

화재감식 시뮬레이션 개발을 위한 국외 대표적 화재 시뮬레이션 비교 분석

이정현 · 김학철

플로우 플러스 주식회사

For Development of Fire Identification Simulation Comparative Analysis of Foreign Representative Simulation

Lee, Jung Hyun · Kim, Hak Chul

FLOW PLUS CO., Ltd.

요 약

화재 시뮬레이션이라 함은 현실적으로 화재의 재현은 불가능한 관계로 컴퓨터를 이용하여 화재모델을 표현하는 방법을 취하는 것으로 이것을 시뮬레이션이라 하며, 이를 통하여 대상물의 특징을 해석 규명하여 현실화 한 것이 화재 시뮬레이션이다. 나날이 증가하고 있는 화재시뮬레이션의 필요와 중요성에도 불구하고 국내에선 개발자체가 지지부진한 상태이며, 급변 화재감식 시뮬레이션의 개발에 앞서 외국에서 사용되고 있는 화재 시뮬레이션의 비교 분석을 통하여 미력이나마 시뮬레이션 개발에 도움이 되고자 한다.

1. 서 론

화재 시뮬레이션을 이용하면, 건축물에서 화재가 발생하는 경우 건물에 설치된 감지 시스템 및 자동식 소화설비 등의 작동 여부에 따라 건물 내부의 온도 변화, 산소 및 일산화탄소 농도 변화, 연기유동 현상 등 화재 안전에 관련된 요소를 확인, 분석이 가능하기 때문에 건물의 화재 안전성을 검증하는데 활용할 수 있고 방재시스템 설계 조건을 변경하여 반복 시뮬레이션을 실시함으로써 보다 효율성이 높은 방재 시스템을 설계 및 채택할 수 있다. 또한 화재 시뮬레이션 결과를 감안하여 유사시 효과적으로 대응할 수 있도록 방재 계획을 수립할 수 있고, 건축물의 구조, 내장재 및 수용품에 대한 설계, 배치 등에 사용할 수 있으며, 화재사고조사 및 원인 규명에도 활용할 수 있는 등 화재 시뮬레이션의 활용분야는 광범위하다. 최근 국내에도 화재로 인한 인적/물적 피해와 화재 안전 설계에 대한 관심증가로 화재 모델에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 연구가 시뮬레이션을 이용한 결과 분석에 치중되어있고 화재 시뮬레이션에 관한 특성 연구 및 개발은 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 국내 실정에 적합한 화재 시뮬레이션을 개발을 위해 현재 국내에서 많

이 사용되고 있는 필드 모델(Field Model)을 기반으로 한 외국의 화재 모델인 FDS(Fire Dynamic Simulator)와 JASMINE(Analysis of Smoke Movement In Enclosures) 그리고 SOFIE(Simulation Of Fire In Enclosures)의 특성 비교 및 분석이 수행 될 것이다.

2. FDS의 특성 및 분석

FDS는 미국 표준 기술국인 NIST(National Institute of Standard and Technology)의 Kevin B. McGrattan에 의해 개발된 필드모델 화재 시뮬레이션 소프트웨어로 현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있다. 화재로부터 나오는 열과 연기의 거동에 주안점을 두고 있으며 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통한 비선형 Navier-Stokes 방정식의 수치해를 계산하여 유체의 유동을 예측한다. FDS의 결과는 후처리 소프트웨어인 Smokeview를 통해 입자흐름, 크기와 흐름 방향을 보여주는 흐름벡터와 온도와 같은 가스 흐름데이터를 2D 또는 3D 형태로 구성하여 공간 내 열, 연기의 거동을 시간에 따라 정밀하게 묘사가 가능하며, 또한 해의 수렴성과 안정성에서 문제가 발생하지 않으므로 화재나 연기의 이동에 효과적으로 적용할 수 있다..

2.1 FDS의 이론적 배경

- (1) 시·공간 2차 정확도를 갖는 explicit predictor-corrector 기법 사용
- (2) 난류 모델로 LES(Large Eddy Simulation) model을 사용하여 난류 유동 해석함으로써 화염과 같은 경우의 자세한 유동표현이 가능
- (3) Hydrodynamic Model - Navier-Stokes 방정식(열, 연기 거동에 주안점을 둠)

2.2 적용분야

- (1) 연소 및 기초적인 화재 역학
- (2) 연기 제어시스템의 설계
- (3) 스프링쿨러 / 감지기의 작동 관련 분야
- (4) 건물에서의 화재 재구성 및 검증

2.2 FDS의 한계성

- (1) 초음속 유동에서의 화재 시나리오를 포함하고 있지 않기 때문에 아음속 흐름에서만 적용 가능하며, 폭굉, 폭발 등 초음속 현상에 대한 해석 불가
- (2) 4각 격자만을 사용함으로써 곡면이나 기하학적으로 복잡한 형상에 대한 해를 구하기가 곤란
- (3) 화염의 성장과 확산에 대한 보완이 필요
- (4) 연소의 경우 온도에 주된 초점이 맞춰져 있으며, 이론적인 복사 해석은 가능하나 물성치의 불확실성이 큼
- (5) FDS는 기본적으로 Mixture Fraction Model을 사용함에 따라 산소농도가 충분할 때는 시험결과와 일치하지만 그렇지 않은 환기저배형(Under-Ventilated) 모델에서는 결과가 잘 맞지 않는 경향이 있음

3. JASMINE의 특성 및 분석

FRS에서 개발한 JASMINE(Analysis of Smoke Movement In Enclosures)은 연소로 인해 생성되는 화염의 확산에 의한 열과 물질 전달 과정을 해석하기 위해 CFD를 사용한다. JASMINE은 부력, 대류, 유입, 난류, 연소, 복사열등을 중점적으로 해석하기 위해 개선되어 왔다. 또한, 그래픽 인터페이스인 JOSEFINE를 이용하여 쉽고, 빠르게 화재중의 열적 특성과 가열 그리고 환기 조건들을 확인할 수 있으나, 국내에선 잘 알려져 있지 않은 실정이다.

3.1 JASMINE의 이론적 배경

- (1) Staggered Cartesian Grid를 유한체적기법(Finite Volume Method)을 사용
- (2) SIMPLEST를 기반으로 압력 보정을 수행
- (3) Upwind Discretisation을 이용하여 이산화를 수행
- (4) 난류 모델 해석 기법으로는 Standard k- ϵ , High Low Reynolds k- ϵ , RNG k- ϵ 을 사용
- (5) 화염의 강도가 비교적 높음

3.2 JASMINE의 한계성

- (1) 정렬격자를 사용함에 따른 복잡한 형상에 대한 해를 구하기 어려움
- (2) 현재까지의 개발 정도와 활용 자료들을 구하기가 어려움

4. SOFIE의 특성 및 분석

화재 시뮬레이션을 위한 필드 모델의 사용은 광범위하고 다양한 위험 시나리오의 평가와 사고 조사에서 점점 더 중요한 역할을 해오고 있다. 지금까지의 모델들은 건물 내부에서의 연기 움직임을 파악하는데 널리 적용되었고 성공적으로 입증되었다. 그러나, 화재 예측의 몇몇 중요한 양상에서의 진전 특히, 화염의 전파와 화염 성장과 관계된 분야에서는 신속하게 입증되지 못했다.

이에 유럽의 화재 과학단체에서는 좀 더 신속한 물리적, 화학적 필드 모델개발을 위한 통합 체제를 구성하게 되었고, 이러한 전제하에 SOFIE의 개발이 시작되었다. SOFIE의 개발은 다수의 유럽연합 화재 연구소들(핀란드의 기술연구센터(VTT), 스웨덴 국가 시험연구원(SP Boras), 화재연구소(영국)), CSTB(프랑스)), Lund 대학, (보건안전연구소(영국), 가정/사무실 화재 안전공학그룹(영국))의 협조하에 영국 Cranfield 대학에서 Dr.Philip Rubini에 의해 상업적으로 이용되는 CFD 코드들의 핵심적 특징을 통합하는 공간에서의 화재 예측을 위한 필드모델링 적용 코드의 취지하에 개발 되었다.

4.1 SOFIE의 이론적 배경

- (1) 유한체적기법(Finite Volume Method) 사용
- (2) 수치해의 대류항은 Upwind, Hybrid, OUIICK, SOUP, TVD Scheme 사용
- (3) 압력 보정은 SIMPLE, SIMPLEC 사용
- (4) 난류 모델 해석 기법으로는 Standard k- ϵ , k- ω transformed, Low Reynolds k- ϵ , RNG k- ϵ 을 사용
- (5) 기체의 광학 물성을 사용하여 이산 전달 복사 모델(Discrete Transfer Radiation Model)을 적용

4.2 SOFIE의 한계성

- (1) 곡선 격자(Curvilinear grid)를 사용함으로써 기하학적으로 복잡한 형상에 대한 해를 구하기가 어려움
- (2) 더 이상의 코드 개발은 이루어지지 않고 있으며 발견되는 버그를 수정하는 정도임
- (3) 유럽에서 사용되어 졌으나 SOFIE에 대한 해석 자료나 결과물은 찾기 어렵다.

5. 결 론

국외에서 화재 시뮬레이션의 개발은 오랜 세월 지속적으로 계속되어 왔다. 그중에서도 잘 알려진 FDS, JASMINE, SOFIE에 대해 여러 문헌을 찾아보고 하였으나, SOFIE나 JASMINE에 대한 자료는 쉽게 찾기가 어려운 실정이다. 아울러 국내에서도 잘 알려지지 않은 상태이며, 그나마 미국에서 개발되고 NIST에서 공개적으로 배포되고 있는 FDS가 국내에서도 많은 사람들이 사용하고 있으며, 본 논문에서는 JASMINE과 SOFIE에 비해 FDS에 대해 많은 서술이 있다. 이에 앞으로 좀 더 다른 시뮬레이션에 대한 자료 보강이 필요할 것으로 여겨진다. 앞으로의 화재감식 지원을 위한 시뮬레이션 개발이 현장에서 밤 낮으로 화재감식에 노고가 많은 여러 소방공무원, 경찰의 화재 수사관들, 보험사의 엔지니어들에게 언젠가는 도움이 되었으면 하는 바램이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 황준호, 정거성, 강동일 “3차원 화재시뮬레이션 해설” 동화기술
2. Kevin Mcgrattan “Fire Modeling: Where Are We? Where Are We Going?”
3. Stephen M. Olenick, Douglas J.Carpenter “An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke” Combustion Science & Engineering. Inc.
4. Jorgen Carisson “Fire Modeling Using CFD” Department of Fire Safety Engineering Report 5025