시간 및 공간에 대하여 일정 속도의 천장 제트유동과 연기 발생량 조절이 용이하도록 설계되었으며, Figure 2는 FDE의 개략도 및 사진을 제시한 것이다. FDE는 크게 공기 공급장치, 연기 및 열 생성장치, 유량 분배장치, 온도, 유속 및 soot 농도측정을 위한 장치로 구성되어 있다. FDE의 단면은 0.6 m×0.3 m로 제작되었으며, 각 구성장치의 설치를 위하여 0.3 m 또는 0.15 m의 사각 덕트 플랜지로 체결되었다. 사각 덕트 내의 균일한 유속분포를 위하여 메쉬와 하니컴이 설치되었으며, 공기 공급장치는 내부의 공기 공급을 위한 블로워(blower)와 유속 조절을 위한 댐퍼(damper) 및 인버터로 구성되었다. 연기의 생성은 공기 유입구, 다공관 및 변형된 알콜 램프 용기로 구성된 버너를 통해 이루어졌으며, 연료로는 헵탄이 사용되었다. 연기 및 열 감지기의 설치 위치 근처에 온도, 유속 및 연기 밀도 측정 장치가 설치되었다.

사각 덕트 단면의 유속 균일성을 확인하기 위하여 풍속 프로브와 차압센서(TESTO 480)을 통해 넓은 유량범위에 대한 유속이 측정되었다. 그 결과 벽면 근처를 제외한 단면의 평균유속은 매우 균일한 분포를 보이며, 이때 속도 변동치(rms)는 평균속도의 약 3%로서 충분한 정상상태의 유동장이 형성되었음을 확인하였다. 연기 밀도의 측정을 위하여 광소멸법(light extinction method)⁽¹²⁾이 적용되었다. 광원으로는 10 mW He-Ne 레이저가 사용되었으며, 광학장치 내로의 연기 유입을 방지하기 위하여 1 L/min의 N₂가 공급되었다. 광소멸법의 광학배열 및 상세한 원리는 참

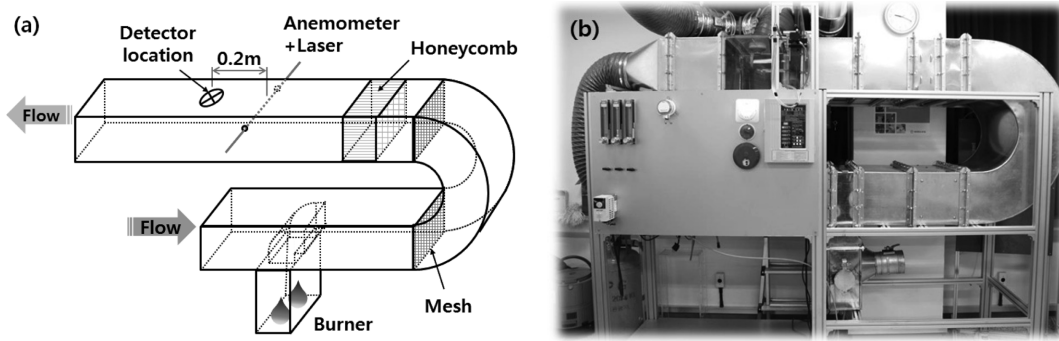


Figure 2. Fire Detector Evaluator (FDE) developed in the present study; (a) schematic and (b) direct photography.

고문헌⁽¹³⁾을 통해 확인할 수 있다.

본 연구에서는 검토된 이온화식 연기감지기는 D사에서 생산되는 2종/보통형/비축척형 모델이다. 전원 공급장치를 이용하여 전원을 공급하고 내부의 회로에서 연기 농도에 따른 외부 출력이 가능한 접점으로부터 실시간 전압을 측정하였다.

에서 이온화식 연기감지기의 신호와 레이저신호를 통한 광학밀도(OD; optical density)를 시간에 따라 비교하고 Heskestad 및 Cleary model에서 요구하는 입력정보를 도출하는 과정을 나타낸 것이다. 참고로 광학밀도는 다음 식에 의해 측정되었다.

$$OD = \log_{10}(I_0/I) = -\log_{10}(I/I_0) \quad (7)$$

4. 결과 및 고찰

4.1 이온화식 연기감지기의 장치 물성 측정 및 분석

Figure 3은 FDE를 이용하여 0.10 m/s의 평균 유속조건

Figure 3(a)를 살펴보면, 시간 증가에 따라 광학밀도는 급격하게 증가→일정→감소하는 현상을 보이고 있다. 광학 장치 이후에 설치된(0.2 m) 감지기로부터 추출된 전압신호는 광학밀도와 유사한 경향을 보이지만, 지연 시간값 만큼

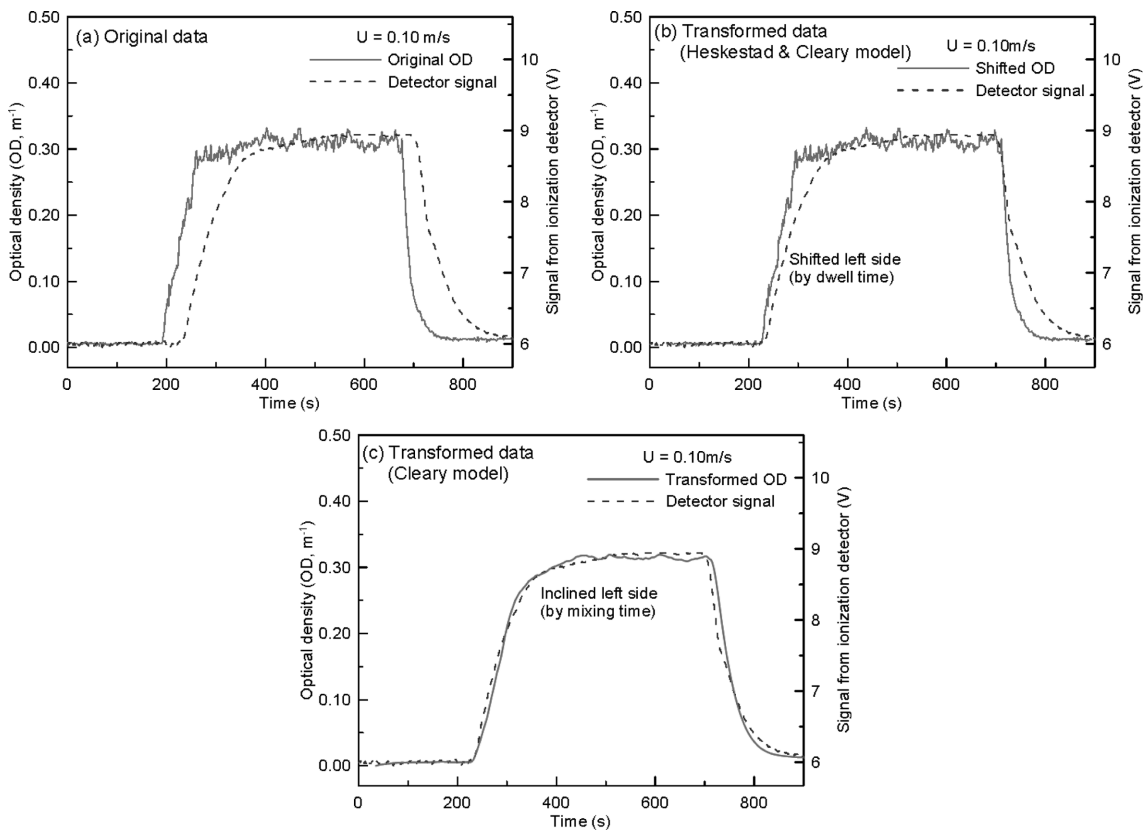


Figure 3. Data transformation under the condition of free stream velocity 0.10 m/s.

낮은 반응을 보이고 있다. 이때 Figure 3(b)에서의 같이 광학장치와 감지기의 거리 및 유속을 통해 계산된 대류시간을 적용하고 신호가 급격히 상승하는 위치를 일치시킴으로써 지연시간(dwelling time, δt)을 얻을 수 있다. 이 지연시간과 평균유속을 통해 최종 Heskestad model에서 요구되는 특성길이(L)를 산출할 수 있다. Figure 3(c)는 Figure 3(b)의 결과에서 sensor chamber 내에 완전히 혼합되는 mixing time (τ)을 결정하기 위하여, 식(6)의 계수 조절을 통해 광학신호의 기울기를 변화시킨 결과이다. 이러한 과정을 통해 최종 Cleary model에서 요구되는 δt 와 τ 의 정보를 얻게 된다.

Figure 4는 다양한 평균유속의 조건에서 Heskestad model의 개념을 통해 측정된 dwelling time (δt)과 각 평균유속의 관계를 통해 산출된 특성길이를 도시한 것이다. 각 심볼에 표기된 error bar는 평균유속 및 측정값의 표준편차를 의미한다. 먼저 δt 의 측정결과를 살펴보면, 평균유속 증가에 따라 δt 는 급격히 감소되며, 회귀선을 통해 최종

$\delta t = 1.42U^{-1}$ 의 관계를 얻게 된다. 이 결과를 바탕으로 재계산된 특성길이를 살펴보면 낮은 유속조건에서 상당한 편차를 보이지만⁽⁹⁾, 평균적으로 1.42 m의 특성길이가 발생되고 있음을 알 수 있다. Table 1에서 제시된 FDS 내에 기본 값이 1.8 m 임을 고려할 때 본 연구에서 검토된 이온화식 감지기는 FDS에 기본적으로 적용된 특성길이 값과 상당한 차이가 있을 것으로 판단된다.

Figure 5는 Cleary model의 개념을 통해 측정된 dwelling time (δt)과 mixing time (τ)를 측정하기 위하여 다양한 평균 유속조건에서의 측정값 및 회귀선을 도시한 결과이다. 그림에서 δt 는 $1.24U^{-1.07}$ 의 관계를 보이며, τ 는 $0.30U^{-1.14}$ 로 표현된다. 그 결과 Cleary model의 입력정보로서 $\alpha_e = 1.27$, $\beta_e = -1.07$, $\alpha_c = 0.3$, $\beta_c = -1.14$ 이다.

Figure 6은 FDS 내에서 감지기가 작동되는 연기 농도인 ACTIVATION_OBSCURATION 값을 확인하기 위하여, 연기 농도를 점차적으로 증가시켜 감지기가 작동되는 순간(내부 임피던스의 증가로 수신기 전압의 급격한 강하)을

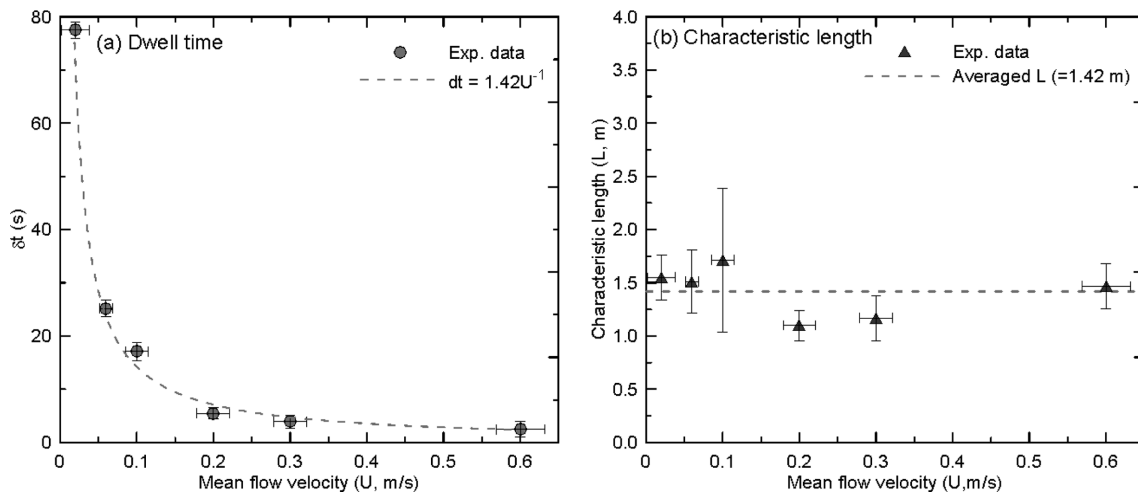


Figure 4. Measured dwell time and characteristic length for the Heskestad model.

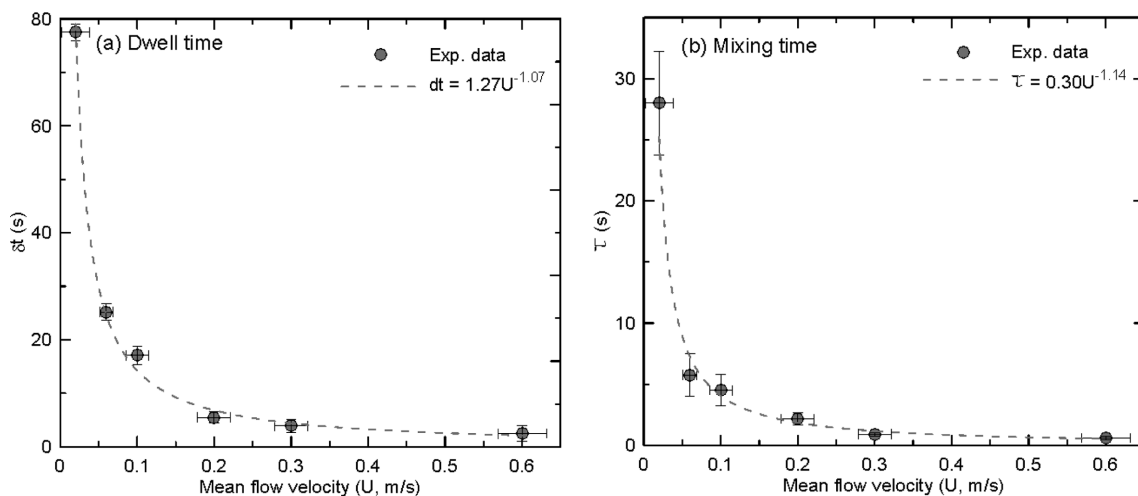


Figure 5. Measured dwell and mixing time for the Cleary model.

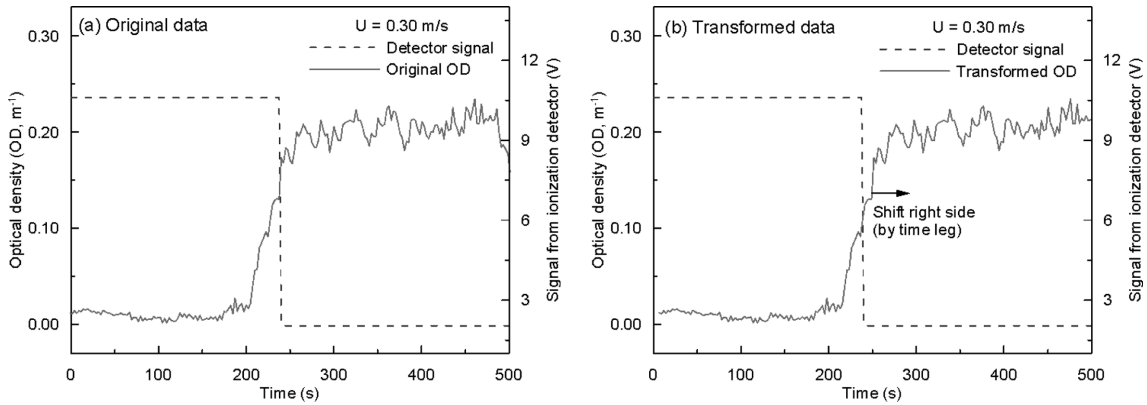


Figure 6. Data transformation for obtaining the ACTIVATION_OBSCURATION of detector.

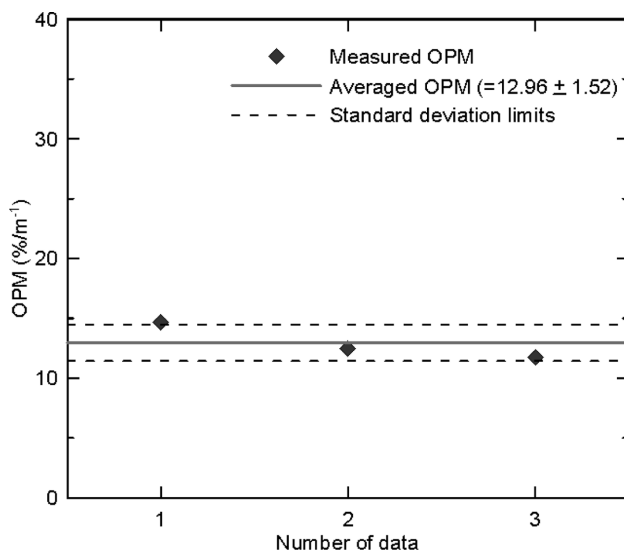


Figure 7. Averaged OPM (obscuration per meter) for the detector activation.

포함한 결과이다. 일반적으로 연기 감지기는 감도에 따라 1종, 2종 및 3종으로 구분되는데, 이때 연기농도는 각각 5%, 10% 및 15%에서 작동하도록 설계된다. 그러나 이러한 수치는 일반적인 분류에 해당되며, 실제 감지기 제작 회사에서 어느 정도의 오차 범위 내에서 감지기를 설정하였는지는 성능위주 소방설계자에게 충분한 정보를 제공하기 어렵다. 일반적으로 FDS에서 감지기의 작동 연기농도는 제조회사에서 제시된 값을 사용한다고 언급되고 있으나, 국내에서 판매되는 감지기의 설명서에는 충분한 정보가 제공되지 않고 있다. 그림에서 감지기는 약 240s에 작동되며, 광학신호의 시간 지연값을 고려하여 감지기가 작동되는 순간의 연기밀도를 측정하였다. 이때의 연기밀도를 식(3)의 단위 길이당의 광소멸값(OPM; Obscuration Per Meter)으로 변환하면, Figure 7에서와 같이 평균적으로 12.96 %/m의 값을 갖게 된다. 이때 실험은 동일 조건에 대하여 3회 측정되었으며, 표준편차는 ±1.52 %/m이다. 결과적으로 본 연구에 적용된 이온화식 감지기는 2종 보통

Table 2. Measured Device Properties for a Ionization Smoke Detector

Ionization detector	α_e	β_e	α_c, L	β_c	OPM (%/m)
Heskestad model	-	-	1.42	-	12.96±1.52
Cleary model	1.27	-1.07	0.3	-1.14	12.96±1.52

(15% 기준)로 제품이 출시되었으나, 실제보다 정확한 감지기 작동 OPM을 적용함으로써 보다 감지기 작동시간을 보다 정확히 예측할 수 있다.

결과적으로 본 연구에서 검토된 이온화식 연기감지기의 장치 물성은 Table 2에 제시되었다. 즉, 연기감지기의 대표적인 모델인 Heskestad 및 Cleary 모델의 입력변수로서, Table 1에 제시된 값과 비교할 때 정량적으로 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 그러나 이들의 차이가 FDS 화재모델링에서 연기감지기의 작동시간 측면에서 어느 정도의 차이를 발생시키지는 추가적인 검토가 요구된다.

4.2 FDS에서 연기감지기의 입력정보에 따른 작동 개시시간 비교

일반 사용자들이 주로 사용하는 FDS에 제시된 기본 값과 본 연구를 통해 측정된 값이 각각 입력되었을 때 연기감지기의 작동 개시시간의 차이에 대한 확인은 성능위주 소방설계의 신뢰도 측면에서 매우 중요하다. 이에 동일한 화재시나리오 및 발열량의 조건에서 연기감지기의 입력정보에 따라 작동 개시시간의 차이에 대한 정량적 비교연구가 수행되었다.

Figure 8은 FDS 수행을 위한 형상 및 순간적인 연기 분포를 도시한 결과이다. 연기의 총 이동거리는 45m이며, 단면은 1m×1m인 구조물이 고려되었다. 연료로는 C₃H₈이 사용되었으며, 구조물의 왼쪽 벽면 근처에 설치된 화원을 통해 10kW/m²의 단위면적당 발열량이 공급되었다. 연료의 단위 질량당 발생하는 soot yield는 0.01로 고정하였다⁽¹⁴⁾. 격자의 크기는 격자 민감도 분석을 통해 최종 5cm의 균일 격자계가 사용되었다. 감지기는 총 10개가 설치되

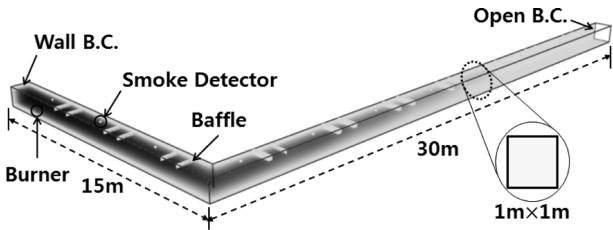


Figure 8. Schematic of computation domain for FDS implementation.

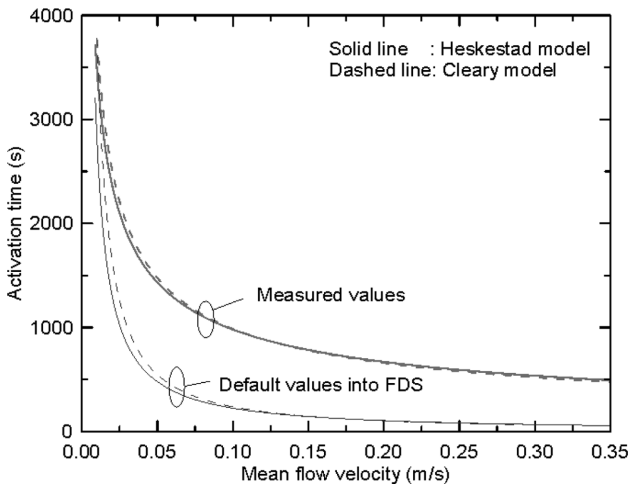


Figure 9. Comparison of activation time between default and measured values for the Heskestad and Cleary models.

었으며, 0.01~0.35 m/s의 낮은 유속에서의 작동 개시시간의 비교를 위하여 감지기 전 후단에 배플(baffle)이 설치되었다.

Figure 9는 Heskestad와 Cleary model에 대하여 FDS의 기본 값과 본 연구에서 측정된 값에 따른 연기감지기의 작동시간을 비교·도시한 결과이다. 참고로 Cleary model에 대해서는 Table 1의 Cleary model(II)의 값이 적용되었다. 먼저 FDS의 기본 값이 적용된 결과를 살펴보면, 연기의 유속이 감소함에 따라 감지기 작동시간이 급격하게 증가됨을 볼 수 있다. 또한 두 연기감지기 모델의 차이는 크게 발생되지 않으며, 이러한 결과는 측정된 값이 적용된 경우에도 유사함을 확인할 수 있다. FDS 기본 값과 측정된 값의 입력정보 차이로 인한 작동시간의 차이는 매우 낮은 유속(<0.02 m/s)을 제외하고 전 유속범위에 걸쳐 상당한 차이를 보이고 있다. 특히 유속범위 0.05 m/s<U<0.10 m/s에서 최대 15 min 이상의 작동시간의 차이가 발생되고 있다. 물론 이러한 정량적 차이를 모든 화재조건에 적용하는 것은 많은 한계가 있다. 실제 화재에서 가연물의 종류, 환기 조건 및 구획형상에 따라 연기의 농도 및 유속에 큰 차이가 존재하기 때문이다. 그럼에도 불구하고 실제 적용된 연기감지기의 입력정보가 아닌 FDS의 기본 값을 적용할 경우, 성능위주 소방설계의 피난 안전대책을 수립하는데 때

우 큰 문제점이 노출될 수 있음을 본 연구를 통해 명확히 확인할 수 있다.

5. 결 론

성능위주 소방설계의 신뢰성 확보 차원에서 화재 및 피난모델링의 예측성능 개선을 위한 이온화식 연기감지기의 장치물성 측정에 관한 실험 및 수치적 연구가 수행되었으며, 주요 결론은 다음과 같다.

연기감지기의 정확한 장치물성 측정을 위하여 FDE (Fire Detector Evaluator)가 제작되었으며, 시간지연법이 적용된 대표적인 Heskestad 및 Cleary 모델의 물리적 입력변수들의 측정이 이루어졌다. 측정된 이온화식 연기감지기의 장치물성은 FDS에 적용된 기본 값과 매우 큰 차이를 보이고 있으며, 특정 조건에서 연기감지기 작동 개시시간은 최대 15분 이상 차이가 발생할 수 있음을 확인하였다. 향후 추가적인 연구를 통해 보다 다양한 연기 및 열감지기의 장치물성에 관한 데이터베이스(DB)구축과 연기감지기 모델의 주요 입력변수들의 상세한 민감도 분석이 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 2013년도 소방방재청의 차세대핵심소방안전 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 관계제위께 감사드립니다.

References

1. J. H. McGuire and G. T. Tamura, "Simple Analysis of Smoke Flow Problems in High Rise Buildings", Fire Technology, Vol. 11, pp. 15-22 (1975).
2. R. Custer, "Selection and Specification of the 'Design Fire' for Performance-Based Fire Protection Design", in Proceedings, SFPE Engineering Seminar, Phoenix, AZ, Society of Fire Protection Engineers, Boston (1993).
3. K. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka and J. Floyd, "Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide", NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (2010).
4. M. Ahrens, "U.S. Experience with Smoke Alarms and Other Fire Detector/Alarm Equipment", NFPA (2004).
5. V. T. D'souza, J. A. Sutula, S. M. Olenick, W. Zhang and R. J. Roby, "Predicting Smoke Detector Activation using the Fire Dynamics Simulator", Proceedings of the 7th International Symposium of Fire Safety Science (2002).
6. F. W. Mowrer, "Lag Times Associated with Fire Detection and Suppression," Fire Technology, Vol. 26, No. 3, pp. 244-265 (1990).
7. C. E. Marrion, "Lag Time Modeling and Effects of Ceil-

- ing Jet Velocity on the Placement of Optical Smoke Detectors”, Master’s Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Center for Fire safety Studies, Worcester, MA (1989).
8. G. Heskestad, “Generalized Characterization of Smoke Entry and Response for Products of Combustion Detectors”, Proceedings of the Fire Detection for Life Safety Symposium (1975).
 9. T. Cleary and A. Chernovsky, “Particulate Entry Lag in Spot-Type Smoke Detectors”, Proceedings of 6th International Symposium, International Association for Fire Safety Science (IAFSS) (1999).
 10. T. Cleary, W. Grosshandler and A. Chernovsky, “Smoke Detector Response to Nuisance Aerosols”, International Conference on Automatic Fire Design “AUBE ‘99”, 11th, pp. 32-41 (1999).
 11. K. McGrattan, R McDermott, S. Hostikka and J. Floyd, “Fire Dynamic Simulator (Version 5): User’s Guide”, NIST SP 1019-5, NIST, Gaithersburg, MD (2010).
 12. G. W. Mulholland, E. L. Johnsson and M. G. Fernandez, “Design and Testing of New Smoke Concentration Meter”, Reprinted from the Fire and Materials, Vol. 24, No. 5, pp. 231-243 (2000).
 13. S. C. Kim, “Uncertainty Analysis of the Optical Smoke Density Measurement through the Doorway in a Compartment Fire”, J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 27, No. 2, pp. 75-79 (2013).
 14. A. Tewarson, “Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires”, SFPE Handbook of Fire Protecting Engineering, Social Fire Protection Engineers (1995).