

국외 FDS 연구동향 및 적용사례 분석

이랑* · 김동은* · 김봉찬* · 이재원* · 권영진**

호서대학교 소방방재학과* 호서대학교 소방방재학과 교수**

A Study on the Trends of Research and Application of FDS in the Overseas Country

Lee, Rang* · Kim, Ding Eun* · Kim, Bong Chan* · Lee, Jae Won* · Kwon, Young Jin**

Fire & Disaster Prevention of Hoseo Univ* · Professor/Ph.D, Dept. Fire &
Disaster Prevention of Hoseo Univ**.

요 약

최근 국내의 경우 FDS를 이용한 성능설계, 화재영향평가 및 피난안전성평가와 더불어 화재조사분야에 이르기까지 다양한 분야에서 활발하게 사용되고 있는 반면 FDS의 소스코드의 분석 및 검증등과 관련한 연구는 매우 미비하며 그결과 또한 구체적인 문제점제시보다는 FDS를 활용하여 실험결과와를 대비하는 수준에 머물러 있는 상황이다. 따라서 본연구는 FDS의 검증을 위한 외국사례를 조사분석하여 향후 국내에서 FDS의 활용시에 대한 주의점 및 향후 한국에서의 활용을 위한 개선방안을 도출한 것이다.

1. 서 론

최근 소방법의 성능설계와 더불어 화재영향평가 및 초고층지하연계특별법의 재난영향평가등을 수행하기 위한 화재시물레이션에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며 또한 제조물책임법과 실화책임에 대한 법률제정등에 따라 이러한 수요는 더욱 증가될 것으로 사료되며 더 나아가 이러한 배경으로 화재조사등에 대한 분야에도 이러한 화재시물레이션은 상당히 중대한 보조입증자료로서 작용할것으로 사료된다. 이러한 상황에 따라 미국 NIST에서 개발된 FDS의 활용은 매우 증가할것으로 판단되나 국내의 경우 이에 대한 체계적인 검증조차 이루어지고 있지 못한 상황에서 무분별하게 적용되고 있는 상황이다. 따라서 본연구는 FDS의 검증을 위한 개발자인 NIST뿐만아니라 세계각국에서 검증했던 사례를 토대로 향후 국내에서 적용시 참고할수 있는 자료로서 제시하고자 한다.

2. FDS 검증을 위한 외국의 연구 및 적용사례동향분석

화재성상의 예측은 설계시 및 화재조사시에도 매우 중요한 인자이며 따라서ASTM에서는 화재모델에 대한 사양을 평가하는 표준적인 방법인 4가지 단계로 평가하는 것을 2005년에 제시한바있다¹⁾. 한편 지금까지 FDS의 검증은 주로 개발자와 외국의 주요 연구기관에서 연구자들에 의하여 이루어졌다. 이러한 연구결과를 토대로 FDS Technical Reference

Guide²⁾는 이러한 검증작업을 간결하게 제시하고 있으나 상세한 정보는 제공하지 못하고 있다. 지금까지 이루어진 FDS의 검증을 위한 연구는 다음과 같은 내용으로 정리될 수 있다. ① 코드평가를 위한 실물크기의 실험을 통한 비교 ②공학적상관성을 위한 비교 ③이전에 수행된 실물크기실험결과와의 비교 ④표준적인 시험결과와의 비교 ⑤문헌적인 화재시험 결과와의 비교

2.1 NIST에 의한 검증

2.1.1 공개전 버전에 대한 검증

화재현상재현을 위한 CFD의 개발은 NIST에서는 매우 오래전에 시작되었고 이러한 초기모델은 유체역학모델에 집중되었으나 점차적으로 LES형태로 개발되었으며 FDS가 처음으로 출시된것은 2000년 2월이다. 공개되기 이전단계에 검증된것중 대표적인 것으로는 1990년대 중반에 McGrattan³⁾이 실시한 항공기격납고의 대형화재실험으로서 주로 플룸 및 천정젯의 온도측정을 목표로 길이24.4M 폭18.3M 깊이3.7M의 구획에서 가변적인 5개의 팬을 사용한 화재실험을 실시한후 화재모델의 해석치와 비교하였다.

본 연구결과 NIST-LES모델의 경우 플룸의 중앙온도를 예측하는 것은 38%, 천정젯의 온도는 62% 천정젯유속은 40%의 정확도를 보였으며 대체적으로 NIST-LES모델은 CFX 및 다른 CFD모델과 비교하여 매우 저조한 예측도를 나타내었다.

2.1.2 터널분야(Howard Street Tunnel)에 대한 검증

2001년 7월에 발생한 철도터널의 화재에 대하여 McGrattan 과 Hamins⁴⁾가 FDS V2를 사용하여 터널화재성장과 확산에 대한 연구를 수행한사례이다. 터널의 화재성상예측을 위하여 메모리얼 터널화재실험결과와 대비하였으며 실험계획으로서 화원의 크기는 20MW급과 50MW급으로 하여 자연환기조건에서 실시하였다.,

본 연구결과 피크천정온도가 실험결과인20MW급에서는 600℃ 50MW 800℃와 대비하여 해석치는 양측모두 약50℃의 차이를 보임으로서 각각6~9%차이가 나타났다.

2.1.3.세계무역센터 조사를 통한 FDS검증⁵⁾

WTC붕괴사고에 대한 조사의 일환으로서 열적상황 및 내력상황에 대한 재현을 위하여 FDS V4가 사용되었고 화재현장의 FDS의 정확도를 검증하기 위하여 대형사이즈의 실험이 NIST에서 2003년에 실시되었다. 각 구획공간에서의 열방출률과 열환경이 FDS V4를 통하여 시뮬레이션되었으며 실험결과와 대비되었다.그 결과는 다음과 같다.

- ① FDS는 시간에 따른 열방출률에 대하여 전반적인 형태와 크기를 잘 표현하고 있다.
- ② FDS는 에너지의 반이 소산되는 시기를 측정치와 대비하여 약 22%전후하여 또한 열방출률의 값을 측정치의 9%전후하여 예측할수 있다
- ③ FDS는 화재시의 가열지속시간을 측정치와 대비하여 약15%오차정도로 예측할수 있다. 그러나 열방출률의 형상은 매우 낮게 평가 되고 있었다.
- ④ FDS는 상층부 가스의 피크온도치를 실험결과와 대비하여 약10%정도의 오차가 있었으며 모델의 정확도를 위하여는 열방출률과 측정의 불확실성에 대한 패러미터를 고

려하여야 하는점이 중요한 것으로 재인식되었다.

이러한 결과로부터 FDS의 WTC 조사를 통하여 구획환경에서의 열환경에 대한 예측을 위한 FDS의 사용은 매우 긍정적이라는 결론을 얻을수 있었다.

2.1.4 NRC/EPRI 프로그램의 부분으로서 FDS의 검증⁶⁾

미국 원자력조절위원회와 전력연구소는 공동연구로서 원자력 플랜트적용을 위한 화재 모델에 대한 검증을 목표로 ASTM E 1355에 따라 5개의 해석모델을 평가하였으며 FDS는 해석에 사용된 유일한 CFD모델이었다.

원자력플랜트의 전형적인 12개의 화재시나리오가 선정되었고, 화재모델을 검증하기 위한 실험데이터는 국립시험소, NIST 및 국제공동연구(미국, 독일 및 핀란드)의 실험결과를 통하여 모델들은 분석되었다. FDS의 예측도는 ①높은온도층의 온도와 높이②천정층의 온도③플룸의 온도④화염높이⑤ 대상물에 대한 복사열유속⑥대상물 및 벽등에 대한 총열유속 ⑦벽 및 대상물의 온도⑧연기 및 산소농도⑨거실압력등에 대한 평가를 실시하였고 1. 계산을 수행하는 모델의 물리는 적절한가? 2. 실험과 모델의 계산된 차이는 불확실성의 밖인가? 라는 2가지 평가기준에 따라 양쪽모두만족하는 경우는 그린등급, 첫째는 만족하나 둘째 불확실성의 밖이라면 노란등급, 그리고 첫째를 만족시키지못한 경우는 붉은 등급으로 평가하였다. 그결과 FDS의 경우 고온가스층의 온도와 고온층의 높이, 산소농도 및 거실압력에 대하여는 그린등급을 받았으나 기타의 분야는 노란등급을 받음으로서 이것은 FDS의 사용자는 특별한 양을 예측하기위하여는 반드시 주의깊게 연습하여야 한다는 것을 의미하고 있다.

2.2 NIST이외의 검증

2.2.1 핀란드 VTT에 의하여 수행된 FDS의 검증⁷⁾

VTT의 화재연구그룹은 FDS의 개발에 적극적으로 관여하여왔으며 이 연구그룹은 FDS4를 사용하여 화염확대성상을 다양한 실험결과와 비교검토하였다. 실험내용으로서는

① 콘칼로리미터실험 ②SBI 실험 ③룸코너실험 ④퍼니처칼로리실험⑤ ISO룸실험⑥실대 사이즈실험등을 사용하여 목재, MDF보드, PVC 벽지와 석고보드 천으로 장식된 가구 ,플라스틱으로 마감된 케이블등에 대한 다양한 재료와 실험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 주요한 성과는 다음과 같다.,

① 목재와 합성보드등을 포함하는 콘칼로리미터실험의 경우 FDS는 실험의 초기상태는 매우 잘예측하였으나 HRR커브중 2번째 상승곡선은 예측하지 못하였고 목재와 MDF보드를 포함하는 SBI시험의 경우 FDS는 목재의 초기반응을 매우 정교하게 재현하였으나 샘플들의 열침투시간에 이후에 계산된 HRR커브는 실험값과 매우 상이하게 나타나는 점을 지적하였다. 저자는 이면의 시험체의 경계조건이 정교하게 모델화되지 못한것에 있는 것으로 검토하고 있다.

② 목재와 MDF보드를 포함하는 룸 코너시험의 경우에는 HRR커브는 실험결과와 매우 유사하게 예측되었으며 또한 최대구획 온도 또한 잘 재현되었다. PVC카펫과 석고보드를 포함하는 룸코너시험에서는 플래시오버가 발생하지 않았으나 FDS에서는 많은 차이를 보였다.

③ 목재의 연소 확산 실험에 있어서 FDS는 화재 현상 중 화재감쇄기등에 대한 현상을

예측하지 못하였다. 그러나 화재거동의 불안정한 상태등을 고려하면 저자는 FDS는 가능성이 있는 것으로 평가하였다.

④ ISO 룬과 퍼니처칼로리미터등의 시험에서는 FDS는 실험데이터와 비교하여 빠른 착화 와 HRR성장을 보였다. 이러한 차이는 FDS모델의 경우는 퍼니처의 PU성분에 대한 빠른 착화모델만 있는 것에 기인하는 것으로 판단되었다.

본 연구결과 대체적으로 실험데이터와 해석데이터의 일치는 몇가지 불일치점이 있다고 하더라도 매우 우수한 일치성을 보여주고 있는 것으로 평가되었다.

2.2.2 기타연구

기타의 연구로는 Clement는 LES모델의 우수성을 증명하였고, Harrison은 FDS는 특히 개구부 및 모서부의 유속예측의 우수성을 검토하였으며,Zou는 포스트플래시오버후의 복사열유속과 온도예측에 FDS가 매우 만족할만한 결과를 보여준 것으로 서술하고 있다. 또한 Moghaddam의 연구에서는 데이터베이스의 부족을 지적하였으며 HRR값이 잘정비되어있으면 FDS의 추정도는 매우 만족할만한 것으로 결론을 내고있다.Anders8)는 낮은환기시의 FDS의 적용에 대한 위험성을 경고하고 있다.

3. 결 론

본 문헌조사결과 FDS의 경우에도 개발초기에는 저조한 예측도를 보였으며 지속적인 연구를 통하여 업그레이드됨에 따라 현재는 많은 부분에서 훌륭한 예측도를 보이고 있으나 아직 개선의 여지는 많은 것으로 판단된다. 따라서 FDS가 국내에서 적용되기위한 선행조건으로서는 국내 가연물에 대한 열특성치 특히 HRR값등에 대한 데이터베이스구축이 절실하고 가연물들에 대한 착화 및 연소모델등에 대한 재검토와 더불어 환기조건을 고려한 화재성상에 대한 재검토 특히 플래시오버발생시기 및 감쇠기등에 대한 예측등에 대한 철저한 분석이 요망된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. ASTM E 1355, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Model. 2004
2. K. McGrattan, FDS(V4, V5) Technical Reference Guide. NIST Special Publication
3. McGrattan et al, Comparison of fire model prediction with experiments conducted in a hanger with 15 meter ceiling. NISTIR 5927, NIST, Maryland, December 1996
4. McGrattan et al, Numerical Simulation of the Howard Street Tunnel Fire, July 2001, NISTIR6902, NIST
5. McGrattan et al, Experiments and Modeling of Multiple Workstations Burning in a Compartment, NIST NCSTAR1-5E, NIST 2005
6. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications.Volume 1: Main Report, US. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research 2006
7. J. Hietaniemi S. et al, FDS Simulation of Fire Spread-comparison of model results with experimental data., VTT Working Papers 4, Espoo, 2004
8. Anders Bjorklund, Risks in using CFD-codes for analytical fire-based design in building with focus on FDS ; handling of under-ventilated fire, Report 5381, Lund 2009