

존모델의 공간특성

김운형, 김종훈, 김홍*, James. A. Milke**

경민대학 소방안전관리과, 호서대학교*, Univ. of Maryland. USA**.

A Sensitivity of Compartmentation in Zone Model FASTLite

Kim, Woon Hyung, Kim, Jong Hoon, Kim, Hong*, James. A. Milke**.

Kyung Min College, Hoseo Univ.*, UIniv. of Maryland. USA.**

1. 서론

지난 20~30년 동안 화재위험성분석을 위한 화재예측기법의 발전은 지속적으로 이루어져 왔다. 특히 많은 계산과 복잡한 수식의 해석을 요구하는 화재모델링의 경우는 매우 비약적인 발전이 이루어졌다. 1950년대 후반 처음 화재모델링에 관한 연구는 이에 관한 저술이 출판되었을 정도로 오래되었으며, 많은 연구자들의 노력으로 그 예측의 정밀도는 매우 높아지고 있다.¹⁾

화재모델링은 화재와 이로 인해 발생하는 여러 가지 현상을 예측하고 이에 대한 정보를 제공해주기 때문에, 우리는 이를 토대로 화재위험성을 예측하고 평가하며, 화재사건을 조사하기 위한 상황의 재구성, 화재실험분야에의 응용과 같은 분야에 사용되고 있다. 최근에는 이러한 화재모델링의 예측기법을 사용하여 건축물 방화설계 시 발생하는 문제점을 해결하는 성능기준화재안전규정이 전세계적으로 도입이 진행 중에 있다. 화재분야의 선진국가에서 화재모델은 연구실의 전유물에서 벗어나 실제 소방분야에 종사하고 있는 소방엔지니어들과 컨설턴트들, 그리고 관련종사자들이 실제 그들의 업무에 효과적으로 사용할 수 있도록 많은 노력이 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 선진국들의 여러 가지 노력과는 달리 국내에서는 아직도 일부 전문가들의 전유물로 사용되고 있으며, 일반 소방분야 종사자들에게 화재모델은 그 용어조차 아직도 생소하게 느껴지고 있는 실정이다.

그러므로 본 글의 존 모델의 특성과 한계 그리고 공간특성에 따른 모델 결과를 분석하였다.

2. 화재 모델의 개요

화재모델은 아래와 같은 구성요소의 분석과정과 분석 정도, 해상도, 모델의 불확실성 등에 따라 모델의 특성과 종류가 결정된다. 화재모델의 주요 구성 요소는 다음과 같다.

- 화원
- 화재 플럼
- Ceiling Jet
- 연기 층
- 개구부
- 환기시스템
- 공간 구조
- 보호 대상물 (거주자, 설비 등)
- 소화 및 감지설비

한편 표 1은 현재 사용되고 있는 대표적인 화재모델을 분류하고 그 특징을 기술한 것이다.

표 1. 화재 모델의 분류와 특징

	특징	모델
존 모델	2개 층 구성 단순한 가정 난류해석의 한계 1-D 가정 P.C 사용 시간 절약	ASET BRI CFAST FPETOOL FASTLite HAZARD I
필드 모델	수 많은 셀간의 질량, 모멘텀, 에너지 이동 대용량 컴퓨터 사용	FLOW3D JASMINE PHOENICS
피난 모델	최단 피난시간 예측 정성적 요소의 적용 한계	EVACNET HAZARD 1 SIMULEX EXODUS
내화 모델	구조재의 열적 반응 부재 형상, 부재 종류별 적용	TASEF FIRES T-3
감지 및 소화모델	감지기 및 스프링클러 작동시간 난류 화염의 부력 해석 한계	DETECT-QS LAVENT JET
기타 모델	연기유동 모델 화염확산 모델 환기 모델	ASCOS CONTAM BRANZFIRE

3. 존 모델의 분석

3.1 존 모델의 특성

공간에서 발생하는 화재는 그 현상이 매우 복잡하여 수학적으로 해석하기가 용이하지 않다, 구획내부에서 화재가 발생할 경우 구획내부는 화원에서 화염위로 분출되는 연기와 같은 연소생성물이 이루는 연기기둥(Fire Plume)이 있고 이 연기가 상부에 부력을 가지고 축적되어 형성되는 고온의 상부가스층(Hot upper layer)와 하부의 저온층(Lower layer)으로 구분된다. 각각을 검사체적(Control volume) 또는 영역(Zone)으로 하여 상호간에 미치는 영향을 시간에 따라 해석해 내는 것이 바로 존모델(Zone Model)이다. 현재 가장 일반적인 화재모델로 인식되고 있으며, 대규모 공간에의 적용이 어렵다는 것과 같은 단점도 있지만, 사용이 비교적 용이하다는 장점이 있다. 존모델의 사용 시 검토되어야 할 주요내용은 표 2와 같다.

표 2. 존 모델의 특성

입력 자료	내 용
공간형태	구형, 경사 또는 톱날 지붕, 창문없는 긴 복도, 개방된 계단실
마감재 열 성능	열전도율, 밀도, 비열, 열확산계수, 열적 관성
화 원	열분해 비율, 열 방출비율, 연공비, 연소열
가 연 물	배치, 단일재료/복합재료, 함수율
연소모드	불꽃연소/ 혼소, 산소 소비량의 변화
연소 생성물	산소 감소, 온도 상승효과
복 사 열	복사플럭스, 공기량, 흡수, 산란, View factor, 대공간의 온도분포
연소비율	시험방법, 발화시간, 화염확산, 임계복사 플럭스
기 타	실내온도, 플럼 공기유입량, 고온저온층의 혼합, 창문파괴, 천장 개구부, 개구부 수, 플래쉬오버 이후 조건,

3.2 FASTLite 존 모델의 공간특성

FASTLite는 미국의 NIST 산하에 있는 BFRL의 Fire Modeling and Application Group에서 제작되었다. FASTLite는 CFAST라는 공간화재모델과 FIREFORM이라는 계산도구가 하나의 프로그램으로 만들어진 것이다. CFAST는 Zone Model이며 엔탈피와 질량/시간의 변화를 예측하는 방정식들의 풀이를 기초로 하고 있다. 이 방정식들은 질량, 에너지, 모멘트의 보존법칙과 이상기체 상태 방정식에서 나온 공식들이다. CFAST는 화재의 성장과 확산을 수치학적으로 해석하기 위한 방정식들을 능률적으로 계산하기 위한 모델이라고 할 수 있다. FIREFORM은 FPETool에 있던 것으로 방화공학자들에게 필요한 사항을 쉽게 계산할 수 있도록 마련된 계산도구의 모음이라 할 수 있다.

FASTLite는 건축설계자, 방화공학자, 화재관련 법규제정자와 화재에 관련된 실무자들을 위해 제작되었으며, 그들이 화재 현상을 쉽게 파악하고, 원하는 자료를 쉽게 얻을 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

본 연구는 공간특성에 관련되는 입력자료의 영향을 평가하였다. 검증방법은 화재시나리오에 따라 한번에 한가지 입력 변수를 설정하고 나머지 입력자료는 Default 또는 대표적인 값을 사용하여 독립적으로 분석하였다.

- 1) 공간 형태 : 2개의 거실과 1개의 복도
 - 공간 1 : 2.44 (폭) × 3.66 (길이) × 2.44 (높이)
 - 공간 2 : 2.44 (폭) × 3.66 (길이) × 2.44 (높이)
 - 공간 3 (복도): 2.13 (폭) × 15.24 (길이) × 2.44 (높이)
- 2) 화재성장 곡선 : Medium
- 3) Level-off 시간 : 600초
- 4) 쇠퇴기 시간 : 1,200초
- 5) 바닥마감재 : Plywood
- 6) 천장마감재 : Gypsum
- 7) 화재공간 : 공간 1
- 8) 화원 위치 : 실의 중앙
- 9) 산소 최저한도 : 14%

표 3. 공간형태 시나리오

시나리오	공간수	공간 크기	건축재료
C-1	1	Default	Default
C-2	2	Default	Default
C-3	3	Default	Default
C-4	1	30.4 × 30.4 × 3.6	Default
C-5	1	499.8 × 499.8 × 9.1	Default
C-6	1	Default	Brick
C-7	1	Default	Hard Board (1/2")
C-8	1	Default	Particle Board (1/2")
C-9	1	Default	Carbon Steel (1/8")
C-10	1	Default	Plate Glass
C-11	2	1 (Fire) - Default 2 7.6 × 7.6 × 9.1	Default
C-12	2	1 (Fire) - Default 2 Default	Default

3.3 분석

각 시나리오에 대한 고온층 온도, 연기층 높이 결과를 도표로 표시하였다. 화재시간은 1800초를 적용하였다. 2개이상 공간의 경우는 플래시오버 이후의 계산에 많은 시간이 소요되었다. 전반적으로 플래시오버 이후의 시간 경과에 따른 예측결과의 변화는 크지 않았다. 따라서 다수 공간의 경우 플래시오버 이후 계산을 포함하여 화재시간은 350초로 제한하였다. 예측 결과 중 고온 층 온도와 연기 층 높이를 분석대상으로 선정하였다.

그림에서 C-1의 최대 온도는 거의 2,800K에 도달하고 있어 현실성이 없다. Law 의 공식(1983)에 의하면 default 공간의 최대 예상온도는 1,470K (1,200℃)이다. 다수 공간의 최대 온도는 약 1,770 K 이며 Law 계산식보다 300K 정도 높지만 보다 근접한 결과를 보여주었다. C-2, C-3에서 최대온도는 350초 경에 도달되었지만 C-1은 약 500초로 나타났다. 그러나 C-1의 350초 시 온도는 약 1,500K이다. 연기층의 높이를 예측한 결과는 세가지 시나리오 모두 적절한 것으로 보인다. 초기에 연기층이 급격하게 하강하지만 바닥위 1.5m 부근에 도달하면서 하강속도는 완만하게 된다. (그림 2, 4, 및 6 참조) 따라서 연기층의 높이는 바닥으로 서서히 하강한다. 그러나 인접공간의 경우는 다른 결과를 보인다. C-2와 C-3의 연기층 높이는 C-1의 3m보다 낮은 2.4m에서 시작된다. 공간의 높이가 2.44 이므로 C-1의 연기층 높이는 부정확하다. 이것은 알고리즘 또는 자료기록 과정, 자료 전송과정의 오류로 판단된다. 또한 그림 6에서 약 100초 경과한 이후의 공간 2의 연기층이 화재공간 1보다 낮게 예측하는 비정상적인 결과로 보이고 있다. 이

러한 현상은 3개 공간을 가지는 시나리오에서 빈번하게 발생되었다.

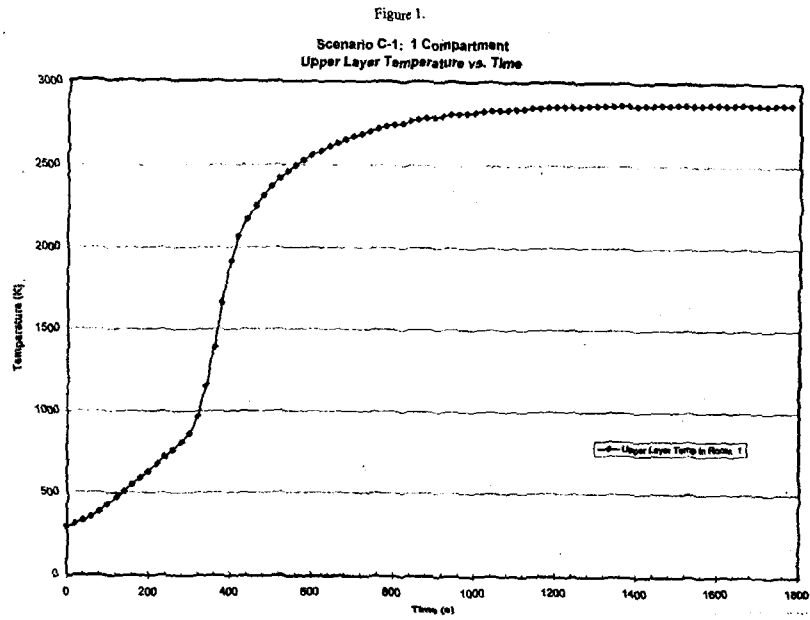


Fig. 1. C-1

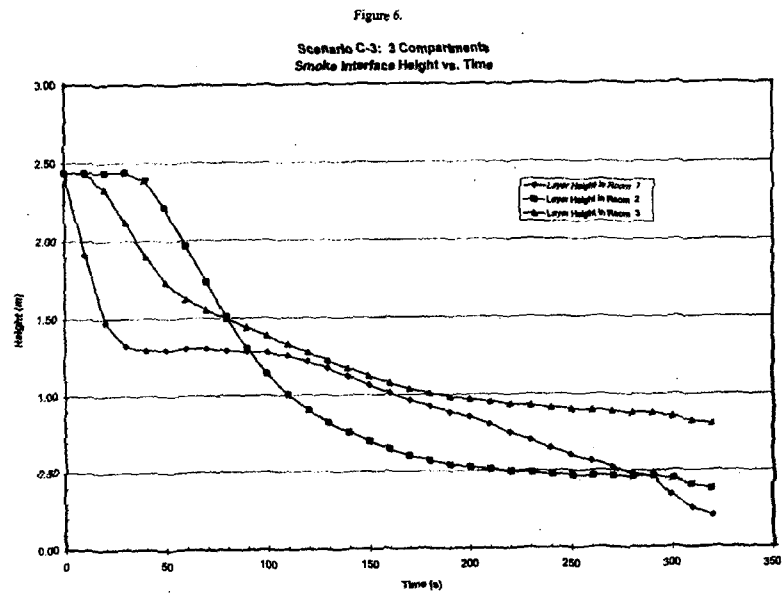


Fig. 2. C-3.

4. 맺음 말

화재 모델의 성능평가는 입력자료의 변화에 따른 영향(Model Sensitivity)연구와 예측능력평가(Evaluation)로 구분할 수 있다. 본 연구는 FASTLite의 공간특성에 관한 검증이다. 전반적으로 모델의 예측결과는 소수의 사례를 제외하면 공간화재 유동학의 기본 원칙에 부합하였다. 모델의 성능평가를 완결하기 위하여 향후 개구부, 화재선정, 감지 및 소화특성에 관한 입력자료도 검증되어야 한다.

참고문헌

1. C. Beyler and P. J. DiNenno, "Introduction to Fire Modeling" Fire Protection Handbook. NFPA, 1997.
2. R. Friedman, "An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Protection Engineering, 4(3),1992, pp. 81-92.
3. A. N. Beard, "Fire Models and Design", Fire Safety Journal, 1997, pp. 117-138.
4. 김운형, 윤명오, E. R. Galea, EXODUS 피난모델의 검토, 한국화재소방학회 춘계학술발표회, 2000. 4.