

구획화재 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 알고리즘 개발에 관한 연구

이상준, 유상빈, 이수경, 강계명*
서울산업대학교 안전공학과, 재료공학과*

A Study on the Development of Algorithm for Compartment Fire Simulation Program

Sang-Joon Lee, Sang-Bin Yoo, Su-Kyung Lee, Gye-Myong Gang
Department of Safety Engineering, Seoul National Univ. of Technology,
*Department of Material Engineering, Seoul National Univ. of Technology**

1. 서론

최근 조사에 따르면 Fire Hazard Analysis를 적용한 모델이 약 62가지에 달한다. 또한, 세계 각국에서 화재모델 개발에 착수하고 있는 실정이다. 조사에 따르면 1970년부터 화재모델에 대한 연구가 이루어졌으나 컴퓨터의 부재로 인하여 연구의 뚜렷한 진보는 없었으나 1985년 이후 컴퓨터의 급속한 보급과 함께 미국을 중심으로 화재모델의 발전이 뚜렷하게 일어나고 있다. 여기에 발맞추어 유럽과 일본이 꾸준히 자체개발에 착수하고 있으며, 여기에 오스트레일리아, 중국도 화재모델의 개발에 착수하고 있는 실정이다. 그러나 안타깝게도 현재 국내에서는 화재모델의 전반적인 사항에 관한 특성의 연구 및 분석은 이루어진 바가 거의 없다.

현재 국내에서 화재모델에 대한 개발이 수행된 적이 없다. 성능기준 화재안전설계에 관한 관심증가 및 이에 대한 적용이 시급한 실정이지만 국내기술력은 아직 이를 뒷받침하고 있지 못하다. 특히, 화재 시뮬레이션 프로그램의 개발이 없이 계속적으로 외국의 프로그램에 의존할 경우 외국 기술에 대한 종속적인 관계가 끊임없이 지속될 것이며 이에 따른 외화 유출도 심각할 것이다.

이에 본 연구는 국내 실정에 맞는 구획화재의 현상을 연구하고 NIST의 FASTLite 같은 종합 화재 시뮬레이션 프로그램을 개발하는데 최종 목표가 있다. 여기에 앞서 먼저 수행되어야 할 것은 문헌적, 실험적 고찰이 될 것이다.

2. 연구방법 및 연구범위

- (1) 현재 Zone 모델에서의 가장 많이 사용하고 있는 FASTLite 모델과 BRANZFIRE 모델의 분석을 통한 각 모델의 장단점을 분석한다.
- (2) 개발 알고리즘 연구에 있어 두 모델의 장점들을 고려하여 개발한다.

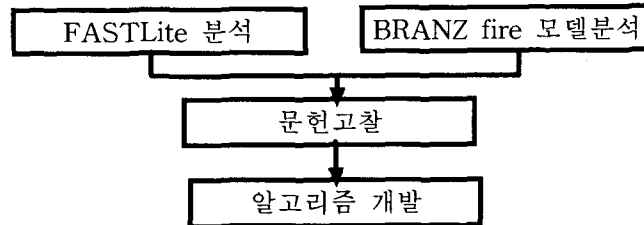


Fig. 1. Procedure for the development of algorithm

3. FASTLite의 분석

FASTLite는 건물안에서의 화재 확산을 평가하기 위한 도구로 건물화재에서 화재성장과 연기유동을 계산하기 위한 엔지니어링 도구의 한 suite이다. 이는 NIST의 건물과 화재연구 실험실의 화재모델 및 응용 집단에 의하여 만들어졌다. FASTLite는 컴퓨터에 기초한 어떤 DOS로도 사용할 수 있으며 data입력과 프로그램 운영을 쉽게 만든 영상용 사용자 인터페이스(GUI)를 가지고 있다. FASTLite는 건물 디자이너, 화재 안전 과 관련된 사람을 위해 화재 현상들의 계산을 제공하기 위해 FIREFORM과 CFAST에 바탕을 둔 복합체이다.

3.1 장점

- (1) 사용하기 쉽고 이해하기 쉽다.
- (2) 데이터는 자체 Data-base나 SFPE Handbook에서 가용 한다.
- (3) 여러 가지 상황에 대한 화재성장에 적용 할 수 있다.
- (4) 잘못된 입력에 대하여는 계산되지 않는다.
- (5) 표준적인 것에 대해서는 한정된 설정치가 적용 된다.
- (6) 데이터의출력은 기술적으로 합리적인 방향으로 되고 이해 하기 쉽도록 도표 또는 영상으로 출력 할 수 있다.

3.2 단점

- (1) 출력 결과의 온도가 너무 높다.
- (2) 환기지배 환기시에 환기 효율인자에 대한 고려가 없다.
- (3) 연료 에너지를 밀도(MJ/m³) 또는 질량을 직접 입력하는 것이 아니라 체적을 입력하여 환산하여야 하는 번거로움이 있다.

4. BRANZFIRE model의 분석

Branzfire 모델은 Zone 모델로 화염확산과 화재성장모델을 설명한다. 이 모델의 장점은 벽면 화염확산율을 위해 고온층 전재 효과를 고려할 수 있다는 것이다. 고온층이 전개됨에 따라 실내 표면이 가열되어 벽과 천장재의 발화온도를 상승시키는데 필요한 에너지가 낮아진다. 이것은 높은 방출율로 인해 쉽게 발화되고, 화염이 좀 더 쉽게 표면을 통해 확산됨을 의미한다.

화재성장모델은 Karlsson의 연구로 얻은 것으로 이 모델은 벽과 천장의 가연성 내면 물질이 존재하는 경우에 수반되는 유동화염확산을 고려한다. 큰 칼로리미터로 측정된 실제 시간에 의존한 열방출률이 확산율의 수치해석에 이용된다. 전체 열 방출률은 유동화염확산에 의해 지배되기 때문에 측방향 또는 하향 확산은 고려하지 않는다.

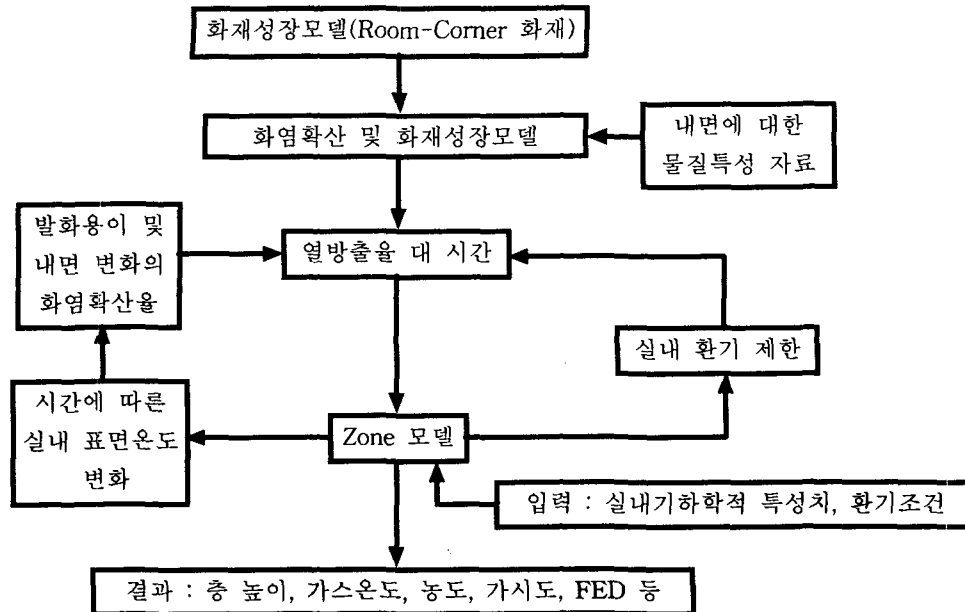


Fig. 2. The structure of The Branzfire model

전체 열방출 커브를 결정하는데 필요한 각각의 변수를 계산하는 4가지 하위 모델들은 다음과 같다.

- (1) 벽 내면의 발화
- (2) 뜨거운 가스층과 실내 표면의 온도
- (3) 천장 내면 발화 후의 화염확산
- (4) 전체 열방출을 계산

4.1 BRANZ Fire model의 단점

BRANZ Fire model의 단점으로는 화재거동에 대해 단일 실에서만 파악이 된다는 것이다. 즉, 실 옆의 화재확산에 대한 파악이 어려우며, 스프링클러 및 감지기 작동에 따른 열효과 분석을 하지 못한다. 또한, FASTLite와 마찬가지로 화재하중에 대한 고려가 없다.

5. 개발 model의 알고리즘

FASTLite와 BRANZ Fire에 대한 분석을 기초로 하여 화재시뮬레이션 프로그램을 위한 기본 알고리즘을 개발하였으며 Fig. 3과 같다. 이 알고리즘에서 화원 위치에 따른 열효과 분석 및 가스농도 계산을 시도하였으며, 스프링클러 및 감지기의 작동에 따른 열효율 분석을 시도하도록 하였다. 또한, 연료를 에너지 밀도 또는 전체에너지 질량으로서 입력값을 취하도록 하였다.

6. 알고리즘의 입력값과 출력값

6.1 화재 조건(input값)

화재를 모델링하기 위해 화재의 규모 및 성장을 위한 몇가지 중요한 사항이 input 값으로 들어간다. 이를 반영한 식은 다른 input 값으로 인한 다양한 화재

해석이 가능하다.

(1) dimension(건물의 면적)

전체적인 건물의 면적(m²)이나 실내에 화염의 복사열을 받는 모든 면적

(2) Fuel density

연료의 평균 밀도가 필요하다.

(3) Heat of combustion

연소열이 필요하며 이는 단위질량이 연료가 연소시에 방출되는 에너지량이다.

NFPA Hand Book은 일반적인 연소열이 범위가 18~21 MJ/Kg 임을 제시하였다. 각 연료에 대한 SFPE Hand Book에 있는 각 연료의 연소열값을 input 값에 적용하여 각기 다른 결과값을 비교한다. Fuel Fraction은 연소열의 감소에 의한 효율인자이다.

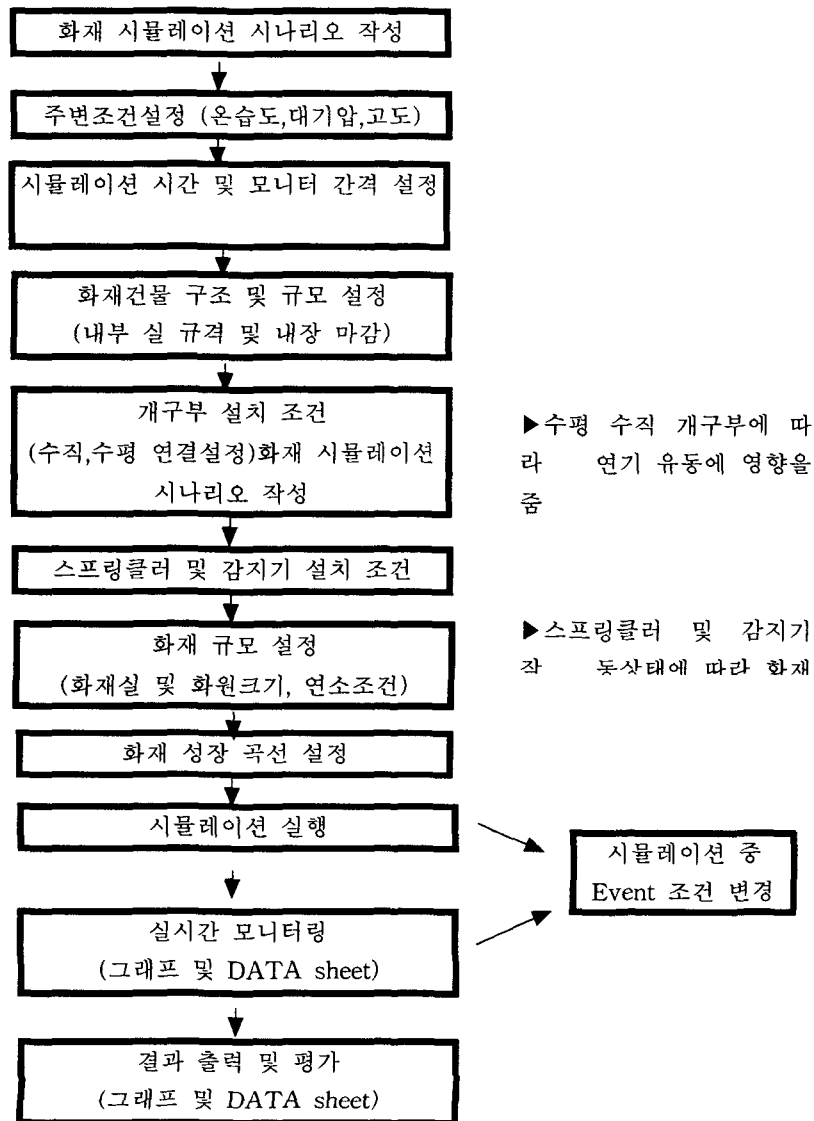


Fig. 4. Development of compartment fire simulation algorithm

(4) Heat of gasification(기화열)

이는 연료의 단위 질량을 열분해 하는데 소요되는 에너지량이다.
밀도(kg/m³), 연소열(kJ/g),

(5) 개구부의 크기

개구인자는 후에 출력온도와 다른 시간온도 곡선과 비교하는데 사용되어진다.

(6) 내장재료

천정, 벽 및 바닥의 종류와 그에 따르는 특성치를 적용한다.

6.2 화재 결과(out put 값)

이는 화재 조건을 포함한 화재 예측식이 될 것이다.

(1) Heat Release Rate(\dot{Q}) :

Vytenis Babrauskas가 calorimeter로 측정한 실험값으로 얻은 식으로서 화재시 발생되는 가장 중요한 양으로 화재의 크기나 손실의 정도를 알 수 있다.

$$\dot{Q} = \dot{m}'' A \Delta H_c \quad \text{식 (1)}$$

여기서

ΔH_c : Heat of combustion

\dot{m}'' : burning flux

A : area

(2)연기온도 :

McCaffrey, Quintiere, and Harkleroad의 방법론에 의존한다.

$$\Delta T_g = 480 \left(\frac{\dot{Q}}{\sqrt{g c_p \rho_\infty T_{INF} A_0 \sqrt{H_0}}} \right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{\sqrt{g c_p \rho_\infty A_0 \sqrt{H_0}}} \right)^{-1/3} \quad \text{식 (2)}$$

여기서

\dot{Q} = Heat Release Rate(kW)

A_0 = 개구부의 면적(m²)

H_0 = 개구부의 높이

h_k = effective heat transfer coefficient (kW/m² · K)

A_T = 개구부를 제외한 실내 총 표면적

다음과 같이 주어진 환경에서

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $c_p = 1.05 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $\rho_\infty = 1.2 \text{ KG/m}^3$, $T_\infty = 295 \text{ K}$

이므로 식 (2)를 풀면

$$\Delta T_g = 6.85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0 \sqrt{H_0} h_k A_T} \right) \quad \text{로 된다.}$$

열전달계수는 노출시간 t 가 열침투시간 t_b 보다 클 경우에만 일정하다.

$$h_k = k/\delta \quad \text{for } t > t_b \quad \text{식 (3)}$$

열침투시간 $t_b = (\rho c/k) (\delta/2)^2$

ρ = 내장면의 밀도 (kg/m³)

c = 내장면의 비열 (kJ/kg · K)

k = 내장면의 열전도도 (kW/m · K)

δ = 내장재료의 두께 (m)

t = 열노출시간

t_p = 열침투시간

열노출시간에 침투시간보다 작을 경우

$$h_k = (kcp/t)^{1/2} \quad \text{for } t \leq t_p \quad \text{식 (4)}$$

(3) 연기층의 높이

연기층의 높이는 James G. Quintiere의 실험식을 사용한다.

$$\frac{H_N}{H_B} = \frac{1}{1 + T_a/T} \quad \text{식 (5)}$$

여기서

H_N : 중성대의 높이(m)

H_B : 층의 높이

T_a : 주위의 온도(K),

T : 연기의 평균 온도(K)

7. 결 론

화재거동 시뮬레이션 프로그램 개발을 위하여 NIST의 FASTLite와 BRANZFIRE 모델에 대하여 분석하였다. 분석결과, FASTLite의 경우 여러 가지의 단점이 발견되었으며 BRANZFIRE 모델의 경우 실내내장재에 대한 탁월한 분석능력이 있으나 종합적인 화재 거동에 대하여 해석을 하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 화재 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 알고리즘을 개발하였다. 또한, 각종 문헌을 통하여 화재시뮬레이션 알고리즘에 맞는 식을 발견하였다.

참고문헌

1. McCaffrey, Quintiere, Estimating temperatures in compartment fires, Chapter 3-139, SFPE, "SFPE Hand Book of Fire Protection Engineering", 1990. 4.
2. 임홍순, "건물에서 화재 존모델링 예측방법과 실제(FSTLite 적용 사례중심), 방재 기술 제 25호, 1998.
3. NIST, "Modeling Post-Flash over Fires with FASLite", J. of Fire Prot.
4. James G. Quintiere, "Principle of Fire Behavior".
5. Colleen wade, Jonathan barnett, "A Room-corner Fire Modeling Including Fire Growth on Linings and Enclosure Smoke-Filling", J. of Fire Prot. Eng., 8(4), pp 183-193, 1997.
6. Vytenis Babrauskas, Burning Rates, Chapter 3-1, SFPE, "SFPE Hand Book of Fire Protection Engineering", 1990. 4.