

다세대주택의 화재안전평가에 대한 수치해석 연구
-계단실 개구부의 개폐가 화재특성에 미치는 영향-
A Numerical Study for Fire Safety Evaluation of the
Multi-story Residential Buildings
-The Effects of the Openings of Stairwell on Fire Characteristics-

전흥균[†] · 최영상 · 추홍록

Heung-Kyun Jeon[†] · Young-Sang Choi · Hong-Lok Choo

대구보건대학 소방안전관리과
(2007. 4. 6. 접수/2007. 9. 20. 채택)

요 약

일반주택 화재시 가연성이 높은 폴리우레탄폼 소재의 소파가 연소될 때 다량의 독성가스가 포함된 연기가 발생한다. 이 경우 실내거주자는 고온의 연기와 독성가스로 인해 피난의 어려움을 겪고, 극단적인 경우 사망에 이르게 된다. 본 연구에서는 다세대주택 화재시 계단실 개구부의 개폐조건이 화재실과 계단실의 화재특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. 화재실험에서 얻어진 유동장의 온도, 일산화탄소 농도 및 연기가시거리의 자료를 분석하여 화재안전한계 기준값과 부분유효량에 근거한 화재위험평가를 하였다. 화재실의 경우, 온도와 일산화탄소 농도는 각각 최대 290 °C와 4,740 ppm이며, 온도에 의한 거주자의 불능상태 도달시간은 발화 후 약 144초이다. 계단실의 경우, 창문이 개방된 경우의 온도와 일산화탄소 농도는 화재안전한계 기준값 이하로써 개방되지 않은 경우 보다 크게 감소되었다. 또 계단실의 연기가시거리는 개방된 경우가 개방되지 않은 경우보다 화재안전한계 기준값에 더 빨리 도달되었다. 결론적으로 다세대주택 계단실의 개구부를 개방할 경우 거주자의 화재위험 가능성은 낮아진다.

ABSTRACT

In the events of a fire in the residential building, highly flammable polyurethane foam sofa produce toxic smokes. In this type of fire, the residents of the building can be gotten into the difficulties of evacuating from the fire places or may be to death due to a lot of hot toxic gases. In this study, CFD simulations were carried out to study the effects of the openings of stairwell on the fire characteristics of fire room and stairwell. Also, analysis of fire hazard based on the tenability limits of fire and FED(fractional effective dose) was performed to evaluate the life safety of the residents of the building. In the fire room, maximum temperature was about 290 °C, maximum CO concentration was about 4,740 ppm, and the time to incapacitation of residents in fire room was about t=144 s. In the stairwell, temperature and CO concentration in the condition of openings to be open were even lower than those in it to be closed. Time to the tenability limit with respect to smoke visibility in the stairwell with openings, which was open, was shorter than that of it without openings to be open. It has been shown from this study that opening the stairwell openings is able to decrease the fire hazards to the life safety in the multi-story residential building fire.

Keywords : Residential building, CFD simulations, Tenability limits, FED, Life safety

1. 서 론

일반 주택 화재의 연소물 중에는 침대류, 소파와 같

은 폴리우레탄 폼(polyurethane foam) 가연물이 포함되는 경우가 많다. 폴리우레탄 폼은 높은 가연성과 더불어 대량의 독성가스, 즉 일산화탄소, 이산화탄소, 시안화수소와 질은 연기 등을 발생시킨다.¹⁾ 일반 주택 화재시 실내거주자는 피난과정에서 연기 호흡으로 인한

[†] E-mail: jeonhk@mail.dhc.ac.kr

신체활동의 불능상태가 되거나, 특히 연기농도가 높을 경우에는 시계약화와 피난의 어려움으로 인해 연기 증 노출시간이 길어지게 되며, 결국 다량의 독성가스 호흡 또는 높은 실내온도에 의한 화상으로 인해 사망하게 된다.

국내 화재통계자료를 보면 2005년과 2006년 우리나라 전체 화재발생은 각각 32,340건수와 31,778건수이며, 이 중 주택아파트화재는 8,411건수와 8,234건수로서 전체 화재발생에 대해 26.0%와 25.9%를 차지하고 있으며, 그 피해도 막대한 것으로 보고되고 있다.²⁾

이와 같이 매년 주택아파트의 화재 발생건수가 전체 화재발생건수의 약 26%를 차지함과 동시에 인명과 재산상에 큰 피해를 발생시키는데 비해 화재위험 및 인명안전에 대한 화재위험성 평가와 적절한 대응책이 마련되지 않아 그 피해가 줄어들지 않고 있는 실정이다.

A. Bounagui 등³⁾은 지하실을 포함한 3층 단독주택 화재시 실내 연결통로 개구부의 개폐여부에 대한 화재특성을 조사하여 인명안전기준에 근거한 화재위험을 평가하였다.

국내 일반 주택의 구조는 외국의 주택과는 다소 차이가 있다. 특히, 다세대 주택은 4층 이하의 건물 높이로 건축되어, 화재시 상층부 세대 및 단일계단실로의 화재확대 및 연기확산 가능성이 높아 인명사고에 대한 화재위험성이 크다.

특히, 요즘 많이 건축된 학교주변 원룸과 서민 주거용 다세대주택 등은 매우 밀집되어 있고, 건물 주변의 접근도로나 좁아 화재진압출동이 지체되는 경우가 많다. 이러한 조기출동의 장애는 건물내 화재확대 및 연기확산 가능성을 더 높게 만들어 거주자에 대한 화재위험 정도를 더 가중시키게 된다.

소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령의 소화설비 설치기준에 의하면 연면적이 33제곱미터 이상인 소방대상물에는 수동식소화기 또는 간이소화용구를 설치하도록 규정하고 있다.⁴⁾ 따라서 연면적이 작은 다세대주택에는 화재에 대비하여 세대별로 소형 소화기만을 갖추고 있을 뿐 초기화재진압에 효과가 있는 스프링클러설비와 같은 자동소화설비는 설치하지 않고 있다.

이러한 건물 조건에서 화재가 발생할 경우, 초기화재진압이 매우 어려운 상황으로서 실내 거주자가 화재위험을 극복하는 가장 최선의 방법은 지상 또는 옥상의 안전지대로 신속히 피난하는 것이다. 그러나 화재실의 연기가 계단실로 확산되는 경우에는 피난마저도 어려운 상황에 놓일 수 있어 결국 건물전체로의 화재확산시 생명의 안전에 매우 심각한 위험이 초래될 수

있다.

이러한 여건에도 불구하고 아직까지 이들 건물에 대한 정확한 화재특성과 인명안전특성에 대한 연구가 제대로 수행되어 있지 않은 실정이다. 따라서 다세대주택에 대한 화재특성조사는 거주자의 생명안전과 관련하여 매우 중요하며, 이에 대한 연구가 매우 절실히 요구된다.

본 연구에서는 다세대주택 화재시 계단실 개구부의 개폐조건이 화재실과 계단실의 온도, 일산화탄소 농도 및 연기가시거리 등의 화재특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 미국 NIST에서 개발한 FDS 프로그램을 사용하여 CFD 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 목적은 다세대주택 화재시 계단실과 화재실의 화재특성을 조사하여 거주자의 피난안전을 위한 기초자료를 제공하는 것이다.

2. 화재모델링

2.1 화재모델

본 연구의 화재모델은 다세대주택 화재시 건물내의 온도, 일산화탄소 농도 및 연기가시거리를 조사하기 위하여 지상 4층 건물의 계단실(mesh 1)과 1층 화재실(mesh 2)이 상호 연결된 다중격자계(multi-mesh systems)로 구성되었다.

화재모델의 크기는 Figure 1에 나타난 것(계단실 창문 폐쇄상태)과 같이, 길이×폭×높이가 계단실이 2.4 m×4.5 m×13.5 m이며, 화재실이 7.5 m×9.6 m×2.4 m이다.

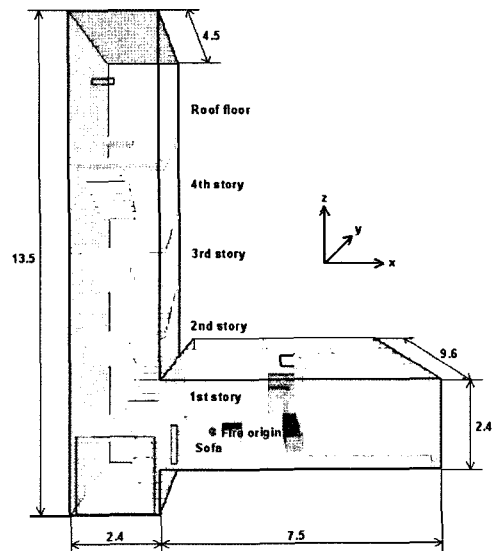


Figure 1. Fire model.

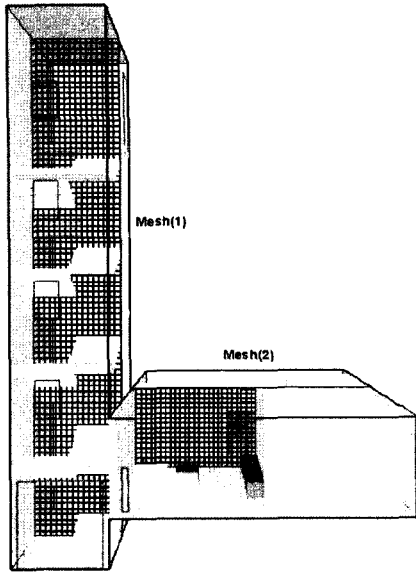


Figure 2. Multi-meshes system.

다중 격자계는 Figure 2에 나타낸 것(계단실 창문 개방상태)과 같이, X, Y, Z 방향으로 계단실은 16, 30, 90개, 화재실은 50, 64, 16개의 균일격자로 나누었으며, 전체 격자수는 각각 43,200개와 51,200개이다.

개구부는 세대의 실내 환기를 위한 앞 발코니문과 화장실 및 부엌 창 일부가, 계단실의 출입 및 환기를 위한 건물 현관 출입구 문 전체와 4층 창 일부가 각각 개방된 상태이다.

화원은 거실 벽 쪽에 접하면서 L자형으로 위치한 3인용과 1인용 소파의 접하는 안쪽 상부 면에서 발화되어 화염확대가 이루어진다. 소파크기는 각각 2.1 m × 0.9 m와 0.9 m × 0.9 m이다.

설계화재는 폴리우레탄 폼 연료의 연소특성인 fast 화재성장에 대해 단위면적당 열방출율이 680 kW이며,⁵⁾ 정상상태 화재의 지속시간이 3분, 전체 화재시물레이션 시간이 600초이다.

열전대는 계단실과 화재실의 화재특성을 조사하기 위하여 계단실의 각 층과 화재실의 거실(화재실 출입문 안쪽 부근)의 바닥에서 1.5 m 높이에 설치하였다.

경계조건은 FDS(ver. 4.07)의 기본경계조건⁶⁾인 실내·외 온도와 벽의 열특성은 각각 20 °C와 불활성조건을 적용하였다.

2.2 화재시나리오

다세대주택 화재시 화재실의 기본 화재특성과 감지기 작동시간을 조사하기 위하여, 단일화재실에 대한 화

Table 1. Fire scenarios

Model	Time(s)	Descriptions
No. 0	t=0	Ignition
	t=600	The end of simulation
	Note	Preliminary fire simulation All room doors and doorway of fire room are closed.
No. 1 No. 2	t=0	Ignition
	t=90	All room doors of fire room are forced to be opened.
	t=100	Doorway of fire room is forced to be opened.
	t=600	The end of simulation
Note		Model No. 1 : The windows of stairwell and roof door are closed. Model No. 2 : The windows of stairwell and roof door are open.

재모델(No. 0)을 만들어 화재시물레이션을 수행하였다. 이어 계단실의 개구부의 개폐조건이 건물 전체의 화재특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 개구부의 개방여부에 대한 화재모델(No. 1, 2)을 만들어 화재시물레이션을 수행하였다.

화재실의 출입문 개방시간은 실험에서 계산된 감지기 작동시간인 t=85초를 고려하여 결정하였다. 화재모델별 화재시나리오의 내용은 Table 1에 나타내었다.

2.3 화재안전한계 기준값과 화재위험 분석

본 연구에서는 다세대주택 화재시 계단실과 화재실의 화재위험특성을 조사하기 위하여 Table 2의 화재안전한계 기준값(tenability limits)⁷⁾을 적용하였다.

화재안전한계 기준값과 부분유효량(FED : Fractional Effective Dose) 식을 이용하여, 인명에 직접적 위협요인이 되는 연기온도와 일산화탄소 농도에 대해서 신체활동의 불능상태(FED=1)에 도달하는 시간을 계산하였다.

먼저 온도에 대한 부분유효량은 Crane 식을 적용하였고,

Table 2. Tenability limit

Criterion	Tenability limit
Temperature	Temp. ≤ 100 °C
Toxicity	CO ≤ 1,400 ppm CO ₂ ≤ 5%
Smoke obscuration	Visibility > 2 m

$$FED = \sum_{i=1}^n [t_i(T_i - C_2)^3 \times 61/C_1] = 1, \quad (1)$$

($T \geq 149^\circ\text{C}$ 경우)

$$C_1 = 2.46 \times 10^{10}$$

$$C_2 = 0$$

t_i = i번째의 불능상태도달시간

T_i = i번째의 평균온도

일산화탄소 농도에 대한 부분유효량은 N-Gas model 식을 적용하였다.⁸⁾

$$FED = \sum_{i=1}^n [t_i(\bar{C}_i - 1,700)/80,000] = 1, \quad (2)$$

($N=1$, 즉 CO의 경우)

t_i = i번째의 위험상태도달시간

C_i = i번째의 CO 평균농도

N = 독성가스 수

3. 결과 및 고찰

3.1 화재실의 열방출율과 연기층 높이

Figure 3과 Figure 4는 화재모델 No. 0에 대한 FDS 화재모의실험 결과로서 화재실의 열방출율과 연기층의 높이 변화를 각각 나타낸다.

Figure 3에서 화재실의 열방출율(HRR : heat release rate)은 발화 후 $t=163$ 초에 최고 약 1,313 kW까지 증가하고, 이후 급격히 감소한다. 이러한 열방출율의 급격한 감소는 화재의 성장 중 환기가 제대로 되지 않아

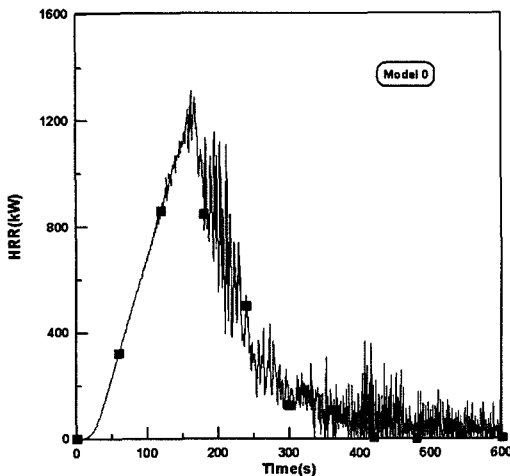


Figure 3. Heat release rate.

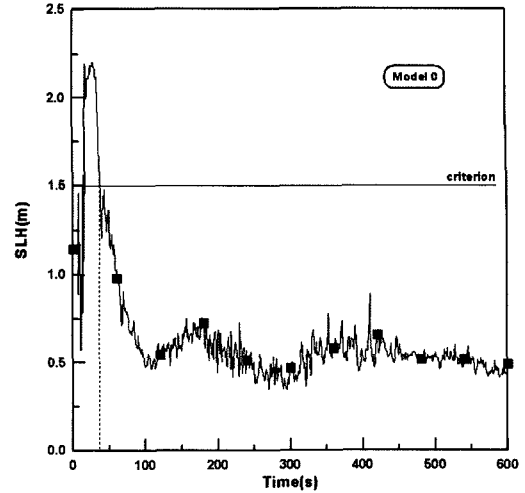


Figure 4. Smoke layer height.

연소에 필요한 산소공급이 원활하지 못한 환기제어화재 상태가 되었기 때문이다.

Figure 4에서 연기층의 높이(SLH : smoke layer height)는 발화 후 $t=98$ 초에 바닥으로부터 0.48 m까지 급속히 하강하고, 이후 약 0.5 m 높이를 중심으로 거의 일정하게 유지한다. 이것은 화재성장단계에서 연기량이 급격히 증가하였지만, 이후 환기제어화재와 작은 개구부로 인해 연기발생량이 감소되며 연기의 외부유출량이 많지 않기 때문이다.

연기층의 높이가 화재안전기준인 바닥으로부터 1.5 m 높이까지 하강하는 시간은 약 $t=36$ 초이다. 이후 실내 거주자는 고온의 연기와 독성가스의 영향을 받게 된다.

3.2 온도

Figure 5는 화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 FDS 화재모의실험 결과로서 화재실과 계단실의 온도변화를 나타낸다.

Figure 5(a)는 화재모델 No. 0(화재실 단독 모델)에 대한 온도변화를 나타낸다. 화재실의 온도는 발화 후 $t=180$ 초에 최고 약 290°C 까지 증가하고, 이후 급격히 감소한다.

온도가 화재안전한계 기준값인 100°C 에 도달하는 시간은 약 $t=74$ 초이며, 이때 연기층은 이미 바닥으로부터 1.5 m 높이 이하로 하강한 상태이므로, 74초 이후 거주자는 고온의 연기에 노출된다.

식 (1)을 사용하여 100°C 이상되는 온도에 해당하는 시간간격을 1분 단위로 구분하여 각 시간간격별 평균 온도에 대한 거주자의 불능도달시간을 계산한 결과, $FED=1$ (불능상태기준)이 되는 시간은 약 $t=70$ 초이다. 따

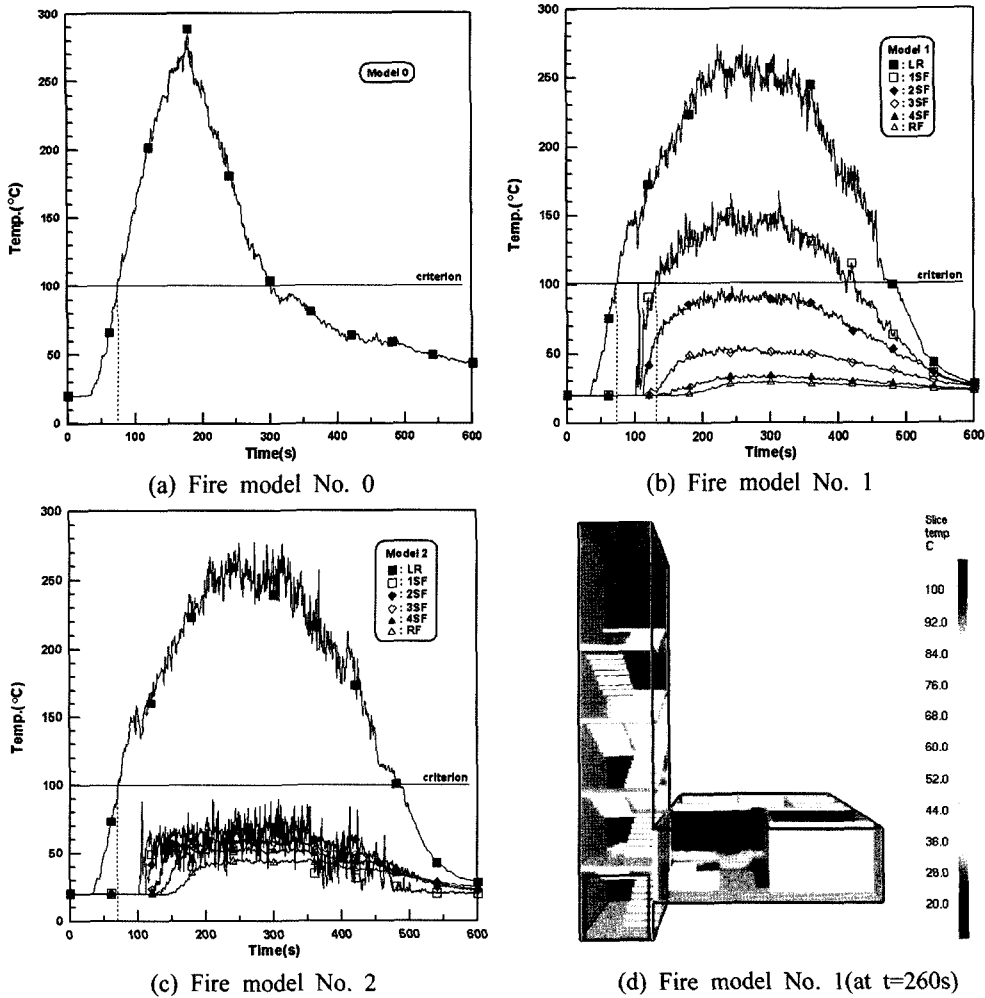


Figure 5. Temperature at a height 1.5 m above floors.

라서 거주자의 불능상태는 발화 후 $t=144$ 초(74초+70초) 이후부터 나타날 수 있다. 이것은 다세대주택 화재 시 거주자가 화재를 조기 인식하여 신속히 피난하지 않으면 매우 위험한 상태에 직면하게 된다는 것을 보여준다.

Figure 5(b)는 화재모델 No. 1(계단실 개구부 폐쇄)에 대한 화재실과 계단실의 온도변화를 나타낸다. 그림에서 LR, SF, RF는 각각 living room, story floor, roof floor를 나타낸다.

화재실의 온도는 발화 후 $t=260$ 초에 최고 약 273°C까지 증가한 후 감소한다. 화재모델 No. 1의 화재는 개구부가 추가 발생됨에 따라 연소가 원활히 진행되고, 개구부를 통하여 연기가 계단실로 전파된다. 따라서 최고온도는 화재모델 No. 0의 경우보다 낮아졌다.

화재실의 온도가 100°C에 도달하는 시간은 약 $t=74$

초이며, 100°C 이상인 시간은 화재모델 No. 0의 경우보다 훨씬 더 길어졌다.

계단실의 경우, 1층 온도는 $t=242$ 초에 최고 약 164°C이며, 100°C에 도달하는 시간은 약 $t=131$ 초이며, 지속 시간은 약 293초이다. 그리고 층이 높아질수록 각 층의 온도는 감소한다. 이것은 건물 현관 출입구로부터 외부공기의 유입량이 많지 않고, 또 연기가 상층부로 전파되는 동안 유입공기의 혼합과 주위로의 열손실이 이루어졌기 때문이다.

Figure 5(c)는 화재모델 No. 2(계단실 개구부 개방)에 대한 화재실과 계단실의 온도변화를 나타낸다.

화재실의 온도는 화재모델 No. 1과 비슷하나, 계단실의 경우 전 층 모두 100°C 이하이다. 또 1, 2층의 온도는 화재모델 No. 1과 비교하여 상대적으로 낮은

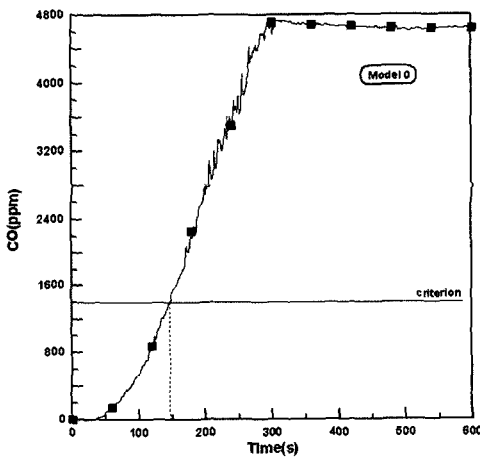
Table 3. Maximum temperature and time reached to tenability limit

Model	Fire room		Stairwell(1st floor)		
	$T_{max}(^{\circ}C)$	$t_{T=100^{\circ}C}(s)$	$T_{max}(^{\circ}C)$	$t_{T=100^{\circ}C}(s)$	$\Delta t_{T=100^{\circ}C}(s)$
No. 0	290	74	N/R	N/R	N/R
No. 1	273	74	164	131	293
No. 2	277	70	85	N/R	N/R

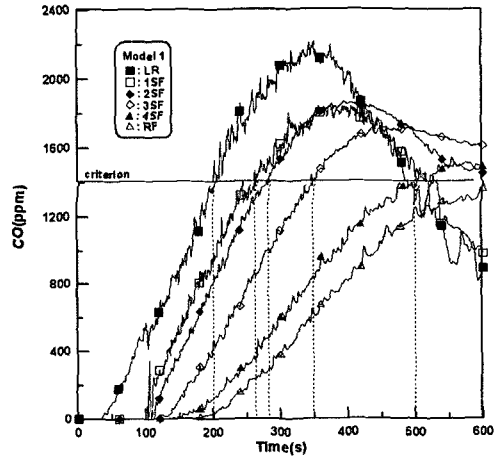
반면, 3, 4층과 옥상층의 온도는 약간 높다. 이것은 건물 현관 출입구를 통한 외부의 신선한 공기가 많이 유입되어 연기 혼합에 의한 연기온도저하의 영향이 주로 1, 2층에서 이루어진 반면, 각 층의 계단실의 창문이 개방됨에 따라 연기의 이동속도가 커져 연기가 상층부로 이동하는 과정에서 주위로의 열손실이 화재모델 No. 1의 경우보다 작아졌기 때문이다. 이 경우 계단실내부는 고온에 의한 위험은 없다.

Figure 5(d)는 화재모델 No. 1의 경우에 대하여 화재 안전관계 기준값인 100 °C 이상되는 공간을 확인하기 위하여 온도범위를 최대 100 °C로 수정한 후, t=260초에서의 온도분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 화재실과 1층 및 2층 공간은 100 °C 이상이다.

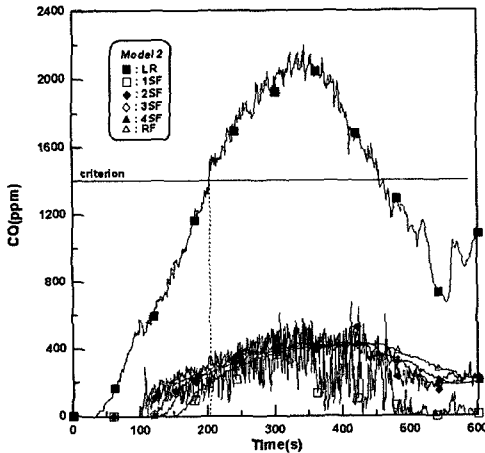
화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 화재실과 계단실의 최고 온도 및 화재안전기준 도달 시간에 대한 내용을 Table 3에 나타내었다.



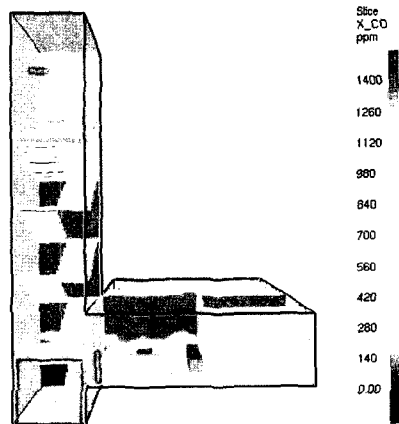
(a) Fire model No. 0



(b) Fire model No. 1



(c) Fire model No. 2



(d) Fire model No. 1(at t=350s)

Figure 6. CO concentration at a height 1.5 m above floors.

3.3 일산화탄소 농도

Figure 6은 화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 FDS 화재 모의실험 결과로서 화재실과 계단실의 일산화탄소 농도 변화를 나타낸다.

Figure 6(a)는 화재모델 No. 0에 대한 일산화탄소 농도 변화를 나타낸다. 화재실의 일산화탄소 농도는 발화 후 t=310초에 최고 약 4,740 ppm까지 증가하고 이후 일정하다. 이것은 화재성장으로 일산화탄소 발생량이 증가하다가, 이후 환기제어화재와 작은 개구부로 인해 일산화탄소의 발생량과 외부 유출량이 균형을 이루었기 때문이다.

일산화탄소 농도가 화재안전한계 기준값에 도달하는 시간은 약 t=146초이다.

식 (2)을 사용하여 1,400 ppm 이상되는 일산화탄소 농도에 해당하는 시간간격을 1분 단위로 구분하여 각 시간간격별 평균 일산화탄소 농도에 대한 거주자의 불능도달시간을 계산한 결과, FED=1이 되는 시간은 약 t=1,547초이다. 따라서 거주자의 불능상태는 발화 후 t=1,694초(147초+1,547초) 이후부터 나타날 수 있다. 이 값은 일산화탄소 농도가 3,000 ppm인 경우 LC₅₀의 기준도출시간인 30분보다 작다.

Figure 6(b)는 화재모델 No. 1에 대한 화재실과 계단실의 일산화탄소 농도변화를 나타낸다.

화재실의 일산화탄소 농도는 발화 후 t=375초에 최고 약 2,198 ppm까지 증가한 후 감소한다. 계단실로 연기가 전파됨에 따라 화재실내의 일산화탄소 농도는 화재모델 No. 0의 경우 보다 훨씬 감소하였다. 일산화탄소 농도가 1,400 ppm에 도달하는 시간은 약 t=200초이며, 1,400 ppm 이상인 시간은 화재모델 No. 0의 경우보다 짧아졌다.

계단실의 경우, 1층의 일산화탄소 농도는 t=417초에 최고 약 1,869 ppm이며, 1,400 ppm에 도달하는 시간은 약 t=262초이다. 그리고 층이 높아질수록 각 층의 일산화탄소 농도는 감소하며, 1,400 ppm에 도달하는 시간은 2, 3, 4층의 경우 각각 t=282초, t=346초, t=500초이다. 옥상층은 화재안전한계 기준값에 도달하지 않았다.

Figure 6(c)는 화재모델 No. 2에 대한 화재실과 계단실의 일산화탄소 농도변화를 나타낸다.

화재실의 일산화탄소 농도는 화재모델 No. 1과 비슷하나, 계단실의 경우 전 층 모두 1,400 ppm 이하이다. 이는 화재실로부터 유출되는 연기가 계단실 상층부로 전파되는 과정에서 건물 현관 출입구로부터 유입된 외부 공기와 혼합됨과 동시에, 이동과정 중 개방된 개구부로 연기가 유출되어졌기 때문이다. 이 경우 계단실은 일산화탄소 가스에 의한 위험은 없다.

Figure 6(d)는 화재모델 No. 1의 경우에 대하여 화재안전한계 기준값인 1,400 ppm 이상되는 공간을 확인하기 위하여 일산화탄소 농도범위를 최대 1,400 ppm으로 수정한 후, t=350초에서의 일산화탄소 농도분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 화재실과 1층 및 2층 공간은 1,400 ppm 이상이다.

화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 화재실과 계단실의 최고 일산화탄소 농도 및 화재안전기준 도달 시간에 대한 내용을 Table 4에 나타내었다.

3.4 연기가시거리

Figure 7은 화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 FDS 화재 모의실험 결과로서 화재실과 계단실의 연기가시거리 변화를 나타낸다.

Figure 7(a)는 화재모델 No. 0에 대한 연기가시거리 변화를 나타낸다. 화재실의 연기가시거리는 발화 후 t=255초에 0.05 m까지 감소하고 이후 일정하다. 연기가시거리의 화재안전기준인 2.0 m에 도달하는 시간은 약 t=49초이다.

Figure 7(b)와 (c)는 화재모델 No. 1과 No. 2에 대한 연기가시거리 변화를 나타낸다.

화재실의 연기가시거리 변화는 두 화재모델 모두 비슷하다. 그러나 계단실의 연기가시거리 변화는 다소 차이를 나타낸다. 화재모델 No. 1의 경우, 계단실 각 층의 연기가시거리가 화재안전한계 기준값인 2.0 m에 도달하는 시간은 1층부터 옥상층까지 각각 t=109초, t=115초, t=142초, t=181초, t=220초이고, 화재모델 No. 2의 경우, 도달시간은 각각 t=104초, t=111초, t=132초, t=147초, t=169초이다. 화재모델 No. 2의 경우가 화재모델 No. 1의 경우보다 도달시간이 짧아졌다. 이것은 계단실 상층부로 이동하는 연기속도가 빨라졌기 때문이다.

Table 4. Maximum CO concentration and time reached to tenability limit

Model	Fire room		Stairwell(1st floor)		
	C _{max} (ppm)	t _{C=1400 ppm} (s)	C _{max} (ppm)	t _{C=1400 ppm} (s)	Δt _{C=1400 ppm} (s)
No. 0	4,740	146	N/R	N/R	N/R
No. 1	2,198	200	1,869	262	255
No. 2	2,172	202	674	N/R	N/R

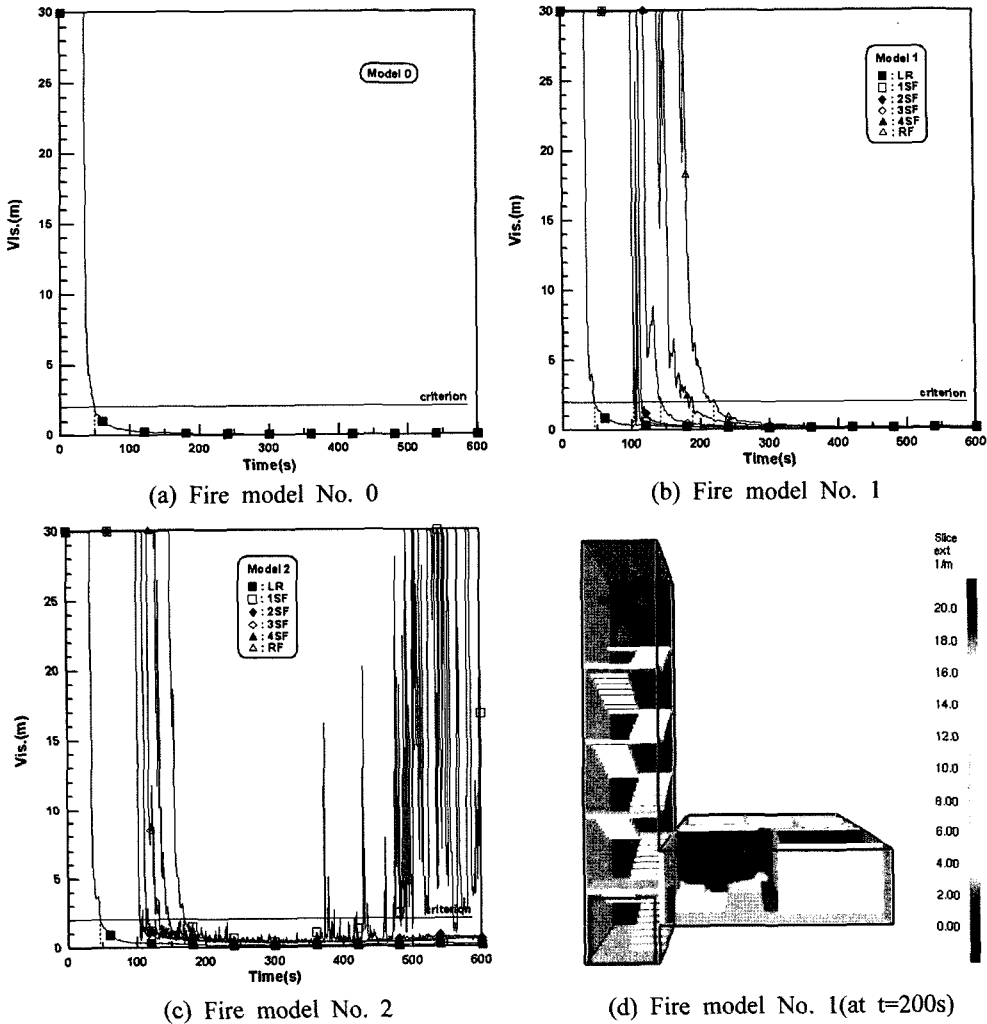


Figure 7. Visibility at a height 1.5 m above floors.

화재모델 No. 2의 경우, 계단실 1층에서의 연기가 시거리 변화는 $t=360$ 초 이후 매우 불규칙적으로 나타난다. 이것은 화재의 쇠퇴와 더불어 연기발생량이 감소되고, 연기가 계단실로 유출되어질 때 건물 환관 출입구로부터 유입된 공기가 혼합되면서 연기농도의 변화가 심해졌기 때문이다.

Figure 7(d)는 화재모델 No. 1의 경우에 대하여 유도등을 볼 수 없을 정도의 연기농도에 해당하는 감쇠계수가 20 m^{-1} 이상되는 공간을 확인하기 위하여 감쇠계수범위를 최대 20 m^{-1} 으로 수정한 후, $t=200$ 초에서의 감쇠계수분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 화재실과 계단실 전 층 공간은 20 m^{-1} 이상으로 연기가

Table 5. Minimum visibility and time reached to tenability limit

Model	Fire room		Stairwell(1st floor)		
	$Vis_{min}(m)$	$t_{vis=2\text{ m}}(s)$	$Vis_{min}(m)$	$t_{vis=2\text{ m}}(s)$	$\Delta t_{vis=2\text{ m}}(s)$
No. 0	0.05	49	N/R	N/R	N/R
No. 1	0.09	46	0.09	109	411
No. 2	0.10	46	0.27	104	368

시거리가 거의 0.1 m에 가깝다.

화재모델 No. 0, 1, 2에 대한 화재실과 계단실의 최저 연기가시거리 및 화재안전기준 도달 시간에 대한 내용을 Table 5에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 다세대주택 화재시 화재실의 기본 화재특성과 계단실 개구부의 개폐조건이 화재실과 계단실의 화재특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 3가지 화재모델을 대상으로 CFD 시뮬레이션을 수행하였다.

3가지 화재모델의 온도, 일산화탄소 농도 및 연기 시거리의 화재위험인자에 대한 계산결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 화재실의 온도와 일산화탄소 농도는 최대 각각 290 °C와 4,740 ppm이며, 거주자의 불능상태 도달시간은 발화 후 $t=144$ 초이다.
- 2) 계단실 창문이 개방된 경우, 화재실의 일산화탄소 농도(2,198 ppm)는 개방되지 않은 경우(4,740 ppm) 보다 절반 이하로 감소하며, 계단실 전 층의 일산화탄소 농도는 화재안전한계 기준값 이하이다.
- 3) 계단실의 연기가시거리는 계단실 창문이 개방된 경우가 개방되지 않은 경우보다 화재안전한계 기준값에 더 빨리 도달한다.

참고문헌

1. Bounagui, A., Benichou, N., Bwalya, A., "Comparison of Heat Release Rate from Experiments Against Numerical Predictions and Evaluation of Fire Safety In Residential Houses", Irc, Combustion Conference-2005, pp.1-7(2005).
2. 화재조사팀, "2006년 화재발생현황", 소방방재청, p.3(2006).
3. Bounagui, A., Benichou, N., Kashef, A. and McCartney, C., "CFD Simulation of a Fire in the Living Area of Three Storey Residential House to Evaluate Life Safety in Houses", IRC, CFD 2004, the 12th Annual Conference of the Computational Fluid Dynamics Society of Canada, pp.1-6(2004).
4. 소방제도팀, "소방시설설치유지및안전관리에관한법을 시행령", 소방방재청, p.34(2006).
5. Babrausks, V., "Burning rates", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed., NFPA, p.6(1995).
6. McGrattan, K.B. and Forney, G.P., "Fire Dynamics Simulator(Version 4)-User's Guide", NIST, pp.19-27(2006).
7. Buchanan, A.H., "Fire Engineering Design Guide", Center for Advance Engineering, University of Canterbury, New Zealand(1994).
8. Klote, J.H. and Milke, J.A., "Design of Smoke Management Systems", ASHRAE, pp.12-17(1992).