화재모델링을 위한 정온식 열감지기의 장치물성 측정

박희원 · 조재호 · 문선여 · 박충화 · 황철홍[†] · 김성찬* · 남동군**

대전대학교 소방방재학과, *경일대학교 소방방재학과, **한국소방산업기술원

Measurement of the Device Properties of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling

Hee-Won Park · Jae-Ho Cho · Sun-Yeo Mun · Chung-Hwa Park ·
Cheol-Hong Hwang[†] · Sung-Chan Kim* · Dong-Gun Nam**

Dept. of Fire & Disaster Prevention, Daejeon University

*Dept. of Fire Safety, Kyungil University

**Korea Institute of Fire Industry & Technology

(Received December 27, 2013; Revised February 11, 2014; Accepted February 14, 2014)

요 약

성능위주 소방설계(PBD)의 과정에서 화재 및 피난모델링의 신뢰성을 확보하기 위해서는 화재감지기 모델의 높은 예측능이 필수적으로 요구된다. 본 연구의 목적은 대표적인 화재모델인 FDS에 적용되고 있는 정온식 열감지기의 정확한 작동 개시시간을 예측하기 위한 입력정보를 측정하는 것이다. 이를 위해 화재감지기의 장치특성을 측정할 수 있는 Fire Detector Evaluator (FDE)가 사용되었으며, 국내에서 적용되는 2개의 써미스터 방식(Thermistor types)과 1개의 바이메탈 방식(Bimetal type)의 스포트형 정온식 열감지기가 연구대상으로 고려되었다. 화재모델링을 위해 요구되는 감지기의 작동 개시온도 및 반응시간지수(Response Time Index)가 측정되었으며, 이때 RTI는 감지기의 설치위치를 고려하여 천장 제트기류(Ceiling jet flow)와 수직제트기류(Vertical jet flow)에 대하여 측정되었다. 측정된 장치물성을 이용한 화재모델링 결과는 실험구 구획화재실험 결과와 비교 · 검증되었다. 그 결과 수치적으로 예측된 감지기의 작동 개시시간은 실험 결과를 적절히 잘 예측함을 확인하였다.

ABSTRACT

The high predictive performance of fire detector models is essentially needed to assure the reliability of fire and evacuation modeling in the process of Performance-Based fire safety Design (PBD). The main objective of the present study is to measure input information in order to predictive the accurate activation time of fixed temperature heat detectors adopted in Fire Dynamics Simulator (FDS) as a representative fire model. To end this, Fire Detector Evaluator (FDE) which could be measured the device properties of detector was used, and the spot-type fixed temperature heat detectors of two thermistor types and one bimetal type were considered as research objects. Activation temperature and Response Time Index (RTI) of detectors required for the fire modeling were measured, and then the RTI was measured for ceiling jet flow and vertical jet flow in consideration of the install location of detectors. The results of fire modeling using measured device properties were compared and validated with the experimental results of full-scale compartment fires. It was confirmed that, in result, the numerically predicted activation time of detector showed reasonable agreement with the measured activation time.

Keywords : Fixed temperature heat detector, Fire modeling, Fire Dynamics Simulator (FDS)

1. 서 론

국내 초고층 건축물의 화재안전성 평가는 공간 내에 주어진 화재시나리오에 대하여 거주자가 위험한 상태에 도달하는 시간, 즉 허용피난시간(Available Safe Egress

Time, ASET)을 화재모델링을 통해 예측하고 동일 공간 내에 거주자가 안전한 곳으로 피난하는데 걸리는 시간인 요구피난시간(Required Safe Egress Time, RSET)을 평가하는 방식이 적용되고 있다⁽¹⁾. 따라서 ASET이 RSET에 비해 클수록 화재상황에 보다 안전한 건물로 평가받게 된

[†]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.2014.28.1.037>

다. 그러나 이러한 평가방식은 ASET이나 RSET을 결정하는 과정에서 화재 및 피난모델링 결과의 높은 신뢰성이 보장될 때 유효하며, 모델링결과와 신뢰성이 낮은 경우 건축물의 화재안전성 역시 보장할 수 없는 상황이 발생된다⁽²⁾. 화재모델링은 본질적인 수치 및 물리적 입력변수의 부정확성으로 인한 예측 불확실성을 갖고 있기 때문에, 해석기법의 체계화 및 결과의 검증을 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^(4,6).

다양한 화재감지기 중에서 열감지기는 연기감지기와 함께 건축물의 화재발생을 조기에 감지하고 화재경보를 알려주기 위해 사용되는 가장 일반적인 소방설비라 할 수 있다. 열감지기는 작동 원리에 따라 크게 감열부(Thermal element)의 온도가 설정값 이상이 되면 작동하는 정온식(Fixed temperature type)과 온도의 변화가 일정 상승을 이상이 되면 작동하는 차동식(Rate-of-rise temperature type)로 분류된다. 추가적으로 일정한 온도에 도달해야만 화재를 감지하여 화재초기 감지의 어려움을 갖는 정온식의 단점과 온도가 느리게 상승하는 자연화재의 감지 어려움을 갖는 차동식의 단점을 보완하기 위하여 두가지 방식을 동시에 적용한 보상식(Compensation type) 감지기가 있다. 그러나 현재 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 화재모델인 Fire Dynamics Simulator (FDS)에서는 정온식 열감지기의 모델만이 제시되어 있기 때문에 본 연구에서는 정온식 감지기의 장치물성 측정 및 검증에 초점을 두었다.

국내에서 정온식 열감지기의 등급은 주로 소방검정기준(감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술수준)에 따른 작동 시험에 의해 공칭온도의 125%의 기류에서 작동 시간의 범위에 따라 분류되고 있으며, 부작동시험을 통해 제품의 안전성을 평가하고 있다. 그러나 이러한 감지기 시험은 다양한 원리 및 설계를 통해 제작된 많은 감지기들의 정확한 장치특성을 예측하는 데는 한계가 있다. 열감지기의 장치특성을 예측하기 위한 주요 물성으로는 감열부의 작동 개시온도와 반응시간지수(RTI; Response Time Index)가 있다. 감열부의 작동 개시온도는 감지기의 공칭작동온도를

통해 주로 사용되고 있으나, 감열부의 센서에 따라 넓은 범위의 값을 갖을 수 있기 때문에 특정 감지기에 대한 명확한 측정이 요구된다. 감지기의 열적 민감도를 나타내는 RTI는 감열부 근처의 비선형적인 전도 열손실로 인하여 기류온도 및 유속에 따라 넓은 범위의 값을 갖는 한계를 갖고 있지만, 열적 민감도를 정량적으로 표현할 수 있는 가장 유효한 변수로 인식되고 있다⁽⁷⁾.

현재 FDS에서도 열감지기의 장치특성을 표현할 수 있는 입력정보로서 위의 작동 개시온도와 RTI 값을 요구하고 있다. 열감지기 장치특성에 관한 외국의 연구를 살펴보면, 주로 미국의 FM Global을 중심으로 RTI의 유효성 평가⁽⁸⁾ 및 다양한 열감지기의 RTI 측정^(9,10)이 이루어졌으며, RTI에 대한 온도 및 속도의 영향이 상세하게 검토된 바 있다⁽¹¹⁾. 그러나 국내에서는 약 20년 전 Ryu 등에 의해 한 종류의 정온식 열감지기의 RTI의 측정⁽¹²⁾이 이루어진 이후 추가적인 연구를 찾아보기 어렵다. 결과적으로 현재 국내에서 적용되고 있는 열감지기의 장치물성에 관한 정보는 전혀 제공되지 않고 있으며, 대부분의 성능위주소방설계를 위한 화재모델링은 단순히 FDS에서 제공되고 있는 기본 설정값이 적용되고 있는 실정이다.

이러한 배경 하에 본 연구팀은 국내에 적용되는 화재감지기의 장치물성 측정 및 DB 구축이라는 궁극적 연구목표 하에, 본 연구에서는 국내에서 사용되는 3종의 열감지기를 대상으로 화재모델링의 입력변수로 요구되는 작동 개시온도 및 RTI 값이 측정되었다. 측정된 값을 이용한 화재모델링의 작동 개시시간을 검증하기 위하여 실험구 구축 화재 실험결과와 직접 비교되었다.

2. 장치물성 측정을 위한 실험 방법

FDS에 포함된 열감지기 모델의 입력정보를 측정하기 위하여 선행연구⁽⁶⁾에서 개발된 Fire Detector Evaluator (FDE)가 사용되었다. Figure 1은 FDE의 개략도 및 사진을 제시한 것이다. FDE는 크게 공기 공급장치(송풍기), 히터, 유량 분배장치, 온도, 유속을 측정하기 위한 장치로 구성되었다. FDE의 단면은 0.6 m × 0.3 m로 제작되었으며, 각 구성장치의 설치를 위하여 0.3 m 또는 0.15 m의 사각 덕트 플

Figure 1. Fire Detector Evaluator (FDE); (a) schematic and (b) direct photography.

Figure 2. Photos of fixed temperature heat detectors.

랜지로 체결되었다. 사각 덕트 내의 균일한 유속분포를 위하여 매쉬와 하니컴이 설치되었으며, 공기 공급장치는 내부의 공기 공급을 위한 블로워(Blower)와 유속 조절을 위한 인버터 및 댐퍼(Damper)로 구성되었다. 히터는 사각 덕트 내부에 설치된 편형 열교환기 및 제어기로 구성되었다.

사각 덕트 단면의 유속 및 온도의 균일성을 확인하기 위하여 K-type 열전대, 양방향 차압 유속계와 풍속 프로브(TESTO 480)가 동시에 적용되었다. 그 결과 벽면 근처를 제외한 단면의 평균유속 및 온도는 매우 균일한 분포를 보이며, 이때 속도 변동치(rms)는 평균속도의 약 3%, 온도 변동치는 평균온도의 약 2%로 충분히 균일한 정상상태 유동장이 형성되었음을 확인하였다.

본 연구에는 Figure 2에서와 같이 국내에서 주로 적용되는 3가지의 정온식 열감지기가 선정되었으며, 샘플 T(특종 보통형)와 K(1종 보통형)는 써미스터 방식이며, 샘플 H(1종 보통형)는 바이메탈 방식이다. 모든 감지기의 공칭 작동온도는 70 °C로 동일하다. FDE 내부의 일정한 평균유속 (1.5 m/s) 및 온도(110 °C)의 조건에서 감지기를 순간적으로 투입 한 후에 감지기 작동시간을 측정하였다. 각 감지기에 대하여 제품성능의 재현성을 확인하기 위하여 3개의 동일 샘플을 준비하였으며, 각각 5회 반복 실험 한 후에 평균 작동시간 및 표준편차를 산출하였다. 그 결과 RTI는 다음 식(1)에 의해 산출되었다^(10,11).

$$RTI = \frac{-t_a u^{1/2}}{\ln(1 - \Delta T_a / \Delta T_d)} \quad (1)$$

여기서 t_a 는 감지기의 작동시간(s), u 는 유속(m/s), ΔT_a 는 감지기의 작동온도와 대기온도와의 차(K) 그리고 ΔT_d 는 덕트 내의 기류 온도와 대기온도와의 차(K)를 의미한다.

Figure 2에서 확인 되듯이 써미스터 방식은 센서 외부에 보호막이 씌워져 있으며, 바이메탈은 내부 고정 지지대와 외부 케이스 내부에 설치되어 있다. 그 결과 보다 정확한 감지기 센서의 작동 개시온도를 측정하기 위하여 노출된 센서의 작동 개시온도를 측정하였다. 즉, 써미스터 방식은 보호막을 제거 한 상태에서 기류의 매우 느린 단계별 온도 상승을 통해 작동 개시온도를 측정하였다. 또한 바이메탈 방식은 전도 열전달에 의한 작동원리를 동일하게 적용하기 위하여, 얇은 철판 위에 센서와 열전대를 용접하고 방화솜(Ceramic blanket)으로 단열 처리하였다. 그 이후 철판의 반대 면에서 단계별 느린 온도 상승을 통해 정확한 작동 개시온도를 측정하였다. 이러한 실험방법은 감지기 센서 이외의 열손실에 의한 측정 오차를 최소화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3. 실규모 구획화재를 이용한 검증실험 및 모델링 방법

측정된 정온식 열감지기의 장치물성을 입력한 화재모델링 결과가 실제 작동시간을 정확히 예측할 수 있는가에 대한 평가를 위하여 실규모 구획화재 실험을 수행하였다. Figure 3에 제시된 바와 같이 실험을 위하여 3.56 m (x) × 11.5 m (y) × 2.05 m (z)의 내부 수치를 갖는 단일 구획이 제작되었으며, 출구면은 개방되었다. 사각격자만을 허용하는 FDS를 위하여 0.4 m의 정사각형 버너(높이 0.1 m)가 내부 벽면에서 1 m 거리를 두고 설치되었으며, 발열량 변화를 위하여 버너 1개가 적용된 경우와 버너 2개가 동시에 적용된 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 액체 헵탄이 연료로 사용되었으며, 산소소모열량계를 통해 측정된 발열량은 버너 1개(헵탄 2 L)의 경우 약 250 kW이며, 버너 2

Figure 3. Schematic of full-scale compartment and photo of fire experiments.

개(4 L)가 적용된 경우 약 650 kW에 해당된다. 다양한 감지기가 설치된 패널은 내부 벽면을 기준으로 $y = 6.0$ m ($x = 1.78$ m)의 천장에 설치되었다. Figure 3(b)는 650 kW 조건의 초기 화재실험 사진을 나타낸 것이다. 정확한 감지기의 작동시간의 측정은 감지기와 연결된 P형 수신기의 각 채널 신호를 감폭장치를 통해 데이터 획득처리장치(DAQ)로 연결한 후에 시간에 따른 전압신호의 변화를 통해 이루어졌다.

측정된 장치물성이 적용된 실규모 구획화재에 대한 화재모델링은 Large Eddy Simulation (LES) 기법이 적용된 FDS (ver. 5.5.3, SVN 7031)⁽¹³⁾가 사용되었다. 계산영역의 크기는 단일구획 및 배출되는 연기유동을 포함하도록 3.6 m (x) $\times$ 15.0 m (y) $\times$ 3.8 m (z)로 설정되었으며, 적용된 격자크기는 격자 민감도분석을 통해 최종 0.05 m로 결정되었으며, 총 격자수는 180만개에 해당된다. 화원의 정보는 측정된 시간에 따른 발열량을 통해 제공되었으며, 탭연료의 CO 및 soot 생성량(yield)은 과환기 화재조건(over-ventilated fire condition)에서의 문헌⁽¹⁴⁾에 보고된 0.01 및 0.037이 각각 입력되었다. 이외에 모든 수치적 입력값은 실험에서와 동일하게 설정되었다. FDS에 적용된 보다 상세한 지배방정식 및 수치기법은 참고문헌⁽³⁾에서 확인될 수 있다.

4. 결과 및 고찰

4.1 정온식 열감지기의 장치물성 측정

Figure 4는 3종류의 감지기 작동 개시온도를 측정한 결과로서, 5회의 반복실험을 통해 얻어진 평균값 및 표준편차를 도시한 것이다. 모든 감지기의 공칭 작동온도는 70 °C로 동일하지만, 실제 측정된 개시온도는 감지기에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 먼저 써미스터 방식의 샘플 T와 K는 약 67 °C로서 공칭 작동온도에 근접한 반면에, 바이메탈 방식은 약 60 °C로 공칭작동온도를 14% 낮게 측정되고 있다. 이들에 대한 정량적 수치는 Table 1에 제시되었다.

Figures 5와 6은 천장 제트유동(Ceiling jet flow)과 수직 제트유동(Vertical jet flow)에 따른 3종류 감지기의 평균 RTI 및 표준편차를 도시한 결과이다. 감지기의 설치위치와 화재의 발생위치에 따라 감지기 내부로 유입되는 고온의 연소생성물 유입방향은 큰 변화를 갖게 된다. 그 결과 Figure 2의 감지기 형상에서 확인할 수 있듯이, 감열부로 유입되는 유동방향의 변화로 대류 및 전도 열전달율의 변

Figure 4. Activation temperatures of heat detectors (the photos of detector sensors were included).

화가 발생될 수 있으며, 그 결과 최종 감지기의 열적 민감도 및 작동 시간의 상당한 변화가 예상된다.

먼저 감지기의 설치위치와 화원 위치의 거리가 상대적으로 큰 조건(천장 제트유동)인 Figure 5를 살펴보면, 써미스터 방식의 샘플 T의 경우에 3개의 감지기 모두 매우 유사한 RTI 값을 보이고 있다 그 결과 감지기의 성능 균일성은 상당히 우수함을 확인할 수 있다. 또한 모든 감지기 및 조건에 대한 평균 RTI 값은 약 $16 \text{ (m} \cdot \text{s)}^{1/2}$ 로 측정되었다. 샘플 K의 RTI 값은 약 $24 \text{ (m} \cdot \text{s)}^{1/2}$ 이며, 샘플 T에 비해 다소 느린 열적 민감도를 보이고 있다. 마지막으로 바이메탈 방식인 샘플 H의 RTI 값은 약 $508 \text{ (m} \cdot \text{s)}^{1/2}$ 로서 써미스터 방식에 비해 매우 느린 열적 민감도를 갖고 있다. FDE 내에 투입된 감지기의 실제 평균 작동시간을 비교해보면, 샘플 T 및 K는 각각 9 s 및 14 s인 반면에 샘플 H는 210 s로 매우 오랜 시간이 경과된 후에 작동되었다. 이러한 결과는 감열부 내의 센서 종류 및 형상으로부터 예측될 수 있다. 즉 써미스터 방식은 천장 제트기류(수평기류)에 대하여 측면으로 유입된 고온의 연소생성물이 직접 감열부에 대류에 의한 열전달을 발생시키는 반면에, 바이메탈 방식은 수평기류에 의한 대류 열전달 그리고 전도 열전달에 의해 외부 및 내부의 2중 보호 금속판을 가열시키고 최종 바이메탈의 온도를 상승시키기 때문으로 판단된다. 따라서 바이메탈 방식의 작동 개시온도는 써미스터 방식에 비해 낮지만(Figure 4 참조), 열전달 방법의 차이 및 감지

Table 1. Measured Device Properties for the Fixed Temperature Heat Detectors Used in the Present Study

	Sample T	Sample K	Sample H
Activation temperature (°C)	67.18 ± 0.54	67.89 ± 1.01	59.65 ± 3.27
RTI_ceiling jet flow ($\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$	15.81 ± 1.69	24.32 ± 4.60	507.88 ± 38.41
RTI_vertical jet flow ($\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$	24.32 ± 1.20	42.48 ± 4.27	72.33 ± 3.49

Figure 5. RTI values for ceiling jet flow.

기 형상에 의해 열적 민감도는 크게 감소되었음을 확인할 수 있다.

Figure 6은 감지기 설치위치의 바로 하부에 화원이 존재할 때 발생될 수 있는 수직기류 조건에서 감지기별 RTI 값을 도식한 결과이다. 샘플 T와 K의 경우에 RTI 값은 $24 (\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$ 와 $43 (\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$ 로서 수평기류의 조건과 비교할 때 각각 55% 및 75%로 큰 증가를 보이고 있다. 이는 감열부에 유입될 수 있는 유료가 수직기류인 경우에는 매우 한정되기 때문에 상대적으로 대류 열전달율이 크게 감소되었기 때문으로 판단된다. 마지막으로 샘플 H의 RTI 값은 $72 (\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$ 로서 수평기류에 비해 1/6만큼 크게 감소되어 열적 민감도가 크게 증가되었음을 알 수 있다. 실제 평균 작

Figure 6. RTI values for vertical jet flow.

동시간을 살펴보면, 샘플 T 및 K는 각각 10 s 및 17 s인 반면에 샘플 H는 29 s이다. 즉, 바이메탈 방식의 샘플 H는 수평기류보다는 수직기류의 조건에서 보다 빠른 시간 내에 작동되고 있다. Figure 2를 통해 재확인되듯이 수직기류에서 샘플 H는 넓은 면적에 대하여 충돌 제트유동(Impinging jet flow)로 인하여 대류 열전달율이 크게 증가될 수 있으며, 그 결과 내부로의 전도 열전달의 증가로 감지기의 빠른 작동이 발생되었음을 예측할 수 있다. 위 결과로부터 감지기 센서의 종류에 따라 RTI 값에 대한 기류 방향의 의존성이 크게 변화되고 있으며, 이는 감지기 외부 및 감열부의 설계조건에 따라서도 큰 영향을 받게 됨을 확인할 수 있다.

Figure 7. Comparison of activation times between full-scale experimental data and FDS data.

4.2 실규모 구획화재실험을 이용한 FDS의 예측성능 검증

측정된 정온식 열감지기의 장치물성을 적용한 FDS의 감지기 작동시간에 대한 검증을 위하여, 실규모 구획화재 실험결과와 FDS 결과의 비교·검증이 수행되었다. Figure 7은 샘플 T와 샘플 K의 작동 개시시간을 비교한 것이며, FDS에 제시된 열감지기의 기본값이 적용된 결과를 추가로 도시하였다. 샘플 H는 실험 과정에서 신호 처리의 실패로 인하여 본 결과에서는 제외되었다. 먼저 1개의 0.4 m 정사각형 버너가 적용된 250 kW의 조건을 살펴보면, 실험에서 측정된 샘플 T의 작동시간은 31 s이며, FDS의 예측된 작동시간은 35 s이다. 이들의 정량적 차이는 약 4%로서 FDS를 이용한 열감지기의 작동시간의 예측은 매우 정확하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 샘플 K의 결과를 살펴보면, 실험에서의 작동시간은 59 s이며, FDS의 결과는 44 s로서 비록 25%의 상당한 예측결과를 보이고 있지만, 그 차이는 발열량이 증가된 650 kW의 조건에서는 더욱 감소(18%)되고 있음을 확인할 수 있다. 마지막으로 FDS에 제시된 감지기 장치물성의 기본값이 적용된 경우에는 250 kW와 650 kW의 조건에서 각각 160 s와 80 s로 검토된 써미스터 방식의 감지기들에 비해 약 50%~75%의 큰 차이를 보이고 있다. 위 결과로부터 측정된 장치물성을 입력변수로 적용된 FDS의 예측결과는 정온식 열감지기의 작동온도를 비교적 적절하게 예측하고 있음을 확인할 수 있다. 서론에서 언급되었듯이 정확한 감지기의 작동시간 예측은 화재모델링을 이용한 성능위주소방설계의 신뢰도를 크게 개선시킬 수 있으며, 향후 보다 다양한 감지기의 장치물성 측정 및 DB 구축은 국내 소방안전설계의 선진화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결 론

성능위주 소방설계의 신뢰성 확보 차원에서 화재모델링의 예측성능 개선을 위한 정온식 열감지기의 장치물성 측정

및 실규모 구획화재에서의 감지기 작동시간에 대한 실험 및 수치해석 연구가 수행되었다. 주요 결론은 다음과 같다.

국내에서 주로 사용되고 있는 정온식 열감지기 3종류에 대한 장치물성 측정을 위하여 Fire Detector Evaluator (FDE)가 사용되었으며, 화재모델링의 입력변수인 작동 개시온도와 반응시간지수(RTI)가 측정되었다. 동일한 공칭 작동온도를 갖는 감지기들의 실제 작동 개시온도는 센서의 종류에 따라 큰 차이를 갖는다. 감지기의 설치위치와 화원과의 거리에 따라 천장 제트유동(Celing jet flow)과 수직 제트유동(Vertical jet flow)로 구분되어 RTI 값이 측정되었으며, RTI 값은 감지기 센서의 종류 및 외부 형상에 따라 큰 영향을 받게 됨을 확인하였다. 특히 바이메탈 방식은 써미스터 방식에 비해 상당히 작은 열적 민감도를 갖고 있으며, 고온의 연소생성물의 유입 방향에 따라 RTI 값은 매우 큰 차이를 보이고 있다.

측정된 장치물성이 입력된 FDS의 결과는 감지기 작동시간의 관점에서 실규모 구획화재의 실험결과를 5%~25%의 범위 내에서 적절히 잘 예측하고 있음을 확인하였다. 반면에 FDS에서 제시된 기본 물성을 적용한 경우 실제 감지기의 작동시간을 50%~75%의 범위 내에서 과대예측함을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 화재모델링을 이용한 정확한 허용피난시간(ASET) 및 요구피난시간(RSET)을 평가하기 위해서는 국내에서 적용되고 있는 다양한 화재감지기의 장치물성 측정이 절대적으로 요구됨을 알 수 있었다. 향후 보다 다양한 열감지기의 장치물성 측정 및 DB를 구축하고 FDS 내에 차동식 및 보상식 열감지기에 대한 수치모델을 추가할 예정이다. 본 연구결과는 현재 국내에서 진행 중인 초고층 건물의 성능위주 소방설계에 대한 신뢰도를 개선시킬 수 있는 매우 중요한 기회를 제공할 것으로 기대된다.

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. K. H. Kim and C. H. Hwang, "Measurement of the Device Properties of a Ionization Smoke Detector to Improve Predictive Performance of the Fire Modeling", *Journal of Korean Institute of Fire Science Engineering*, Vol. 27, No. 4, pp. 27-34 (2013).
7. D. T. Gottuk and A. T. Pomeroy, "Heat Detector RTI - New Developments", *Fire Suppression and Detection Research and Applications - A Technical Working Conference*, Orlando, Florida (2011).
8. S. Nam, L. P. Donovan and J. G. Kim, "Establishing Heat Detectors' Thermal Sensitivity Index through Bench-Scale Tests", *Fire Safety Journal*, Vol. 30, pp. 191-215 (2004).
9. S. Nam, "Predicting Response Times of Fixed-temperature, Rate-of-rise, and Rate-compensated Heat Detectors by Utilizing Thermal Response Time Index", *Fire Safety Journal*, Vol. 41, pp. 616-627 (2006).
10. Factory Mutual, "FM 3209 American National Standards for Evaluating the Response Time Index for Fixed, Rate of Rise, and Rate Compensated Heat Detectors" (2008).
11. A. T. Pomeroy, "Analysis of the Effects of Temperature and Velocity on the Response Time Index of Heat Detectors", *Masters of Science, Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland* (2010).
12. H. C. Ryu, S. H. Tae and B. K. Lee, "Response Time Index and Operation Time of Fixed Temperature Heat Detector", *Journal of Korean Institute of Fire Science Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 11-16 (1993).
13. K. McGrattan, S. Hostikka and J. Floyd, "Fire Dynamic Simulator (Version 5): User's Guide, NIST Special Publication 1019-5, NIST, Gaithersburg, MD (2009).
14. A. Tewarson, "Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires", *SFPE Handbook of Fire Protecting Engineering*, Social Fire Protection Engineers (1995).