B-15

성능적인 화재안전성평가를 위한 주요가연물의 화재성장율 예측에 관한 연구(1)

서동구* · 김동은* · 김봉찬** · 권영진**
호서대학교 소방방재학과 박사과정* · 석사과정**
호서대학교 소방방재학과 교수·공박***

A Prediction study on the Fire growth rate of Combustible for Fire Safety Assesment of PBD(1)

Seo Dong Goo* · Kim Dong Eun* · Kwon Young Jin**
Fire Disaster Protection of Hoseo Univ.

요 약

본 연구는 건축물의 초기화재성상의 주요인자인 화재성장율 예측을 위하여, 일본 松山모델을 사용하여 예측값을 도출한 결과, 화재성장율은 $0.0144t^2$로 나타났다. 또한 이를 실규모실험(ISO-9705)와 FDS 해석값과 비교한 결과, Q_{peak}을 고려한다면 신뢰할 수 있다고 판단 할 수 있지만 약100초 이상의 결과에서는 환기인자 등에 관한 변수에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

1. 서 론

건축물에 있어서 성능적인 피난안전성평가를 위해서는 화재실의 초기화재성상을 예측하는 것이 매우 중요하다. 화재초기에는 화재성장율(화재확대속도), 가연물의 최대발열속도. 가연물의 분포상황), 천정·바닥 등 고정가연물의 연소확대 등이 초기화재성상의 주요요인이다. 이 중 화원의 발열속도는 일반적으로 화재성장율 α[kW/s^2]를 사용하여 αt^2으로 표현되는 것이 일반적이다.

화재성장율 α는 수납가연물의 화재전파에 의존하는 가연물의 양, 재질 및 배치상황 등에 밀접한 관계가 있다. 이에 대하여, 기존의 연구[1)]에서는 사무소에 대하여 가연물중량이나 가연물표면적을 측정하여 가연물의 평균적인 배치상황조사와 화재성장율 α와 가연물 특성과의 관계를 찾아내는 연구를 진행하였다. 또한 연소실험에 기초를 두는 화재성장율(α_e)와 화재보고에 기초를 두는 화재성장율(α_s)를 검토하는 연구가 진행되고 있다[2)]. 특히 한국은 건축물의 초고층화 및 대형화로 인하여 제도적으로 성능설계 및 화재영향평가 등이 의무적으로 시행되고 있어 화재성상을 전반적으로 예측할 수 있는 모델이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 화재성상 중 초기의 화재성상을 예측하는 방법의 일환으로서, 주요가연물 조사를 통한 화재성장율 α을 도출하는데 목적이 있다. 화재성장율을 도출하는 것에 있어서는 기존에 한국의 주거시설에서 조사된 가연물배치모델[3]을 토대로 일본 松山의 연구의 화재성장율 예측모델을 사용하였으며, 또한 단일구획공간에서의 화재성상실험을 실시하고, 또한 이를 FDS(Fire Dynamics Simulator)을 활용하여 초기화재성상과의 비교를 수행하였다.

3. 단일구획공간실험 및 화재성장율 산정 모델

3.1 단일구획공간의 실험개요 및 FDS모델링 개요

Figure 1은 주거시설의 가연물배치모델에서 개인방의 가연물 배치를 설정한 것이다. ISO-9705 Room Corner Test의 실험규격에 준하는 3.6(W)×2.4(D)×2.4(H)의 크기로 설정하였으며, 화염의 전파 및 주변온도분포를 측정하기 위해 CCTV(3대)설치와 K-type열전대를 설치하였지만 본 연구에서는 발열속도[kW]에 대한 내용만을 설명한다. 가연물의 크기(W×D×H)[m], 노출표면적[m^2]과 중량[kg]은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

또한 Table 2는 FDS의 모델링의 개요를 나타낸 것으로서, 가연물의 단위면적당 발열속도에 대한 값은 호서대학교 가연물DB를 사용하였다.

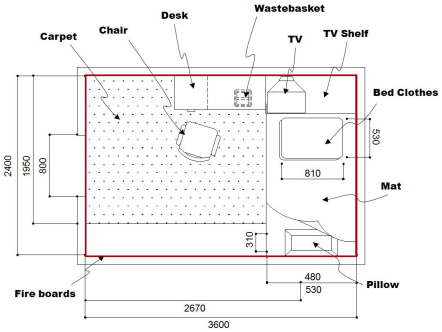

Figure 1. Deployed model of combustible

Table 1. detailed data of combustible

가연물명	SIZE (W×D×H)[m]	노출 표면적[m^2]	가연물 중량[kg]
TV	0.50×0.45×0.47	1118.0	3.53
TV Shelf	1.20×0.50×0.40	828.8	23.35
Carpet	1.95×2.67×0.01	410.3	3.15
Desk	1.20×0.45×0.67	1659.1	33.15
Chair	0.54×0.57×0.77	1434.8	9.4
Mat	1.19×2.00×0.02	223.1	2.75
Bedclothes	0.81×0.53×0.03	429.4	1.7
Pillow	0.48×0.31×0.07	148.9	0.4
Wastebasket	0.22×0.22×0.41	0.4	0.75

Table 2. Summaries of FDS modeling

구분	내용
Cell Size [m]	0.1(W)×0.1(D)×0.1(H)
Number of cells for mesh	75,000
Combustibles input data	호서대학교 데이터베이스
HRRPUA [kW/m^2]	10 [kW/m^2] ; 착화원(휴지통)

3.2 화재성장율의 산정방법

NFPA 72[4]에서는 가연물의 화재성장율의 계수를 Slow=0.0066, Medium=0.0469, Fast=0.1876 및 Ultra-fast≥0.1876으로 구분하고 있다. 건축물내에 있어서 수납가연물의 연소특성을 일반적인 경우에 대해 생각하면, 화재성장율은 목재의 발열속도보다 극도로 높은 연소특성은 아니기 때문에 평균적인 연소특성으로서, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_f = 0.0469t^2 \tag{3}$$

여기서, 0.0469의 계수는 화재성장율 α_{SINGLE}[kW/s^2]의 계수이다. 가연물의 최대발열속도 Q_{peak}[kW]는 가연물 표면적[m^2]와 면적당 발열속도[kW/m^2]에 의해 산출된다. 실험결과 최대발열속도는 2,572[kW]로서, 松山가 제시한 식(4)를 이용하여, 3,000[kW]으로 산출하는 것으로 한다. 여기서, W는 가연물의 중량[kg]이다.

$$90W^{2/3} \tag{4}$$

또한 화염으로부터 복사에 의한 착화는 화염으로의 복사가 지향성 없는 4π입체각에 대하여 한결같이 방출되는 것으로 생각하여, 이격거리에 따른 입사열유속q''[kW/m^2]은 식(5)와 같다.

$$q'' = \frac{1}{4\pi X_{ave}^2}\frac{Q_f}{3} \tag{5}$$

여기서, q''는 입사열유속[kW/m^2], Q_f는 가연물의 발열속도[kW], X_{ave}[m]은 가연물간의 평균이격거리이다. 일반적으로 복사열로 잃어버리는 비율은 0.15-0.6[5]의 범위로 발생함에 따라 1/3의 비율계수를 적용하였다. Table 2는 이상의 내용의 도출되는 값을 정리한 것이다.

Table 2. The Input data used in Prediction of Fire growth Rate

계산범위의 바닥면적 [m^2]	가연물밀도 [kg/m^2]	총가연물 중량 [kg]	가연물대수 [대]	가연물1대당 가연물중량 [kg/대]	가연물 개수 [개]	가연물 중량 [kg]	가연물간 거리 [m]	화재성장율 [kW/s^2]
8.64	9.04	78.18	9	8.69	36	19.55	0.545	0.0144

4. 실험결과와 예측값과의 비교분석

Figure 2는 실험 및 FDS 해석결과의 발열속도를 화재성장율의 값과 비교한 것이다. 여기서, 가연물의 총 화재성장율[kW/s^2]는 각각 식(6),(7)에 의해 도출하였다.

$$Q(t) = \pi\left(\frac{Q_{peak}}{t_{ig}^2}\right)t^2 \tag{6}$$

$$\alpha = \pi\left(\frac{Q_{peak}}{t_{ig}^2}\right) \tag{7}$$

가연물조사결과에서 도출된 화재성장율α는 0.0144이며, 이를 실험치와 FDS 해석치와 비교하였다. 실험치의 경우 초기화재성장이 467초부터 상승하여, Q_{peak}값(499초)에 도달하였으며, FDS해석결과는 413초에 Q_{peak}값(1243[kW])에 도달하였다. 또한 화재성장율(0.0144 t^2)은 457초에 Q_{peak}값이 나타났다.

실험의 착화시간[τ_{grow}]은 측정센서에 발열량의 도달시간이 지연되는 현상과 더불어 개구부의 환기인자 등의 영향을 받아 차이가 발생한 것으로 판단된다. 하지만 실험결과값과 비교하면, Q_{peak}에 도달하는 시간이 약 40[sec]정도의 차이가 있어 안전율와 개구부의 환기인자를 고려한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

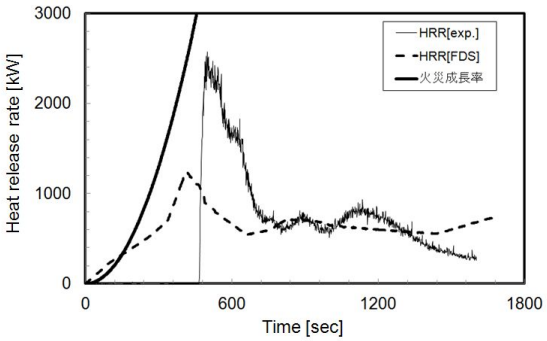

Figure 2.

5. 결론 및 향후연구방향

건축물의 화재안전설계를 위하여, 주거시설의 단일구획공간에서 실시한 가연물조사를 토대로 화재성장율α을 예측하고, 이를 실험실측값와 해석값(FDS)와의 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 최대발열속도Q_{peak}[kW]와 화재성장율α[kW/s^2]의 관계를 통한 모델을 통해 각 가연물조사결과의 화재성장율은 $0.0144t^2$로 도출되었다.

(2) 초기화재성상을 예측하기 위해서는 가연물조사의 관계를 통해 가연물밀도[kg/m^2]와 화재성장율과의 관계를 통해 Q_{peak}이전단계까지의 발열속도를 간단히 구할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 시간의 흐름이 약100[sec]이상이 지나면, 개구부와 밀접한 관계를 가짐으로서 개구부의 이격거리를 고려한 설계방안이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발 과제 1665005762 [NEMA-차세대-2011-3] 지원에 의하여 수행하였으며, 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 松山 賢, “性能的火災安全設計に用いる火災性狀モデルの構築と火災安全性能評價への應用”, 東京理科大學 博士論文, 2000, pp.13-52
2. 出口 嘉一, “リスクの概念に基づく避難安全設計法に關する硏究-その1”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2010.9, pp.3166-3167
3. 김동은 외4인, “Cone Calorimeter와 Furniture Calorimeter를 활용한 주거시설의 대표적 가연물 연소 특성”, 한국화재소방학회 2011년 추계학술논문발표회 논문집, 2011, pp.193-196
4. NFPA72A、″National Fire Alarm Code″、2002、p. 172
5. 권영진, “PBD를 위한 화재역학”, 동화기술, 2011, pp.221-222