논 · 문

ZONE MODEL을 이용한 아파트에서의 화재 해석

Analysis of a Fire in an Apartment Building Using a Zone Model

박 진 국*
Park, Jin Kook
김 충 익*
Kim, Choong Ik
유 홍 선*
Ryou, Hong Sun
윤 명 오**
Yoon, Myung Oh

Abstract

Fire hazards in an apartment building that represents the average households in Korea were investigated by conducting a full-scale experiment. This experiment attempts to analyze fire hazards using materials, and furnishings common to Korean housing stock. Experimental results are compared to the predictions of the C-FAST fire and smoke transport computer model. Comparisons between experimental data and C-FAST data are performed only to a living-room fire. Flashover occurred at approximately 380 seconds in a fire experinent, and at approximately 420 seconds in Zone-Model. Based on all of data between experimental data and Zone-Model data, it is concluded that the safe egress time is at least 250 seconds.

국문 요약

화재 위험성을 조사하기위해 우리나라의 주거형태에서 가장 보편적인 공동주택을 사용하여 실물 화재실험을 하였다. 화재 실험에서는 우리나라의 실제 생활에 사용되는 가구와 가연성물질등을 사용하여 우리나라의 현실에 적합한 화재 위험성을 평가해 보았다. 이 실험에서 얻은 결과를 C-FAST라는 해석 모델을 사용하여 얻은 예측치와 비교하였다. C-FAST의 제한성때문에 거실에서 발생한 화재에 대해서만 결과를 비교해보았다. 실물 화재실험에서는 flash-over가 약 380초 경에 Zone-Model에서는 약 420초 경에 발생하는 것으로 예측되었다. 그 외의 모든 실험 결과와 예측 결과에 의해 피난시간을 도출하면 화재 실험과 Zone-Model 모두에서 250초 이내에 피난해야 한다는 결론을 얻었다.

* 중앙대학교 공과대학 기계공학과
** 명지대학교 공과대학 건축학과 부교수, 학술이사

1. 서 론

화재의 물리화학적 본질은 연소이며, 이것은 물질전달, 열전달, 화학 반응등이 포함된 매우 복잡한 메카니즘에 의하여 발생 성장하며 특히 화재실내의 가연물 착화원 주위조건에 따라 연소성이 좌우될 뿐만 아니라 다양한 연소 생성물의 유동현상에도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 화재 현상은 다양한 형태로 나타나므로 연소실내의 열유동 현상을 공학적으로 해석하기 위하여 각 조건에 따라 실험 연구를 한다는 것이 불가능하기 때문에 Fire Dynamics분야에서도 컴퓨터를 이용한 수치해석적 방법이 이용되고 있다. 건물화재의 모델이라고 하면, 일반적으로 Field-model[1,2]과 Zone-model[1,3]이 대표적이다. 화재현상에 대한 예측기술은 최근 수십년간 미국, 영국, 일본을 중심으로 발전되어 왔다.

미국 등을 중심으로 발전해온 Zone-Model은 건물을 크게 몇 개의 Zone으로 나누어서 정의하고, 그 각각의 Zone중에서 발생할 현상 및 각 Zone간의 상호작용에 의해 발생하는 과정들을 혼합, 열전달, 복사, 유체유동 등에 대한 실험치와 방정식을 수식화된 모델들을 사용하여 기술하고 이것에서 얻어진 결과를 분석해 보는 방법으로 FAST[3], HAVARD[4] 등의 code가 사용되고 있다. 그러나, Zone-model은 Zone자체가 너무 크기때문에 Zone내의 온도, 연기의 확산 및 연기의 성분 등에 대해서 상세한 정보를 얻기는 힘들다.

영국 등을 중심으로 발전해온 Field-Model은 공간을 가능한 한 많은 수의 격자로 분할하여, 분할된 각각의 작은 공간의 작은 단위에 유체운동과 에너지 등의 기초방정식을 적용함으로써 연소현상을 기술하고, 이것을 적절한 경계조건과 함께 풀어가는 code로 JASMINE[5] 등이 사용되고 있다. Field -Model은 화재현상의 정확, 상세한 기술이 가능하나 계산용량, 비용, 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. 위에서 언급한 Model들의 검증은 외국의 상황[6]에 대하여 실물화재실험을 통하여 이루어졌으나, 국내에서는 우리의 실정에 맞는 Model의 개발은 초기단계이며 위의 Model들이 우리의 현실에 어느정도 적용되는지에 대한 검증도 되지않은 실정이다. 따라서 화재 예측기술을 확보하기 위해서는 우선 화재현상을 구체적으로 파악해야 하며, 실물화재실험으로부터 해석된 현상을 model 초기치로 설정하기 위한 자료를 확보함과 동시에 지속적인 Model에 대한 연구가 요구된다.

국내에서 95년도에 발생한 건물화재시 발생한 사상자는 약 2200명이다. 이 중 사망자는 558명이며 그 유형별로는 질식자와 소사자(燒死者)가 48.6%인 271명과 44.6%인 249명이 차지하였고 재산피해는 약 1천억원의 손실이 있었다[7]. 이런 추세는 건물의 대형 고층화와 더불어 건물 내장재의 석유 화학제품으로 대치되어 가면서 증가되어가는 추세이다. 여기에서 알수있듯이 화재가 발생하면 재산적인 피해이외에 귀중한 인명의 손실을 가져온다. 하지만 우리나라의 경우는 화재에 대한 한번의 실물 화재실험도 없이 외국에서 사용하는 소방법규를 그대로 사용하고 있는 실정이다. 문화의 특성상 외국의 법규가 우리나라의 실정에 전부 적용된다고는 볼 수 없다. 따라서, 본 연구는 국내에 맞는 가연물과 건축구조를 이용하여 실물 화재실험[8]을 한 내용과 A Fire and Smoke- Transport computer Modeling (C-FAST)라는 Zone-Model을 사용하여 얻은 온도, 연기확산, 가스농도(oxygen, carbon monoxide)및 연기농도 등의 결과를 비교하여 화재에 관련된 자료에 기준을 제공하고, 아직까지 국내에서 검증되지 않은 Zone-Model이 우리의 현실에 잘 적용되는지를 보여주고 우리가 적용하고 있는 소방에 관련된 법규나 화재에 관련된 자료에 기준을 제공하는 것이다.

2. 해석 모델

실물 화재실험에 의해 나온 결과들을 보면 한 공간에 화재로 인해 발생.되는 온도는 뜨거운 공기가 존재하는 상부지역과 상부보다는 훨씬 온도가 낮은 공기가 존재하는 하부지역으로 이루어져 있다. 그러므로 상부 공기는 하부공기보

다 큰 부력으로 인해 연소로 발생된 연소생성물-연기입자, 그 외의 많은 부유물-을 연소실과 연결된 인접한 곳으로 이동시키는 원동력이 된다. 이것을 토대로 발전한 Model이 Zone-Model이고 이 중에서 가장 대표적인 Program이 C-FAST[3]이다.

실물 화재실험을 통하여 나온 실험 결과를 비교하기 위해 위에서 언급한 C-FAST를 사용하였다. C-FAST는 화재 성장-모델링(fire-growth modeling)이 없이 실험을 통하여 나온 자료-연소열, 질량감소율, 방출열량, 연기성분, 연기농도-를 사용하여 나온 열량으로 연소실을 3개의 지역(하부층, 상부층, Plume)으로 나누고 그 외의 공간은 2개의 지역(하부층, 상부층)으로 나누어 화재를 예측한다. 연소실에서는 화재가 발생하면 Plume을 형성하고, 이 Plume에 의해 화염에서 생성된 열량이나 연소 생성물을 상부로 이동시켜고 이로 인하여 온도가 높은 상부 지역이 형성된다. 그 외의 지역은 부피팽창에 의해 이런 현상들이 전달된다. 이상기체 상태방정식에 의해 온도가 상승된 비율에 따라 상부의 Zone이 팽창하여 팽창된 상부 Zone의 일부는 연소실의 아래로 하강하며 일부는 인접한 지역으로 퍼져나가면서 차거운 공기와 혼합을 일으키며 온도가 점점 감소하여 부피팽창의 비도 조금씩 감소한다. 온도의 상승에 의해 부피가 팽창하면서 연소실 상부의 뜨거운 공기, 가연물이 연소되면서 생성되는 연소생성물을 이동시킨다. 연소실이외의 지역에서 차거운 공기와 뜨거운 공기의 혼합은 실험에 의한 자료를 이용하였다. 특히, Time-dependent Variables (방출열량율, 개구부, 연소면적 등)에 대하여 입력시킬 수 있는 Time step이 20단계로, 연소시킬 수 있는 가연물질의 수가 5개로 제한 되어있고, 한 개의 연소실만 허용되므로 거실의 화재에 의해 발생된 결과에 대해서만 실제 실험에서 나온 결과와 비교하였다. 실물 화재실험의 결과를 보면 화재의 성상은 짧은 시간에도 많은 변화를 보인다. 그러나 C-FAST에서는 화재에 대한 자료를 20단계로만 입력이 가능하므로 자세한 부분에 대한 자료 입력이 어려우므로 Model에서 얻은 결과와 실제 화재실험에서 얻은 결과와는 어느 정도의 차이를 보인다.

3. 실물 화재실험

내화 건축물 화재의 경우 개구부의 형상, 크기, 위치, 가연물의 양과 질에 따라 화재초기의 현상에 많은 영향을 미친다는 실험결과가 있다. 화재실험에서는 취득할 자료가 온도, 연기성분, 연기 농도, 화염의 상부로의 분출등을 조사하기 위해 여러 가지의 계측장치와 가연물을 배치하였다. 여기에 대한 자세한 화재실험 장치자료는 아래와 같다.

(1) 실험주택

용 도 : 공동주택 (5층 콘크리트 아파트)
주택면적 : 24평형 (193M³)
실내 높이 : 2.4m
건물의 내부 구조 및 평면도 : 방3개, 거실, 주방, 화장실, 전면발코니, 후면발코니

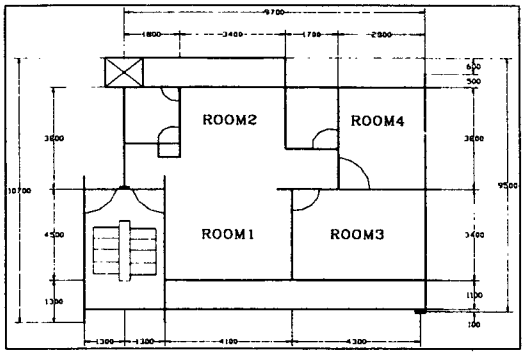

그림 1. 대상 건물의 평면도.

(2) 실험조건

1) 실물 화재실험에서의 가연물의 양

실물 화재실험에서는 거실, 주방, 안방, 작은방, 부엌방, 다용도실, 전면 발코니에 가연물을 실제 상황과 비슷하게 배치하여 약 2,060kg정도의 가연물을 배치하였다.

특히, 우리나라의 전면 발코니는 개조되어 생활공간으로 사용되거나 빨래 건조기와 같은 가

연물들을 많이 쌓아두는 창고로 사용되는 점을 감안하여 화염이 상부로 전파되는가를 실험하기 위해 전면발코니에 표에서와 같은 가연물을 배치하였다. 자세한 내용은 표 1과 같다.

2) 개구부 조건

초기치 개구부 조건

ⓐ 전면 발코니 : 11개중 2개 개방

ⓑ 거실 창문 : 4개중 1개 개방

ⓒ 안방 창문 : 4개중 1개 개방

표 1. 실제 화재실험에서 사용된 수납가연물.

구 획 명	수납물 명	가연물 중량(kg)	내 용
			총 화재중량
거 실	카페트	21	가연물질
	거실장식장	60	
	TV	14	
	TV 장식장	17	
	쇼파	92	
	기타	764.6	
	소계(64종)	970	
주 방	식탁	17	
	쌀통	13	
	냉장고	58	
	기타	172.6	
	소계(24종)	260.6	
안방	이불	72.5	
	장롱	148	
	병풍	9	
	화장대	42	
	TV	17	
	기타	227	
	소계(33종)	515.5	
작은방	책꽂이	10	
	책상	20	
	책	7	
	computer	20.5	
	옷걸이	5	
	기타	124.7	
	소계(21종)	187.2	
부엌방	책상	22.5	
	다림질판	2.5	
	소계(2종)	25	
다용도실	대나무소쿠리	3.5	
	세탁기	32	
	소계(2종)	35.5	
전면 발코니	옷	3	
	나무	40	
	기타	11	
합계(150종)		2046.4kg	

ⓓ 안방 방문 : 3개중 1개 개방
ⓔ 작은방 문 : 3개중 1개 개방
ⓕ 작은방 창문 : 완전 밀폐
ⓖ 부엌문 : 후면베란다로 나가는 문을 완전 개방
ⓗ 후면 베란다 창문 : 4개중 1개 개방
ⓘ 그외의 개구부는 모두 밀폐

3) 개구부의 변화

flash-over(약 380초)후에 개구부 조건이 아래와 같이 변화됨.

ⓐ 전면발코니 : 2개에서 6개로 변화
ⓑ 거실창문 : 1개에서 2개로 변화

4) 점화원 및 점화방법

목재(2[cm] * 2[cm] * 60[cm])를 12매씩 우물 정(井)자 형태로 5단(총 60개)으로 쌓은 다음 알콜 800cc로 적신 후 점화하였다.

5)실험장치

ⓐ 온도측정 : 거실, 주방, 안방, 작은방에 그림 3.과 같은 열전대를 설치하였다.
연소실의 높이에 따른 온도변화를 조사하기 위해서 천정에서부터 0.1[m], 0.5[m], 1.3[m], 2.3[m] 등 4개의 높이에 열전대를 설치하였다.
(천정에서 바닥까지 2.4[m])

ⓑ 가스농도측정 : 화재발생시에 거주자들의 대피시간 예측과 화재 성상을 해석하기 위해서는 건물내부의 가스 농도 측정이 필수적이다. O_2와 CO의 량을 측정하기위해서 거실중앙 바닥에서부터 2.2[m] 높이에 측정기를 설치하였다.

ⓒ 연농도 측정 : 화재시에 발생되는 연기는 인체에 유해한 가스를 포함하고 있을뿐만 아니라 고온이며 거주자의 비상 탈출에 필요한 투시거리를 감소시킨다. 따라서 거주자의 안전한 대피를 위해서는 화재시의 연기유동에 대한 해석을 필요로 한다. 화재실에서 발생한 연기가 안방으로 이동하는 현상을 관찰하기 위해서 연기농도계를 안방 중앙바닥에서부터 2.2[m] 높이에 설치하였다.

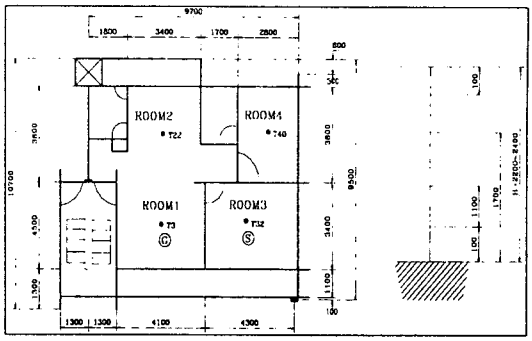

그림 2 열전대 그림 및 계측장비의 설치 위치.
(S : 연기농도계, G : 가스농도계, T : 열전대)
(온도 측정 위치 : 50개소, 가스농도 및 연농도계 등을 포함한 analog 5개소)

4. Zone-Model의 적용

(1) Zone-Model와 실물 화재실험의 가연물량 비교 (거실에 대하여)

화재의 severity(강도)는 가연물의 양 즉, 화재하중에 의해서 결정된다. 화재 하중은 흔히 연소가능한 물질을 그 물질이 차지하고 있는 면적으로 나누어 계산한다[9]. 실제 화재실험에서의 거실 화재 하중은 약 64[kg /m²]가 된다. 그러나, 화재 실험에서의 가연물은 연소실(거실)의 전 면적에 분포되어있지만 해석 모델에서는 5개의 가연 물질은 서로 떨어져 위치하고 있으므로 실질적으로 가연물이 차지하고 있는 면적은 화재 실험에서 사용한 면적의 약 1/3정도가 되므로 해석 모델에서의 화재 하중은 약 67[kg /m²]이 된다. 또, 화재중량과 화재의 지속시간을 나타낸 관계를 보면 약 70[kg /m²]의 화재 하중이면 약 100분정도[9]를 지속한다. flash-over이후에 연소되지 않은 하중의 양도 고려하면 해석 모델에서 사용한 화재 하중은 충분히 타당하리라 본다. 이에 근거하여 Zone-Model에서의 화재 하중을 결정하였다. 이 화재 하중은 외국 거실의 평균 화재중량 자료[9]와 비교하면 4-5배 정도가 높으나 우리 나라의 주거 공간의 특성상 문제로 이 같은 차이가 생겼다고 생각된다.

(2) Zone-Model에서의 연소실 구획

연소실을 총 10개로 구획 : 그림 3

(10번째는 외부로 계산)

표 2. 실제 실물실험과 Zone-Model에서의 가연물량의 비교.

내용	실제 실험		Zone-Model	
화재 중량	890kg		310kg	
가연 물질	목재류	180kg	closet	92kg
	sofa	112 kg	sofa	90kg
	서적	568kg	서적	102kg
	crib	30kg	소나무	30 kg

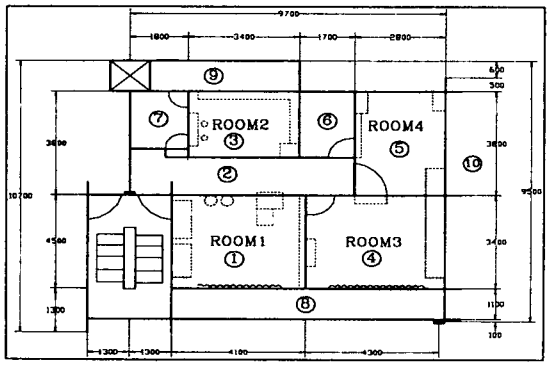

그림 3. 연소실 구획에 대한 평면도.

1 : 거실, 2 : 복도, 3 : 주방, 4 : 안방, 5 : 작은방,

6 : 목욕탕, 7 : 작은방(주방옆), 8 : 전면 베란다,

9 : 후면 베란다, 10 : 외부

(3) FIRE SCENARIO

fire scenario란 화원에서 화재가 발생하여 화염이 다음 가연물로 옮겨가는 것을 말한다. 화원으로부터 다음 가연물질로 화염이 전파되기 위한 거리와 heat-release rate[kw/m²]와의 관계에서 fire scenario[10,11]를 결정하였다. 신문과 같이 연소되기 쉬운물질은 단위면적당 heat flux가 10[kw/m²], 소파같은 물질은 20[kw/m²], 두께가 1.3[cm]이상인 재질이 나무인 옷장같은 물질은 40[kw/m²] 정도의 heat flux에 의한 복사열에 의해 가연물질로 부터 연료가스가 배출된다[10].

Zone-Model에서 사용한 화원은 소나무이고 소파+책, 책장+책, 책(1) 그리고 책(2)의 순서로 화염이 옮겨간다고 계산하였다. 화염이 화원에서 전파되는 시간을 절대시간으로보면 위와 같은 순서로 150초, 210초, 420초 그리고 480초가 걸린다고 계산하였다.

5. 결과 및 토의

그림 4.는 거실 상부에서 실험치와 Zone-Model의 CO농도를 시간에 따라 비교한 그림이다. 실험에서의 CO농도는 가연물이 연소시 발생되는 CO농도에 의하여 380초까지 완만히 상승하였다. 그리고, 380초에 발생한 flash-over이후 급격한 변화를 보인다. 380초에 flash-over가 일어난 것은 거실에서의 온도가 상승되는 것을 보면 알 수 있다. 380초에 CO농도의 증가는 연소물질 자체에서 발생되는 CO농도와 급격한 연소로 인한산소량의 부족으로 인한 불완전 연소의 발생 때문이라 생각된다. Zone-Model에서는 연소가 진행됨에 따라 CO농도가 서서히 증가하다가 210초 정도에 약 1.4%까지 상승하였다. 실험의 CO농도와 모델링의 CO농도를 비교하면 약 3배 정도의 차이를 나타낸다. 이것은 실물 화재실험에서는 카페트, 플라스틱제품(TV), 옷가지 등의 화학물질이 많았으나 이런 물질들을 Zone-Model에서는 프로그램의 제약상 나무옷장, 책, 소파, 소나무로 대치한 것이 그 차이의 원인이라 하겠다. CO가 0.4%정도이면 한 시간 이내의 호흡으로 사망[12]할 수 있으며, Zone-Model에서의 CO농도 1.3%이면 1분정도의 호흡으로 사망할 수 있으므로 실험결과의 CO농도 4%는 극히 위

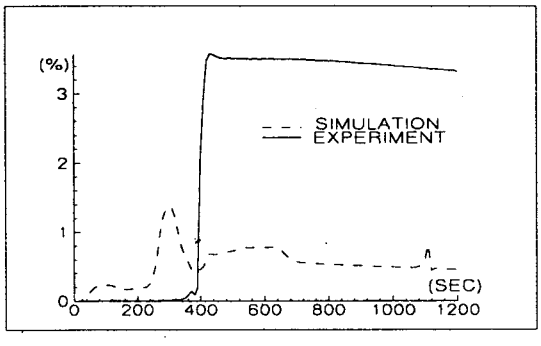

그림 4. 거실 상부에서의 일산화 탄소 농도의 비교.

험한 수준임을 알 수 있다. 건물안에 있는 사람이 CO의 위험에서 벗어나려면 최소한 해석 모델에서는 300초, 실험치에서는 380초 이전에 대피해야 한다.

그림 5.는 실험치와 Zone-Model의 거실상부의 산소농도를 시간에 따라 비교한 것이다. 실물화재실험에서는약 21%의 산소 농도에서 출발하여 계속 감소하다가 400초에 산소의 농도가 0%가 되었다가 440초경에 전면 발코니 창문의 파괴로 인한 개구부의 확대로 산소의 유입 증가와 일시적인 연소 물질의 소진으로 산소의 농도가 증가되는 것을 보인다. 산소의 농도를 측정한 지점이 천정에서 0.2m 아래 지점이기 때문에 화염의 소화와는 관련이 없고, 산소의 양이 0%가 되는 것은 flash-over로 인해 생긴 강한 plume과 높게 치솟은 화염기둥의 연소 때문에 측정지점에 존재하는 산소가 0%가 되었다고 생각된다. Zone-Model에서는 산소의 농도가 약 360초에 0%가

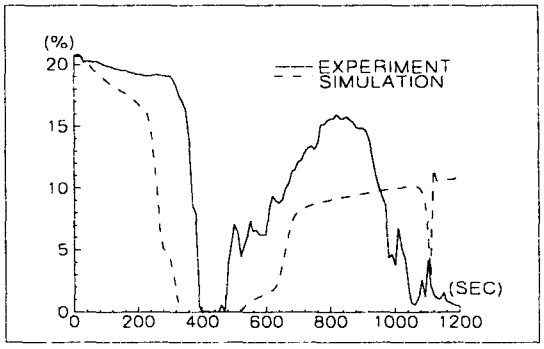

그림 5. 거실 상부에서의 산소농도의 비교.

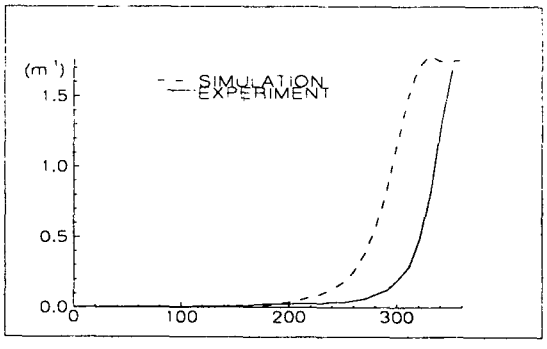

그림 6. 안방 상부에서의 연기 농도 비교.

되었다가 약 510초 정도 에 증가하는 경향을 보인다.

그림 6.은 안방 상부에서의 연기 농도를 시간의 변화에 따라 비교한 것이다. 연기의 농도를 표시하는 방법[12]에는 ㉠ 중량농도법[mg/m³], ㉡ 입자농도법[개/m³], ㉢ 투과율법[m^{-1}]이 있다. 이 중에서 화재 실험에서는 투과율법을 사용하여 연기 농도를 나타내었다. 실험장치의 고장으로 350초까지만 실험치와 Zone-Model에서 나온 값을 비교하였다. 연소실에서 발생한 연기가 이웃한 공간으로 채워질때는 뜨거운 공기의 부력 때문에 공간의 상부부터 채우므로 안방 상부에서의 연기 농도를 비교하였다. 화재 실험에서는 200초까지는 연기 농도의 변화가 없다가 그 이후에 증가하기 시작하여 350초 정도에는 1.6 [m^{-1}]까지 상승하였다. Zone-Model에서는 실물 실험과 같이 200초 이후에 급격한 변화를 보이며 300초에 1.75[m^{-1}]까지 상승하였다. 연기농도와 피난에 필요한 거리에 대한 자료에 의하면 건물을 잘 아는 사람의 피난시야한계는 3-5m, 피난한계 농도(Cs)는 0.2-0.4[m^{-1}]이고, 건물을 알지 못하는 사람의 피난한계는 20-30m, 피난 한계농도는 0.07 - 0.13[m^{-1}][12]이다. 실험결과와 Zone-Model에 근거하면 아무리 건물을 잘 아는 사람이라도 250초이내에 피난해야 연기로 인한 시각의 방해없이 피난할 수 있다.

그림 7-a, 7-b는 실험치와 Zone-Model의 거실상부 온도와 Interface를 시간의 변화에 따라 나타낸 그림이다. 실험결과를 보면 온도가 300초에 160[℃]인 온도가 연소가 활발해지면서 380초에는 약 970[℃]까지 상승하면서 flash-over가 발생하였다. 이 flash-over의 영향으로 외부 유리가 파괴되면서 공기의 공급과 가연물질의 소진으로 거실의 온도가 400초 정도부터 떨어지는 경향을 보이다가 800초에는 320[℃]가 되었다. Zone-Model에서는 온도가 200초에 240[℃]까지 상승을 보이다가 그 이후에 급격한 상승을 보이며 400초에는 약 820[℃]까지 상승하였다. 온도가 천천히 내려가면서 뜨거운 공기층의 영역을 표시하는 경계면(Interface)의 상승 즉, 뜨거운 공기의 영역이 감소함을 볼 수 있다. 앞에서

도 언급한 바와 같이 Zone-Model의 특성상 경계면의 위치는 화재 형상을 해석하는데 중요한 요소가 된다.

그림 8-a, 8-b는 전면 발코니에서의 온도와 heat flux를 실험치와 Zone-Model 결과를 시간에 따라 나타낸 것이다. 실험에서는 340초 까지는 거의 변화가 없다가 380초 정도에 거실의 flash-over로 인하여 화염이 전파되면서 400초에는 900[℃]까지 온도가 상승하였고 약 18분 후에 윗층으로 전파되는 것을 볼 수있었다. 해석 모델에서는 200초에 130[℃]의 온도를 보이다가 그 이후에 급격한 변화를 보이면서 400초에는 약 950[℃]까지 상승하였다. 이 상부로의 화염전파는 그림 8을 사용하여 전면 발코니에서 온도가 상승하는 것과 이 곳에서 발생되는 열량이 최고일때가 약 2.8MW가 됨을 이용하여 나타낼 수 있다. 화재 실험에서는 열량을 측정하지는 않아서 정확한 비교는 힘들지만, Zone-Model에서 발

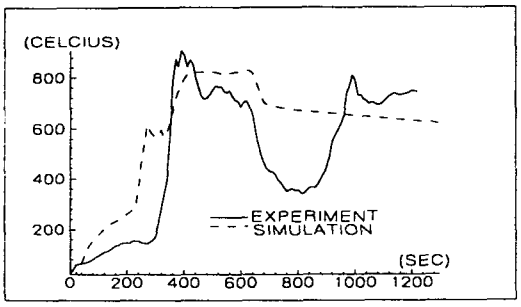

그림 7-a 거실 상부의 온도비교.

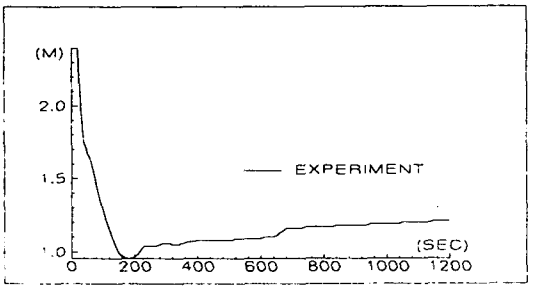

그림 7-b Zone-Model에서의 거실 상부의 경계면.

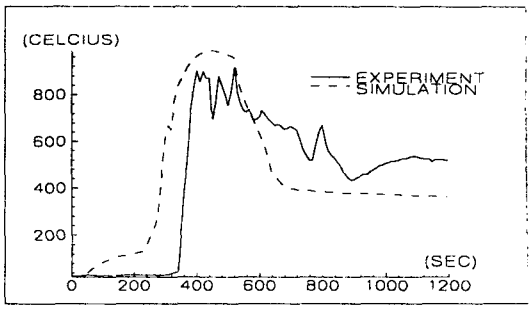

그림 8-a 전면 발코니에서의 온도 비교.

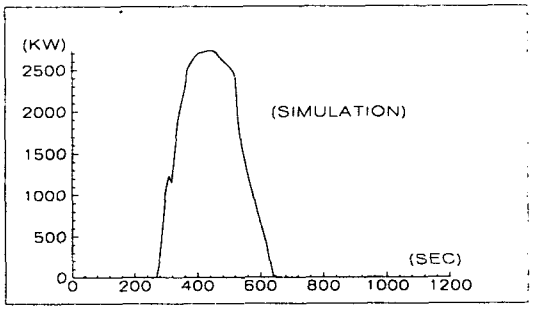

그림 8-b Zone-Model에서 전면발코니의 발생 열량

생된 2.8MW라는 열량은 중량이 40[kg]인 sofa가 연소시 최대 2.89MW의 열량을 발생[13]시키므로 상당히 큰 열량이다. 발코니의 온도가 높게 올라간 이유는 거실에서 연소가 진행되면서 산소량이 줄어들고 이와는 반대로 내부의 온도는 점점 높아져서 연료 가스의 배출량이 증가되지만, 산소의 부족으로 연소가 되지않은 상태로 존재하고 있다가 flash-over이후 발코니와 거실의 창문이 파괴되면서 산소의 유입으로 화염이 발코니로 전파되었기 때문이라 생각된다.

6. 결 론

건물 화재에서의 화재 성상을 실물 화재실험과 Zone-Model을 통하여 고찰하여 보았다.

그 결과들로부터 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) flash-over는 화재 실험에서 약 380초에, Zone-Model에서는 약 420초에 발생하였다.

(2) 거실 상부의 온도는 화재 실험에서는 970도, Zone-Model에서는 840도까지 상승하였다.

온도의 상승 경향은 두 가지 경우가 유사한 경향을 보였다.

(3) 거실에서의 interface는 Zone-Model에서 200초에 천정에서 최대로 1.4[m]까지 아래로 하강하였다가 그 이후에 조금씩 상승하는 것을 볼수 있었다.

(4) 거실 상부에서의 CO농도는 화재 실험에서 400초에 급격한 변화를 보이면서 3.5%까지 상승하였고, Zone-Model에서는 300초에 1.3%까지 상승 하였다. CO의 농도에 대한 실험-결과와 Zone-Model 결과에서 Zone-Model 결과가 실험 결과보다 140초정도 빠르게 상승하는 경향을 보이고있다.

(5) 거실 상부에서의 O_2농도는 두 경우 모두 상당히 유사한 경향을 보이며, 화재실험에서는 400초에 0%를 보였고, Zone-Model에서는 360초에 0%까지 떨어지는 것을 볼 수 있었다.

(6) 안방에서의 연기 농도는 화재 실험과 Zone-Model에서 200초까지는 변화가 거의 없다가 Zone-Model에서 먼저 상승하여서 350초에는 두 경우가 1.65[m^{-1}]까지 상승하였다.

(7) 전면 발코니에 가연물이 있을 경우 화재실험과 Zone-Model에서 모두 상부로의 화염이 전파되는 것을 보였다.

(8) 위에서 얻은 결과로부터 실험에 사용된 건물에서 피난 시간을 예측하면 CO의 영향으로부터는 Zone-Model에서는 300초, 화재 실험에서는 380초 이전에 피난해야 하며, 연기농도에 의한 시각의 방해없이 피난하려면 Zone-Model과 화재 실험 모두에서 250초 이내에 피난해야 한다는 결론을 얻었다.

(9) Zone-Model이 국내의 화재상황에 잘 적용됨.

참 고 문 헌

1. 김광일, "화재 잠재 위험성 평가를 위한 고찰", 한국소방학회지 8권 1호, 1994년 3월.
2. Dr. Craig Beyler, "Introduction to Fire Modeling," Information and Analysis for Fire Protection.
3. Richard D. Peacock, et al., "The Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport," NIST Technical Note 1299.
4. J.A. Rockett, et al., "Comparisions of NBS /HAVARD VI Simulation and Data from all Runs of a Full-scale Multi Fire Test Program," Fire safety Journal, Vol 15, 1989.
5. D.Q. Duong, "The Accuracy of Computer Fire Models : Some Comparisons with Experimental Data from Australia," Fire safety Journal, Vol 16, 1990.
6. P.C.R. Collier, "Fire in a Residental Building : Comparisons Between Experimental Data and a Fire Zone Model," Fire technology Third Quarter 1996.
7. "95화재 통계연보", 내무부.
8. 한 용식, 김 명배, 최 준석 등, "건물 화재에서의 화재 성상해석", 제14회 KOSCO SYM -POSIUM 논문집 (한국연소학회).
9. John A.Campbell, "Confinement of Fire in Buildings," Information and Analysis for Fire Protection".
10. Richard D.Peacock, et al., "Technical Reference Guide for the HAZARD I Fire Assessment Method," NIST Handbook 146.
11. Edward K.Bundwik, et al., "Simplified Calculation For Enclosure Fires," Information and Analysis for Fire Protection.
12. 양성환, "건축물의 화재와 연기 제어", 소방기술 자료집, 1984.
13. "NFPA 92B Guide for Smoke Management System in Malls, Atria, and Large areas," 1991 Edition.

이 논문은 1997년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

감사의 글

본 연구는 과학기술처 방재사업의 일부인 "공공건물 소화설비의 성능평가 기술개발" 연구사업 결과의 일부로 관계자 여러분께 감사드립니다.