

컴퓨터 실내화재 모델링



김 언 국

RMS 대표
WPI 방화공학과 겸임교수

1. 머리말

성능위주의 소방설계에서 가장 핵심을 이루고 있는 부분은 화재 모델링이라고 할 수 있다. 왜냐하면 ‘성능위주의 소방설계’란 보호해야 할 대상물에서 발생할 수 있는 화재성상을 미리 예측하고 이에 알맞은

소방설계를 수행하는 것이며, 화재성상을 미리 예측하는 방법이 바로 화재 모델링이기 때문인 것이다.

화재성상을 예측하는 방법에는 두 가지가 있다. 그 하나는 실물 화재 실험을 행하는 것이고, 다른 하나는 모델링을 하는 것이다. 화재 모델링 방법은 다시 수학적인 모델링과 실험결과에 의한 모델링으로 나뉘어진다. 공동구와 같이 규모가 작은 공간이거나, 특수 가연 물질이 존재하는 경우 및 방재 설비의 성능을 검증해야 하는 경우를 제외하고는 실물 화재 실험은 시간과 경비가 많이 들게 되므로 화재 모델링 방법을 주로 사용하게 된다. 본론에서는 컴퓨터를 이용한 화재 모델링을 소개하려 한다.

2. 실내화재의 공학적 분석 방법 및 성능위주의 소방설계에 필요한 화재 특성

가. 실내화재의 공학적 분석

실내화재의 공학적 분석은 일반적으로 실내에 존재하는 가연물질이 단독적으로 연소하기 시작하여 실 전체에 화재가 번지게 되는 상황을 예측하는 것이다.

(1) 전전실화재(Pre-Flash Over Fire)

실내의 단일 연소물에서 화재가 발생하여 연소하고 있는 상태. 실의 크기, 환기 조건, 가연물의 종류 및 초기 화재의 크기 등에 따라서 환기 지배형화재(Ventilation Controlled Fire)와 연료지배형화재(Fuel Controlled Fire)로 나누어진다. 전전실화재 상태의 화재는 대부분 연료지배형화재가 되는데, 화재 초기에는 화재의 크기가 작아 실공간 내에 연소에 필요한 산소가 충분히 존재하기 때문이다.

(2) 전실화재(Flash Over Fire)

전실화재는 Flash Over Fire 혹은 Full Room Involvement 등으로 불리운다. 전전실화재 상태에서 가연물이 연소하면서 발생한 열에너지가 대류현상을 통하여 천장 부분의 공기층 (이를 천장류(Flame Jet)라 함)를 600°C 이상 가열

하게 되면 여기서 발생하는 복사열이 실내의 연소 가능한 모든 물질들을 분해시켜 가연성 가스를 방출시킴으로써 실 전체에 화재가 전파되는데, 이러한 실내화재 상태를 전실화재라 한다.

(3) 후전실화재(Post Flash Over Fire)

전실화재 이후의 화재 상태를 후전실화재라 부르며, 다시 환기 지배형 화재와 연료 지배형 화재로 나누어진다. 동일한 연료라 할지라도 환기 조건에 따라 최고 실내 온도 및 연소 지속 시간이 달라지게 되며, 연소에 의해 가연물질이 소모되면서 실내 온도가 하강 곡선을 그리게 된다.

실내화재의 공학적 분석은 화재 모델링을 통하여 이루어지며, 수학적 혹은 실험적 모델링 공식을 계산하여 실내의 온도, 연기높이, 산소 농도, 일산화탄소 및 이산화탄소 등의 농도를 예측하게 된다.

나. 소방설계에 필요한 화재 특성

다음은 화재모델링에서 계산한 화재 특성 결과의 종류 및 설계로의 활용 방안에 대한 설명이다.

(1) 화재발전속도

화재발전속도는 실내 체류 가능 시간을 결정짓는 주요 요소이며, 화재탐지기 및 스프링클러 작동 시간 등을 예측하는 주요 변수이다. 나아가서는 실 구조 및 환기조건과 함께 전실화재 발생 여부와 시간을 예측하는 주요 요인이기도 하다. 화재 발전속도에 관한 정보는 cone calorie meter를 사용하여 측정할 수 있는데, 대표적인 화재발전 속도는 NFPA Code 72E Automatic Fire Detector의 부록에서 구할 수 있으며, 특수 가연물의 경우 실험을 통해 구해야 한다.

시간의 변화에 따라 화재로부터 발생하는 열량은 다음의 공식으로 표현된다.

$$Q = at^2$$

여기서 a 는 화재성장속도상수이며 t 는 시간을 의미한다.

NFPA 72에 의한 a 값의 변화에 따른 화재성

장속도의 구분은 다음 표와 같다.

화재성장속도	a 값의 범위
Fast Fire	$a > 0.0444$
Medium Fire	$0.0062 < a < 0.0444$
Slow Fire	$0.0027 < a < 0.0062$

(2) 스프링클러 작동 시간 예측

보호하기 위한 실내 공간의 스프링클러의 작동 시간을 예측함으로써, 정확한 스프링클러의 설치 간격 및 열적 특성치를 선택할 수 있다. 여기서 열적 특성치란 스프링클러 작동 온도 및 열적 민감도를 말한다. 분사밀도(Spray Density)는 코드를 만족하는 것으로 간주하여 변수로 삼지 않는다. 그러나 스프링클러가 너무 늦게 작동하여 여러 개의 헤드가 동시에 개방되면 분사밀도가 떨어지게 되므로 화재를 진압할 수 없게 된다.

(3) 연기 발생량 및 이동 예측

연기는 호흡을 곤란하게 할 뿐 아니라 가시 거리를 떨어뜨려서 안전피난을 곤란하게 한다. 따라서 실내 및 복도의 연기 충전 상태를 예측하여 피난 가능한 시간을 판단한다.

(4) 실내 온도의 예측

실내 온도가 상승하면 의식을 잃게 되어 정상적인 피난을 할 수 없게 된다. 의식을 잃지 않고 피난을 지속할 수 있는 최고 온도는 100℃에서 110℃ 사이이다. 따라서 실내 온도의 예측은 연기 발생과 함께 피난 가능 시간을 판단하는데 필요한 요소이다.

(5) 안전피난 시간의 예측

안전피난시간은 거주인구밀도, 비상구의 폭, 피난 거리, 수평 피난 속도, 수직 피난 속도, 비상구 통과 속도, 비상계단 통과 속도, 출입구 개수 및 비상계단의 구조 등에 따라 영향을 받게 되며 화재 발생시부터 화재탐지기 및 피난 개시 시간까지의 추가 소요 시간을 더해야 한다. 체류 가능 시간 내에 안전피난이 이루어지지 못할 경우, 피

난 시간을 절감하든지 체류 가능 시간을 연장하여야 한다.

① 피난 시간 절감안

- 거주 밀도의 하향 조정
- 비상구 수의 증가
- 비상구 및 비상계단 폭 확대
- 피난 거리의 단축
- 탐지 및 경보 시간 단축
- 비상 훈련 강화

② 체류 가능 시간 연장안

- 배연, 열 설비의 설치
- 가연성 물질의 종류 및 사용량 제한
- 고정식 자동소화설비의 설치
- 실의 구조 변경

(6) 전실화재 발생여부 예측

화재 진압에 실패하여 실내화재가 지속되면 화재성장속도, 환기 조건, 내장재의 종류 및 실의 모양에 따라 전실화재가 일어날 수도 있고, 그렇지 않을 수도 있다. 일단 전실화재가 일어나게 되면, 실내의 모든 가연물질이 연소하게 되고 실내 온도가 매우 높아져서 건축 구조물이 열해를 입어 붕괴의 위험이 따르게 된다. 또한 전실화재가 발생하게 되면 화재 확산의 위험이 높아진다. 따라서 전실화재의 발생 여부를 판단하여 전실화재로 인한 피해를 감소시키고, 예측된 화재성상에 알맞은 성능위주의 소방설계를 시행한다.

(7) 창문을 통한 화재 전파여부 판단

전반적으로 창문의 크기가 커지고 있는 현대 건축물에서는 창문을 통한 화재 전파가능성이 매우 높다. 따라서 창문을 통한 화재 전파의 가능성을 미리 예측하고 이를 방지할 수 있는 방안을 강구하여야 한다.

3. 컴퓨터 프로그램 소개

실내화재를 모델링하는 데는 Zone Modeling과 Field Modeling의 두 가지 방법이 있다. 전자는 실의 2차원 단면을 통해서 화재성상을 예측

하는 것이고 후자는 3차원 공간에서 화재성상을 예측하는 것이다. Field Modeling은 사용하기가 매우 복잡하고, 대형 용량의 컴퓨터를 요구하여 특수 공간의 경우를 제외하고는 거의 사용되지 않았으나, 최근 Personal Computer의 용량이 대형화되는 추세에 따라 프로그램의 개발이 시작되고 있다. 다음은 Zone Modeling에 사용되는 프로그램의 종류이다.

가. ASET

Available Safe Egress Time의 약어로서, 창문과 출입문이 닫힌 단일실에서 뜨거운 상층부 연기의 온도와 위치를 계산하는 프로그램. 화재시 사람이나 물질에 위험한 상태가 되기까지의 시간을 예측하는데 사용되기도 한다. 프로그램의 계산결과는 상층부 가열된 연기의 온도, 두께, 연기의 조성 등이 시간에 따른 함수로써 표현된다. DOS에서 사용.

나. ASET-B

ASET-B는 ASET 프로그램을 요약한 것으로서, 개인용 컴퓨터에 사용하기 위해서 만들어졌다. 입력정보 및 계산결과는 ASET와 동일하며, 단지 시간에 따른 연기의 조성이 계산되지 않는다.

다. COMPBRN

원자력 발전소에서 위험성평가를 위한 사고 확률 계산용으로 개발된 프로그램. 비교적 큰 공간에서 일어난 작은 규모의 화재나 화재하중이 큰 곳에서의 전실화재 이전 상태를 예측하는데 사용된다. 모델의 결과로는 화재의 연소 발생열, 뜨거운 연기의 깊이 및 온도, 각각의 가연물질들의 연소율, 그리고 지정된 장소에서 받는 복사열량 등이 있다.

라. COMPF2

단일실에서 전실화재 이후의 화재성상을 예측하기 위한 프로그램. 설계목적을 위한 계산 및 실험결과 분석을 수행할 수 있다. 목재류, 열가소성 플라스틱류, 액체 연료 등을 분석할 수 있다. 모

델의 결과로는 가스층의 온도, 열흐름량 및 변수가 있다.

마. CSTBZ1

이 프로그램은 COMPF2와 유사한 가정으로 전실화재 이후의 화재성상을 예측하기 위해 쓰여졌다. 실에 있는 개구부를 입력할 수 있고 벽체를 통한 열에너지의 확산을 계산할 수 있다.

바. CFAST

이 프로그램은 FAST프로그램의 현재 버전으로서 5개에서 10개까지의 방에 대한 화재성상을 계산할 수 있다. 프로그램의 결과로는 각 실의 상, 하층부 공기층의 온도, 두께, 조성, 실내에 있는 물건들의 표면 온도, 열흐름량 등이 있다.

사. FIRST

이 프로그램은 HAVARDV의 개발품으로서 단수의 방에서 사용자가 입력한 화재를 가지고 화재의 성장 및 그 결과를 분석한다. 이 프로그램은 3개의 독립된 가연물질의 가열 및 화재 전파를 예측한다. 모델의 결과로는 실내 상, 하층부 공기의 온도, 두께, 조성 등이 있다.

아. FPETOOL

이 프로그램은 FIREFORM의 개발품으로서 건물 내부의 화재위험성을 예측하기 위한 비교적 간단한 공학계산으로 이루어져 있다. FPETOOL은 건물에서(단실) 화재의 발생과 성장, 이로 인한 결과의 분석 및 소방시스템의 작동 시간 예측 등으로 이루어져 있다. 연기의 생성, 스프링클러, 감지기의 작동시간 및 화재와의 연계, 화재 전파, 전실화재 및 화재강도 예측, 그리고 간단한 피난시간의 계산 등이 가능하다. FPETOOL에 수록된 단일 프로그램 중에서 가장 큰 요소는 FIRE SIMULATOR이다. FIRE SIMULATOR는 실내화재시 전실화재 이전 및 이후의 상황을 예측할 수 있는 프로그램이다.

자. LAVENT

이 프로그램은 실내화재 상황에서 스프링클러의 작동시간을 예측하기 위해서 쓰여졌다. 연기

커튼과 환기설비가 작동되는 상황을 입력시킬 수 있다.

차. WPI/FIRE

이 프로그램은 HAZARD V와 FIRST 프로그램을 개선한 것이다.

※ 위에 소개된 프로그램 중에서 FPETOOL은 미국의 NIST에서 개발하여 무상으로 지원하고 있는 프로그램이므로 아래의 주소에서 다운 로드 받을 수 있다.

<http://www.bfrl.nist.gov/864/fmabbs.html>

FPETOOL의 시스템 요구 사항은 다음과 같다.

운영체제: MS-DOS 3.1 VER. 이상, Win 95

메모리: 640KB 이상

H D D: 2 MB 이상

사용방법 및 예제는 본인이 저술한 “성능위주의 소방설계를 위한 건축물 화재 모델링” 책에 소개되어 있음.



**협회 부설 방재시험연구소가
'방재시험연구원'으로 새롭게
인사드립니다.**

협회 창립 27주년, 시험연구원 개원 14주년, 그동안 축적된 기술과 시험설비의 보강 등 '방재시험연구원'의 새로운 이름으로 4월 1일부터 새롭게 출발합니다.