

# 고층 공동주택의 개구특성에 따른 화재시 열·연기유동에 관한 연구 Distribution of Heat and Smoke Related to Openings in Hise-Rise Apartment Building Fires

이 지 희

Lee, Ji-Hee

경북대학교 건축공학과 한국과학재단 연구원  
(2001. 06. 09 접수/2001. 06. 18 채택)

## 요 약

본 연구는 우리나라 고층 공동주택의 화재에 대한 안전성을 강조하고, 화재 발생시의 인명피해와 재산 피해를 감소시키기 위해서 개구특성에 따른 화재시 열·연기 유동에 관한 연구를 통하여 계획적 측면의 화재 안전성 방향을 제시하고자 하였다. 열유동해석 프로그램을 구축하고 그것을 이용해서 공동주택의 개실과 단위주호 그리고 단위주동을 대상으로 수치해석과 실험해석을 병행하였다. 그 결과, 고층 공동주택의 개실에서 개구의 개폐유형이 화재의 열 및 연기유동에 영향을 끼치므로 평면계획시 개구유형에 따른 별도의 방화대책을 강화해야하며, 두 번째, 고층 공동주택의 단위주호에 있어서 평면유형에 따라서, 열과 연기의 전파시간에 차이가 있음을 수치해석을 통해서 그 결과를 유도했으며, 세 번째, 단위주동을 대상으로 했을 때, 개구 개폐유형에 따라 열 및 연기유동의 수치해석과 모형실험을 통해서 화재성상에 차이가 있음을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

The paper proposes alternatives for fire safety in architectural planning through heat-smoke distribution related to openings so that we decrease casualty and property loss by fire and lay a great emphasis on building high-rise apartments with consideration of fire safety in Korea. An analysis program(HFA-Heat Fluid Analysis) is built to perform simultaneously numerical analysis and experimental analysis on rooms, units and buildings. In consequence, on the first, fire prevention methods are required to be set up related to openings for design rooms since the flow of heat and smoke is influenced by the type of openings in high-rise apartments. Second, the numerical analysis showed that different planning types cause to show differences in the spreading time of heat and smoke to design the units of high-rise apartments. On the third, each unit building showed different fire behavior depending on openings by numerical analysis and small scaled experiment on heat and smoke flow.

**Keywords :** High-rise apartments, Fire, Opening location, Heat-smoke distribution, Behavior

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 우리나라의 도시주거 형태는 共同化, 過密化의 진전으로 인해 공동주택이 보편적인 도시주거 유형으

로 자리 매김하고 있다. 1995년 주택유형별 분포에 의하면, 단독주택과 공동주택(아파트, 연립 및 다세대주택 포함)의 비율이 1990년에는 단독주택이 66%를 차지해서 가장 높았으나, 1995년에는 공동주택의 비율이 49.2%로 단독주택보다 높게 나타났다.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>통계청, 1995년 15회 인구주택총조사보고서(1925년 이후 5년 주기로 조사, 단독주택 57만 4천호, 아파트 73만 9천호, 연립주택 36만 5천호).

† E-mail: zikky@dreamwiz.com

이러한 공동주택은 단독주택에 없는 편리성, 기능성, 경제성 등이 있는 반면, 경제 논리와 정책적으로 계획·시공되어 왔을 뿐, 고층화에 따른 인간의 본연적인 문제로써 제시되고 있는 안전의 욕구에 대해서 소홀히 다루어져 왔다고 볼 수 있다.

특히, 다른 건물과는 달리 공동주택의 거주자가 유아, 노인, 신체장애자 등 다양한 인적 구성의 형태로 이루어져 있어서 화재발생 건수에 비해 인명피해가 월등히 높은 편이다. 따라서, 공동주택에서의 화재에 대한 위험성을 인식하고, 그에 대한 인적·물적 피해를 최소화하기 위한 대책마련이<sup>2)</sup> 시급하다. 이러한 구체적인 대책마련을 위해서는 공동주택의 여러 가지 화재성상을 파악하고, 방화계획의 필요성을 깊이 인식하여, 실제 단계에서 방화계획의 도입이 적극 검토되어야 한다.

본 연구의 목적은 건축물 특히 고층 공동주택의 계획적 측면에서의 화재 안전성의 방향을 제시하는 것이며, 특히 안전한 건축공간의 계획수법을 탐구하는데 있으며, 궁극적으로는 화재시 건축물 내의 인적·물적 피해를 최소화하는데 있다.

### 1.2 연구의 방법

본 연구는 인간 생활의 기본이 되는 주거생활 중에서도 주거 밀도가 가장 높은 공동주택을 대상으로 하며, 이것은 현행법규에서 공동주택으로 규정하고 있는 아파트, 연립주택, 다세대주택 그리고 실질적으로 공동주택이라 할 수 있는 다가구 주택, 다중주택을 포함한다. 연립주택, 다세대주택, 다가구 주택, 다중주택 역시 중요하게 다룰 필요성이 크지만, 본 연구에서는 최근 양적으로 도시환경의 영향 측면에서 비중이 높아지고 또한 주거밀도가 높은 고층 아파트를 그 대상으로 하였다.

본 연구의 진행방법은 고층 공동주택의 계획적 측면에 있어서 화재안전성의 방향을 제시하는 그 대책의 일환으로써, 그 출발점을 열, 연기유동의 수치해석에 두고, 그 해석을 프로그램화하였다. 본 프로그램의 타당성을 검증해보기 위해 단실(單室) 모형에 대한 실험을 행하고, 수치해석과 비교한다.

개구부가 서로 마주보고 있는 경우와, 개구부가 90° 각도를 이루고 있는 개실(個室)이 있는 고층 공동주택을 대상으로 해서, 그 개실에 있어서의 열, 연기유동을 본 프로그램을 이용하여 2차원 수치해석을 한다.

개실이 있는 단위주호(單位住戶)의 화재시 열, 연기유동을 열유동 해석 프로그램을 이용하여 2차원 수치해석을 한다.

단위주동(單位柱棟)을 대상으로 해서, 즉, 계단실형, 타워형, 편복도형의 단위주동의 개구 개폐유형을 변수로 했을 때, 상용프로그램인 피닉스(Phoenix)를 이용하여 3차원 수치해석을 한다. 그리고, 이 결과의 객관성을 입증하기 위하여 모형실험을 실시한다.

## 2. 수치해석을 위한 프로그램 구축

### 2.1 기본가정

열유동현상을 파악하기 위하여 다음과 같은 가정 하에서 수치해석을 행하였다.

- 2차원 난류유동을 하며 복사열 전달 및 압축성 효과는 무시하는 비압축성 점성유체이다.
- 물리적 성질은 중력항의 밀도를 제외하고는 일정하게 유지된다(Boussinesq 근사로 한다).

### 2.2 지배방정식<sup>3)</sup>

- 흐름함수식

$$\nabla^2 \psi = -\omega \quad (1)$$

- 와도수송방정식

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \nabla^2 \omega + g\beta \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2)$$

- 에너지방정식

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \chi \nabla^2 T \quad (3)$$

- 속도

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (4)$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (5)$$

여기서,

$\psi$  : 흐름함수(stream function)

$\omega$  :渦度(vorticity)

$\beta$  : 체적팽창계수(1/k)

$u$  : x방향 속도(m/s)

<sup>2)</sup>東京消防廳 豫防部 調査課, “火災事例からみた高層共同住宅の防火管理と問題點”, 設備と管理, 21, No.8(1987), p.39-44.

<sup>3)</sup>林 健次, 遠山 洋, 二之宮弘, パソコンによる流れ解析, 朝倉書店, 1988. 2, pp79-105.

- v : 동점성계수(m<sup>2</sup>/s)
- v : y방향 속도(m/s)
- χ : 열확산율(m<sup>2</sup>/s)
- T : 온도(°C)
- g : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

**2.3 유한요소방정식**

앞서 제시한 비선형 편미분 방정식의 해를 구하기 위해서는 요소에 대해 적분함으로써 대수적인 형태로 이산화하는 과정을 거쳐야 한다. 요소분할 후, 공간방향으로의 이산화를 위해 Galerkin법을, 시간에 관해서는 Crank-Nicolson 차분식을 사용하여 흐름함수식, 와도수송방정식, 에너지방정식을 연립시켜 흐름함수 ψ 와도 ω 온도 T의 순으로 구한다.

**2.3.1 공간으로의 이산화**

식 (1)~식 (3)에 각각 임의의 무게함수를 곱하여 영역에 대해 적분한다. 그리고 이를 삼각형 요소 내에서 근사하여 모든 요소에 대하여 더하면 다음의 전체방정식이 얻어진다.

$$[D]\psi - [M]\omega - \Gamma_2 = 0 \tag{6}$$

$$[M]\dot{\omega} + [A(\psi)]\omega + v[D]\omega - F - \Gamma_4 = 0 \tag{7}$$

$$[M]\dot{T} + [A(\psi)]T + \chi[D]T - \Gamma_7 = 0 \tag{8}$$

**2.3.2 유한요소방정식**

공간 및 시간에 대하여 이산화를 행하면 식 (6)~식 (8)은 각각 다음과 같이 된다.

$$[D]\psi^{n+1} = [M]\omega^n + \Gamma_2^{n+1} \tag{9}$$

$$[M]\frac{\omega^{n+1}}{\Delta t} + v[D]\omega^{n+1} = [M]\frac{\omega^n}{\Delta t} - [A(\psi^{n+1})]\omega^n + F^n + \Gamma_4^{n+1} \tag{10}$$

$$[M]\frac{T^{n+1}}{\Delta t} + \chi[D]T^{n+1} = [M]\frac{T^n}{\Delta t} - [A(\psi^{n+1})]T^n + \Gamma_8^{n+1} + \Gamma_7^n \tag{11}$$

여기서,

$$[D] = \sum D_{\alpha\beta} = \frac{1}{4\Delta^c} (b_\alpha b_\beta + c_\alpha c_\beta)$$

$$[M] = \sum M_{\alpha\beta} = \frac{\Delta^c}{12} (1 + \delta_{\alpha\beta})$$

$$[A] = \sum A_{\alpha\beta} = \frac{\Delta^c}{12} \left\{ \left( \sum_{r=1}^3 c_r \psi_r \right)_\alpha b_\beta - \left( \sum_{r=1}^3 b_r \psi_r \right)_\alpha c_\beta \right\}$$

단,

$$b_1 = y_2 - y_1, \quad b_2 = y_3 - y_1, \quad b_3 = y_1 - y_2$$

$$c_1 = x_3 - x_2, \quad c_2 = x_1 - x_3, \quad c_3 = x_2 - x_1$$

(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) : 국부좌표계에서의 각 절점의 좌표(i=1~3)

Δ<sup>c</sup> : 요소의 면적, d<sub>αβ</sub> : 크로네커 델타 {F} : 부력항

**2.4 수치해석 순서**

소영역에서 ω<sub>0</sub>=0(t=0)를 주어 식 (9)를 풀고, 포텐셜 흐름 ψ<sub>1</sub>(t=1)를 구한다. (ω<sub>1</sub>, ψ<sub>1</sub>)을 식 (10)에 대입하여, Δt 후의 와도 ω<sub>1</sub>(t=Δt)를 구하고, 다음에 (ω<sub>1</sub>, ψ<sub>1</sub>, T<sub>0</sub>)을 식 (11)에 대입하여 Δt 후의 온도 T<sub>1</sub>(t=Δt)를 얻는다.

이렇게 하여 얻어진 t=Δt(n=1) 단계에서의 해(ω<sub>1</sub>, ψ<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>)를 식 (9)~(11)의 순으로 대입하여 t=2Δt(n=2)단계에서의 해(ω<sub>2</sub>, ψ<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>)를 얻는다.

이상의 계산순서로 구축된 열유동 해석프로그램 HFA를 사용하여 2차원 수치해석을 행하였다.

2.1~2.4에 제시한 순서를 따라 매트릭스화한 식을 이용하여 경계조건 및 초기조건을 넣어 C언어를 사용, 프로그램을 구축하였다. 다음은 프로그램의 초기화면, 입력데이터의 구성화면, 열유동해석 프로그램의 실행, 출력데이터의 구성화면이다(그림 1~그림 4).

본 연구에서는 2차원 해석을 위해서는, HFA 프로그램을 이용하였고, 3차원 해석에 있어서는, 상용프로그램인 피닉스(Phoenix)를 이용하였다.

본 프로그램을 이용하여 실험 및 수치해석을 행한 결과<sup>4)</sup> 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

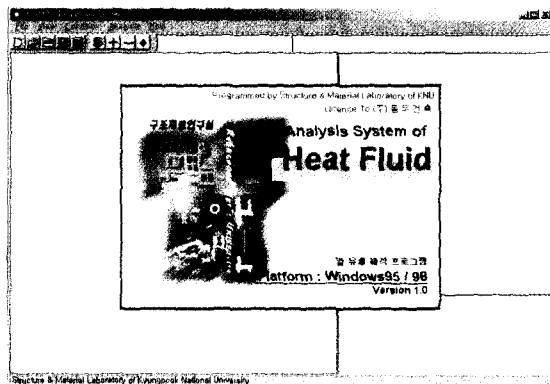


그림 1. 초기화면

<sup>4)</sup>이지희 외, 高層 아파트의 火災時 開口部 위치에 따른 熱流動性狀에 관한 研究, 대한건축학회 논문집, 2000. 4.

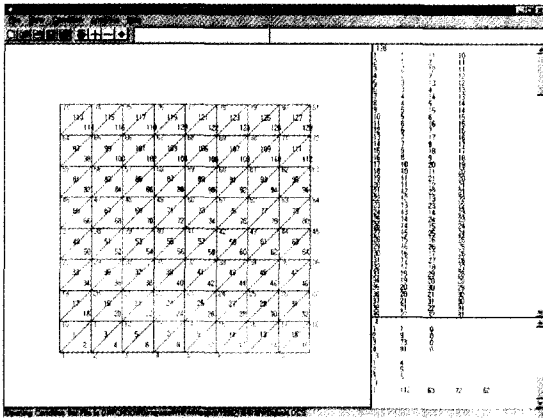


그림 2. 입력데이터의 구성

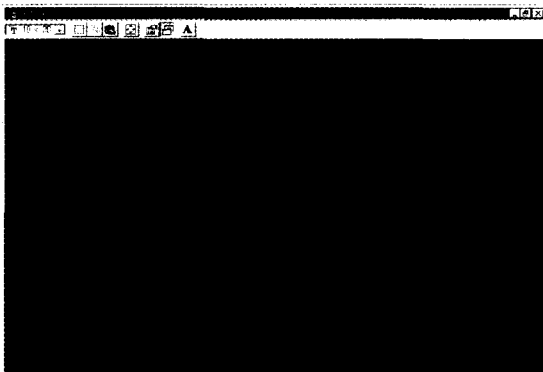


그림 3. 열유동해석 프로그램 실행

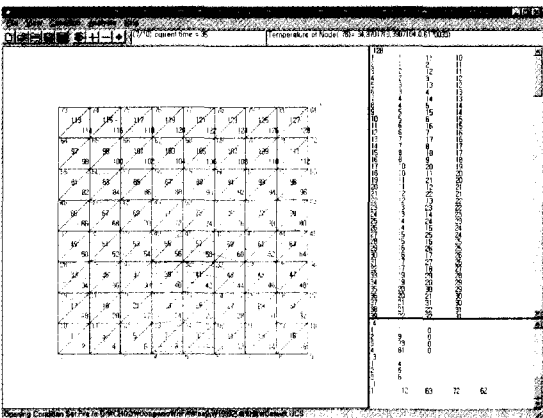


그림 4. 출력데이터의 구성

### 3. 개실(個室)에 있어서의 열·연기유동 분석

개구부가 서로 마주보고 있는 경우와 개구부가 90° 각도를 이루고 있는 개실이 있는 고층 공동주택을 대상으로 해서, 그 개실에 있어서의 열, 연기유동을 HFA를 이용하여 2차원 수치해석 하였다.

#### 3.1 모델 선정

모델 선정은 대구시에 건설된 최근 5년간의 아파트 단위평면을 유형별로 분류하여, 크게 6가지로 나누어서 각 평면유형별로 선정하였다(표 3). 각 실의 크기, 개구부 크기 및 개구부 위치는 다음과 같다(표 2).

#### 3.2 火源 溫度

본 논문에서 사용한 화원의 시간·온도곡선은 다음과 같다(그림 5). 이는 해석모델과 동일한 공간에서 목재환산화재하중 5 kg/m<sup>2</sup><sup>6)</sup>의 가연물이 90% 연소한 것으로 가정하였을 때의 시간에 따른 온도곡선이다.

#### 3.3 수치해석 결과

열유동해석 프로그램 HFA를 이용하여 수치해석을 행한 결과 다음을 알 수 있었다.

그림 6에서 그림 14는 6가지 모델 중 3가지 모델에 있어서의 시간경과에 따른 온도분포를 나타낸 것이다.

시간이 경과할수록 온도 분포는 두 가지 경우로 달라짐을 확인할 수 있었다. 즉, 개구부의 위치에 따라 등온선의 분포는 차이를 보였다. Case 1,2,3,6은 type

표 2. 수치해석에 이용된 조건

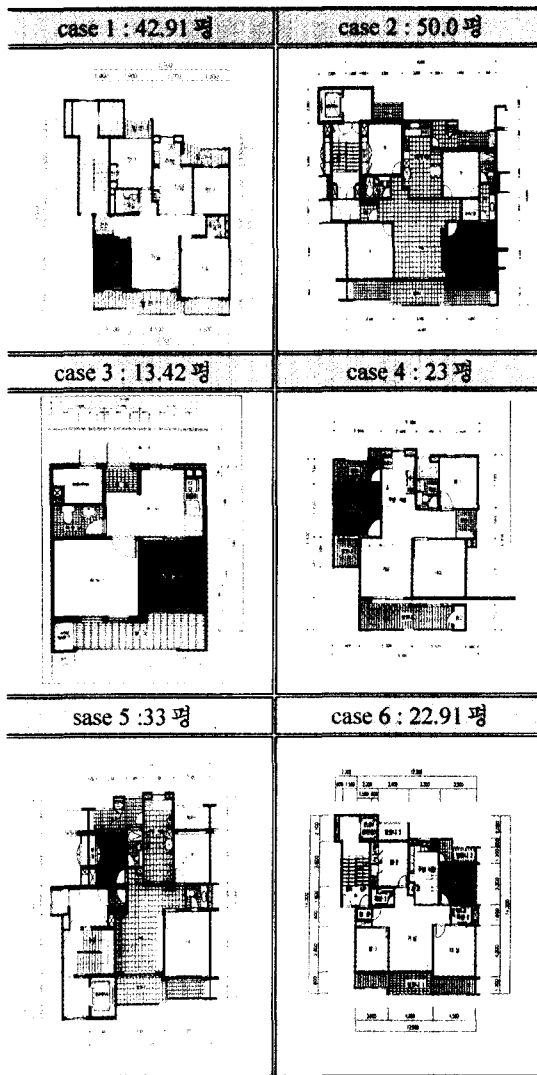
	case	평 수	방 크기 (m×m)	개구부 크기(m)	개구부 위치
1	42.91	3.3×3.6	0.9×2.1	1.5×1.6	type 1
2	50.0	4.8×4.5	0.9×2.1	3.0×1.6	type 1
3	13.42	2.1×3.0	1.5×2.1	1.5×2.1	type 1
4	23	3.0×2.7	1.5×1.6	0.9×2.1	type 2
5	33	2.7×3.0	0.9×2.1	1.8×2.1	type 2
6	22.91	3.9×3.3	1.5×1.6	0.9×2.1	type 1

type 1 : 마주보는 타입, type 2 : 연이은 타입.

<sup>5)</sup>마주보는 타입은 문과 창 혹은 문과 문이 180°를 향하는 것이고, 연이은 타입은 90°로 이웃한 벽의 개구부를 말한다.

<sup>6)</sup>0.44 m×0.35 m×0.8 m 크기의 의자 하나를 연소시켰을 때의 화재하중. 「강구조 건축물 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구」, 대한건축학회, 1995. 3.

표 3. 수치해석에 이용된 모델



1로서 개구가 마주보는 타입이며, case 4,5는 type 2로서 연이은 타입이다.

Type 1에 대하여 시간경과 10초일 때의 온도분포를 살펴보면, case 3(그림 5)을 제외하고는 더운 공기가 실내에 퍼지는 범위가 비슷하게 나타났다. 그림 9에서와 같이 넓은 범위에 걸쳐 더운 공기가 분포된 것인 방의 면적이 작을수록 유동이 빨리 진행되었기 때문으로 사료된다.

착화후 75초 경과시에서는 type 1에 대하여 개구부 주위를 중심으로渦가 형성되었다. 그리고 개구부를 통

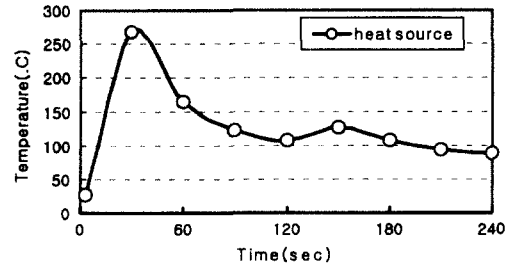


그림 5. 화원의 시간-온도곡선

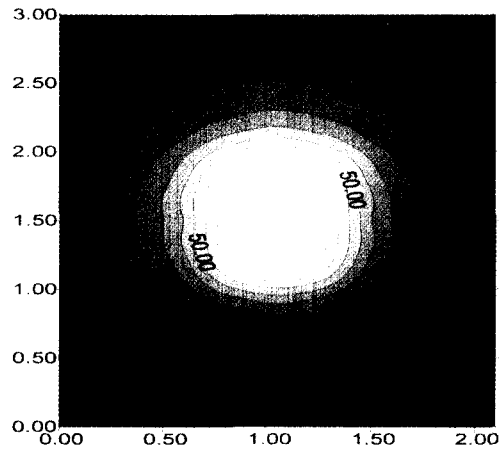


그림 6. case 3(10초)

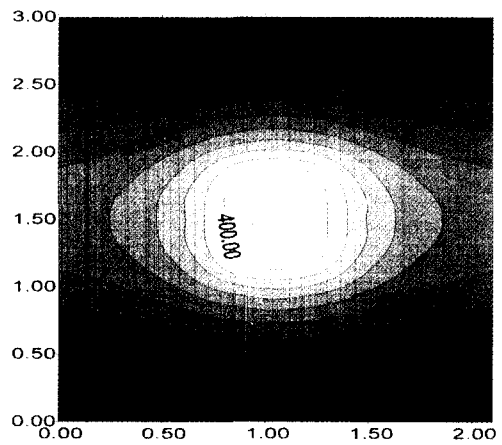


그림 7. case 3(75초)

한 신선한 공기의 유입으로 개구부 주위의 온도는 실의 중앙에서보다 현저히 낮게 나타났다. 200초 경과시, case 6(그림 14)의 온도가 case 3(그림 8)에서 보다 높았다. 이는 개구부의 크기에 따른 신선한 공기의 유입

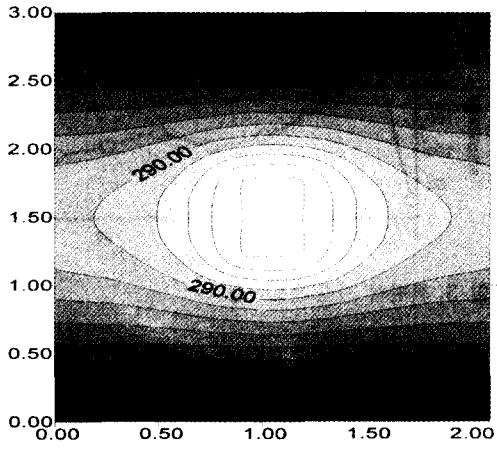


그림 8. case 3(200초)

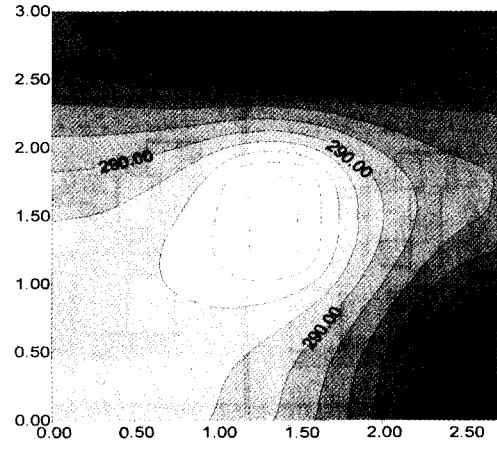


그림 11. case 5(200초)

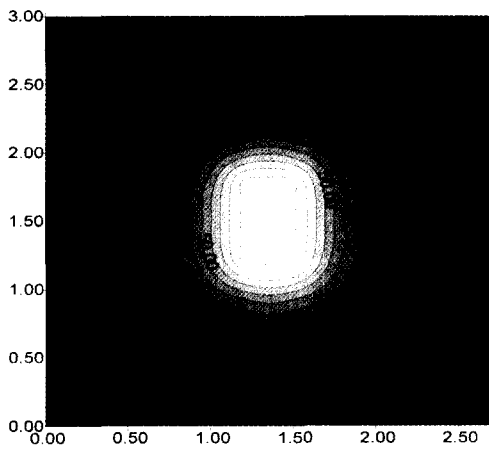


그림 9. case 5(10초)

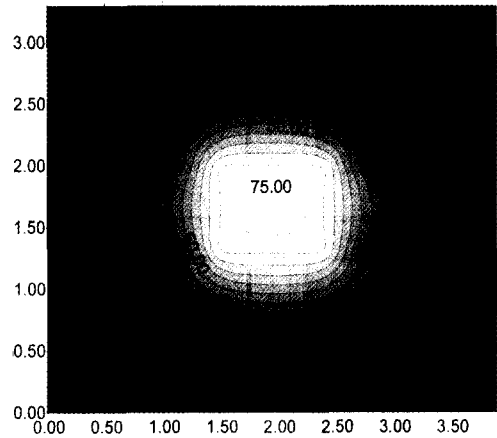


그림 12. case 6(10초)

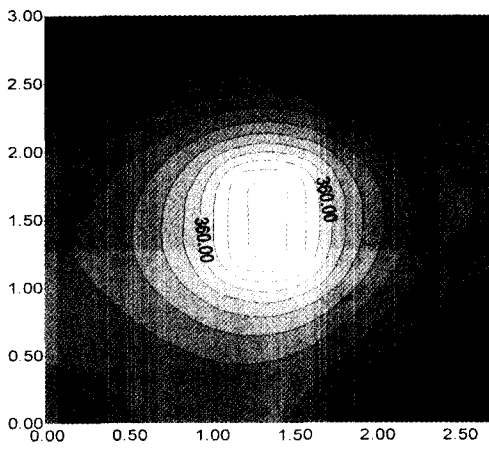


그림 10. case 5(75초)

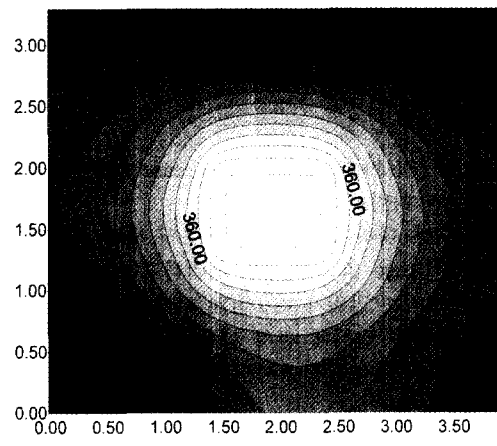


그림 13. case 6(75초)

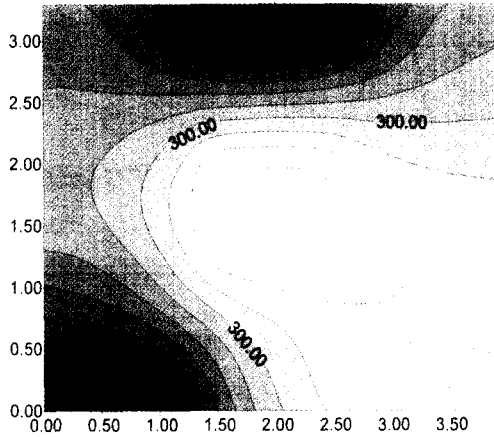


그림 14. case 6(200초)

량에 의한 것으로 이로 인하여 온도분포에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

Type 2에 있어서 10초 경과후의 온도분포는 비슷한 경향을 나타내고, 75초 경과 후에는 type 1에서와 같이 개구부를 중심으로渦가 형성되었다. 또한 200초 경과시에는 개구부 크기의 차이에 의하여 온도가 높게 나타났으며, 천장보다 벽과 모서리의 온도가 높음을 확인하였다.

따라서 마주보는 개구 타입과 연이은 개구 타입에 의한 실내의 열유동에 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 사실을 검증하기 위해서 이 두가지 경우에 대하여 모형실험을 실시하였다.

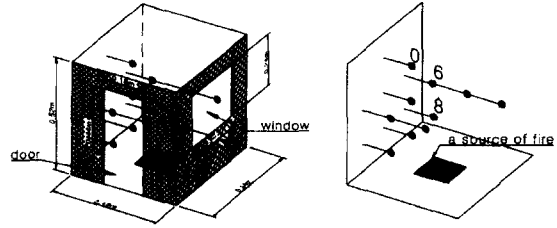


그림 16. 연이은 개구의 모형과 열전대 위치

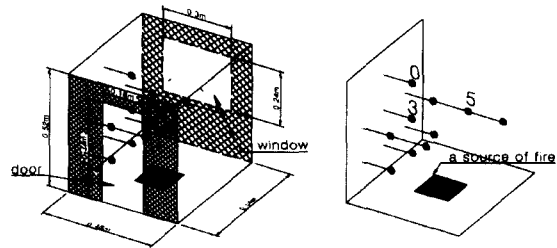


그림 17. 마주보는 개구의 모형과 열전대 위치

### 3.4 실험

#### 3.4.1 실험개요 및 모형

공동주택의 침실로 설정하였으며, 실험대상을 2.4×2.7×2.6 m(가로×세로×높이)로 하고, 이것을 相似法<sup>7)</sup>을 이용하여 1/5 축소모형으로 제작하였다(그림 16, 17). 앞면에 문(0.9×2.1 m)이 있고, 뒷면과 옆면에 창문(1.5×1.2 m)을 두어서 실험의 경우에 따라 문을 개폐하는 것으로 하였다.



그림 15. 실험 장치 및 실험 사진

<sup>7)</sup>藤村 鉄哉 外, アトリウム空間の煙流動に關する研究, 日本建築學會學術講演便覽集, 1991. 9.

표 4. 본 연구에 이용된 상사법칙

	실제 크기	모형	
기하학적 길이의 비	L	L'	L'=(1/5)×L
발열량의 비	Q	Q(L'/L)5/2	Q'=0.0179×Q
기류속도의 비	V	V(L'/L)1/2	V'=0.447×V
기류온도의 비	θ	θ	θ'=θ
경과시간의 비	t	t(L'/L)1/2	t'=0.447×t

모형의 재질은 두께 9.5 mm 난연 2급 석고보드로 제작하였고, 내부는 시멘트 모르타르 마감 위 내화도료를 발랐다. 온도측정은 열전대 K, 즉 크로멜-알루멜 열전대 CA 0.65 mm를 사용하였고, 이것을 온도센서인 TDS-302에 연결하여 데이터 로그에 의해 1초 간격으로 계측하였다. 열전대를 9곳에 설치하여, 수평과 수직의 온도분포를 측정하였다.

3.4.2 실험조건

본 실험의 화재하중은 수치해석과 동일하게 5 kg/m<sup>2</sup>으로 하였고, 가연물로는 합판과 석유를 2:1의 비율로 하였다. 가연물량은 상사법칙의 발열량에 근거하여 다음과 같이 사용했다(표 5). 참고로, 합판의 발열량은 4,500 kcal/kg이며, 석유는 10,000 kcal/kg으로 목재보다 약 2.5배정도 발열량이 높다. 실험의 초기온도는 27°C로 하였으며, 실험시간은 한 case 당 5분간으로 하였다.

3.4.3 실험과 수치해석의 결과 및 고찰

실험을 해 본 결과, 수치해석의 결과와 비슷한 온도분포를 확인할 수 있었다.

연이은 開口는 열원이 最盛期를 지나서 下降期에 접어들어도 불구하고, 열전대 8번(開口 반대쪽 모서리)의 온도는 지속적으로 상승했으며, 열전대 6번(開口 반대쪽 벽)의 온도도 열전대 0번(천장 부분)에 비해 훨씬 높음을 알 수 있었다(그림 18 참조). 이것은 開口部の 반대쪽 벽과 모서리 부분의 열기류가 이동하지 않고 정체되었기 때문이라고 사료된다.

이에 비해, 마주보는 개구는 열전대 0번, 3번(천장 부분)의 온도가 열전대 5번(벽 부분)의 온도보다 높게 나타났다(그림 19 참조). 이것은 開口部가 마주보고 있

표 5. 상사법칙을 이용한 가연물량

화재하중(kg/m <sup>2</sup> )	가연물량kg	실제발열량(가연물량×발열량)kcal	모형(1/5)에 쓰인 가연물량
5 (목재환산하중)	5 kg/m <sup>2</sup> ×(2.4×2.7)m <sup>2</sup> = 32.4 kg	291600	0.467 kg
목재(2/3)	32.4 kg × 2/3 = 21.6 kg	21.6 kg × 4500 kcal/kg = 97200 kcal	0.38 kg
석유(1/3)	32.4 kg × 1/3 = 10.8 kg	10.8 kg × 4,500 kcal/kg= 48600 kcal	0.087 kg

<sup>8)</sup>이경희, 건축환경계획, 문운당, 1992, pp146-150.

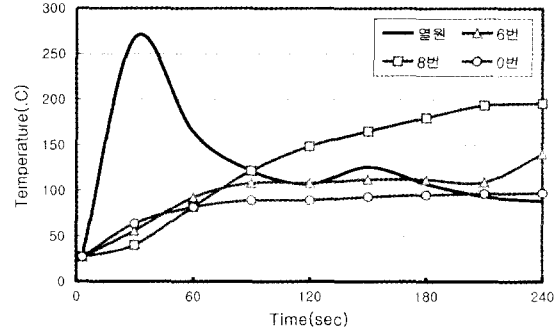


그림 18. 실험-연이은 개구의 온도분포

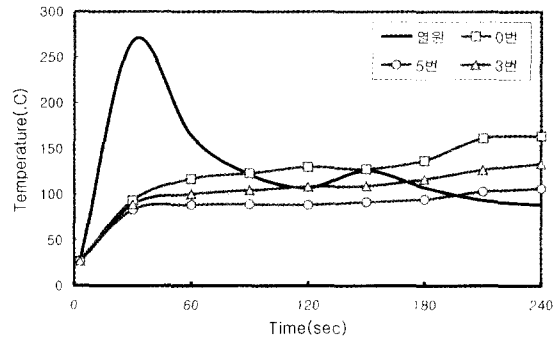


그림 19. 실험-마주보는 개구의 온도분포

을 때는 開口部에서 외부로부터 유입되는 찬 공기가 실내의 자연 대류 현상을 활발히 진행시킴으로써 벽 및 바닥부분보다 천장부분에 열기류가 머무르게 되었기 때문임을 알 수 있었다.

4. 단위주호에 있어서 열·연기유동의 분석

실내기류는 개구부의 위치와 크기에 의해서도 차이가 있고, 실내 칸막이에 따라서도 상당한 변화가 있다.<sup>8)</sup> 본 장에서는 공동주택의 단위주호에 있어서 화재하중과 연소시간이 동일할 때, 열·연기 유동을 분석했다.



앞 장에서 행한 개실이 있는 단위주호를 열유통해석 프로그램(HFA)을 이용하여 2차원 수치해석을 했다.

**4.1 수치해석에 이용된 대상모델**

앞장에서 행한 개실이 있는 단위주호를 대상으로 하며, 6가지 유형모두 화재 발생 위치를 항상 화기를 취급하는 주방 및 식당으로 가정했다. 그리고, 방분은 모두 열려있는 것으로 가정했다.

**4.2 단위주호에 있어서 열·연기유통의 분석 및 고찰**

42.91평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시 열원 온도는 180°C이고(그림 20), 내실, 방3, 입구까지 연기는 전파되기 시작하다가, 80초 경과시는 열원온도는 320°C이고, 주호 전체에 연기가 다 퍼졌다. 120초 경

과시에는 거실의 온도는 260°C, 내실은 160°C이고, 200초 경과시에는 전반적으로 450°C까지 상승하였다(그림 21).

수직단면은 주방 및 식당 부분을 포함하여 거실 부분쪽으로 분석한 것으로써, 층고는 6가지 모두 2.6 m로 했다. 인간이 서있을 때 1.2~1.5 m부분의 온도를 살펴보면, 20초 경과시에는 110°C(그림 22), 40초 경과시에는 주방부분은 190°C, 거실은 140°C이고, 120초 경과시에는 각각 380°C, 330°C이다(그림 23).

50평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시의 열원 온도는 200°C이고(그림 24), 거실입구까지 연기가 전파되었다. 80초 경과시 열원온도는 300°C이고, 이때 주호 전체가 열기류에 휩싸인다. 140초 경과시 열원온도는 500°C를 보이고, 200초 경과시에는 600°C까지 상승하였다(그림 25).

수직단면은 1.3 m 부분의 온도를 살펴보면, 20초 경과시 열원온도 110°C, 거실입구가 60°C이며(그림 26),

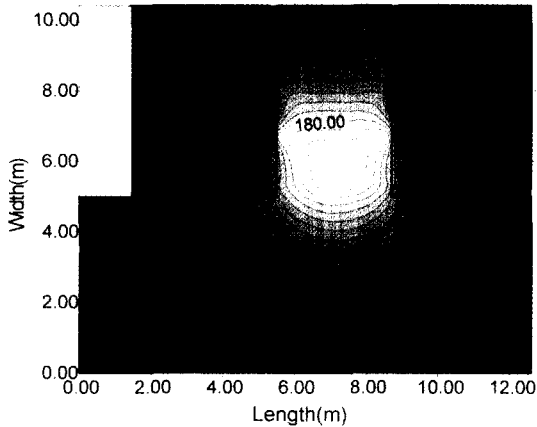


그림 20. 20초 경과시의 수평단면 온도변화(42.9평형)

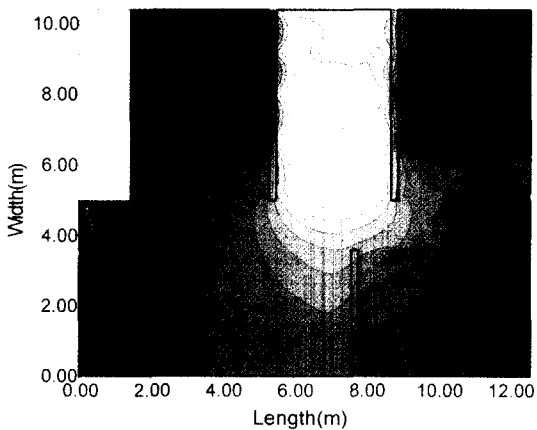


그림 21. 200초 경과시의 수평단면 온도변화(42.9평형)

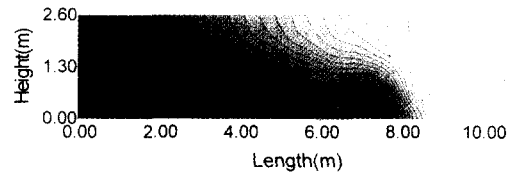


그림 22. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(42.9평형)

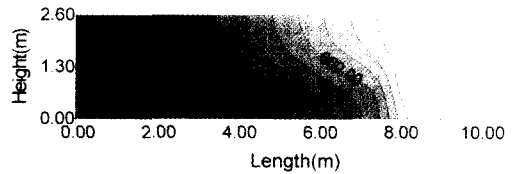


그림 23. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(42.9평형)

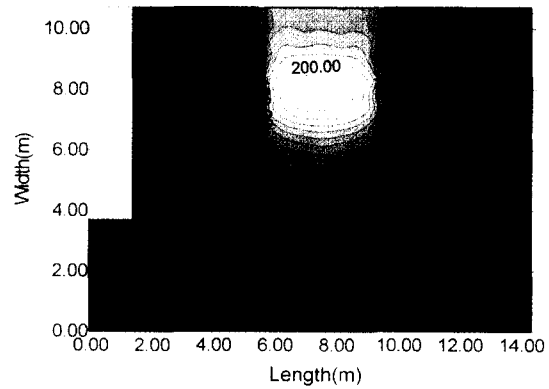


그림 24. 20초 경과시의 수평단면 온도분포(50평형)

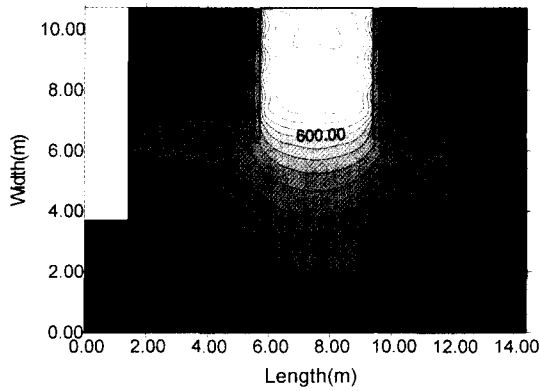


그림 25. 200초 경과시의 수평단면 온도분포(50평형)

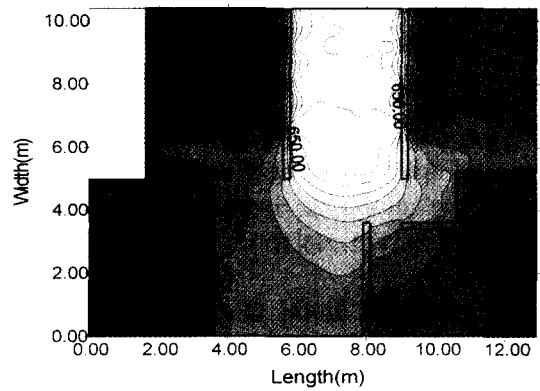


그림 29. 200초 경과시의 수평단면 온도분포(45평형)

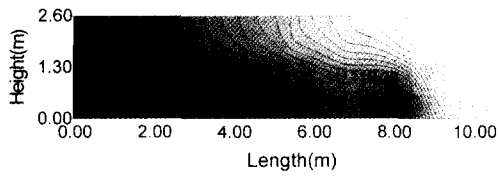


그림 26. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(50평형)

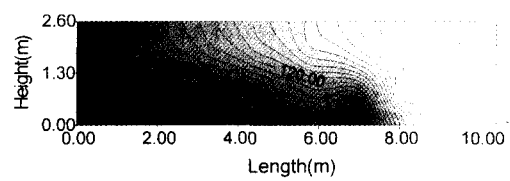


그림 30. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(45평형)

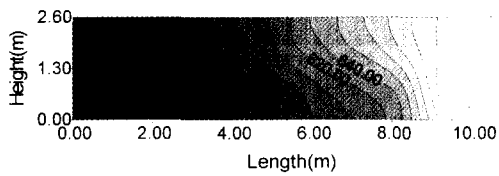


그림 27. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(50평형)

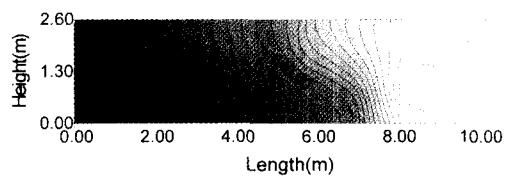


그림 31. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(45평형)

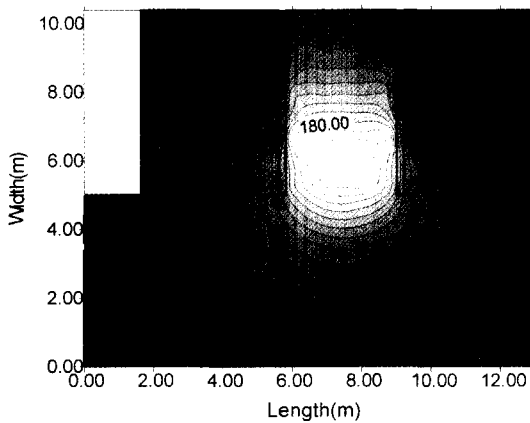


그림 28. 20초 경과시의 수평단면 온도분포(45평형)

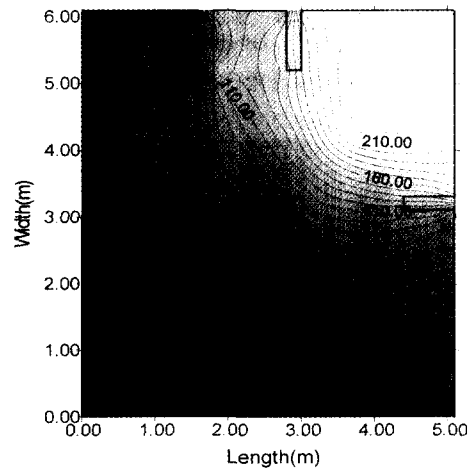


그림 32. 20초 경과시의 수평단면 온도분포(13.42평형)

80초 경과시에는 270°C이고, 거실부분은 220°C, 200초 경과시에는 600°C 이상이 되었다(그림 27).

45평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시 160°C

(그림 28), 80초 경과시 열원온도 320°C이고, 100초 경과시 주호전체가 열기류에 전파된 상태였다. 200초 경

과시에는 650°C 이상이었다(그림 29).

수직단면 온도분포는 20초 경과시 120°C, 거실부분 70°C이고(그림 30), 80초 경과시 열원온도는 300°C, 거실부분은 250°C였다. 200초 경과시에는 640°C였다(그림 31).

13.42평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시에는 열원온도가 다소 높은 220°C인데, 그 이유는 주호 면적이 작기 때문이다(그림 32). 그러므로 40초 경과시에 이미 단위주호 전체에 열기류가 전파되어 있었다. 80초 경과시에는 열원온도 300°C로 비슷하지만, 200초 경과시에는 750°C로 다소 높았다(그림 33).

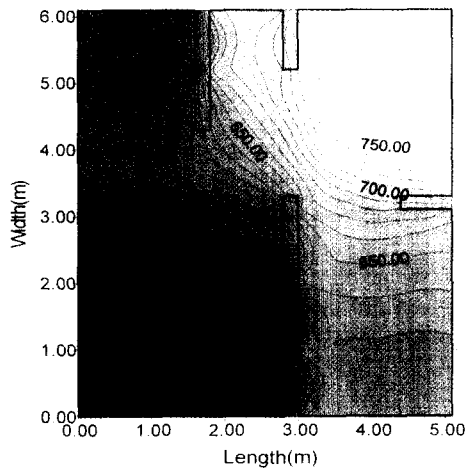


그림 33. 200초 경과시의 수평단면 온도분포(13.42평형)

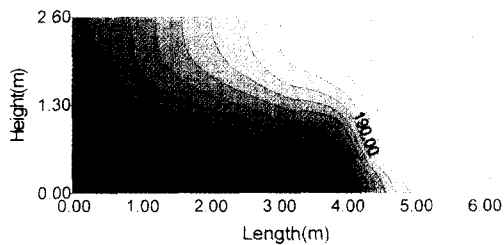


그림 34. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(13.42평형)

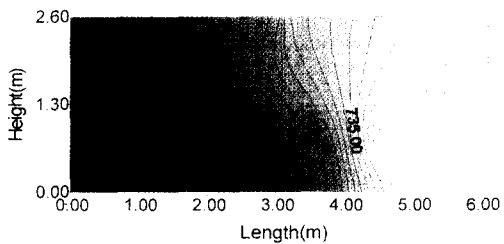


그림 35. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(13.42평형)

case 3(13.42평)의 수직단면 온도분포는 20초 경과시 200°C로 다른 경우에 비해서 다소 높았고(그림 34), 80초 경과시에는 330°C, 200초 경과시에는 735°C 이상으로 전반적으로 온도가 높았다(그림 35).

23평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시 130°C(그림 36), 40초 경과시 200°C, 거실 및 욕실의 온도는 100°C이고, 80초 경과시 열원온도는 260°C 이때 주호 전체가 열기류가 전파되었다. 160초 경과시 열원온도는 520°C, 200초 경과시에는 640°C 정도였다(그림 37).

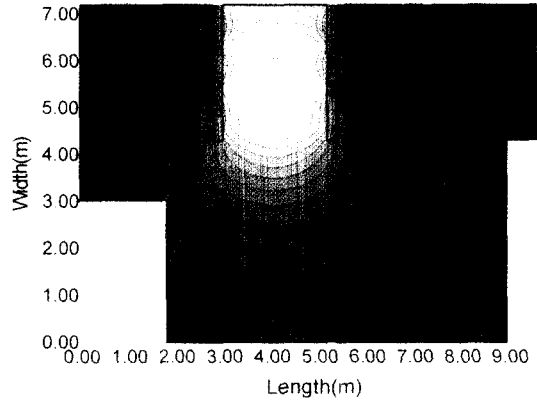


그림 36. 20초 경과시의 수평단면 온도분포(23평형)

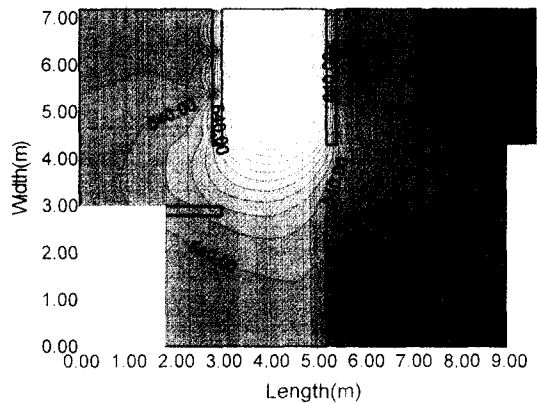


그림 37. 200초 경과시의 수평단면 온도분포(23평형)

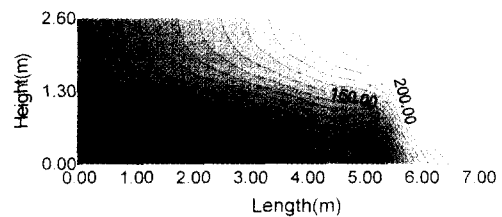


그림 38. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(23평형)

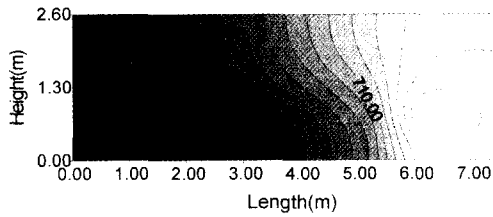


그림 39. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(23평형)

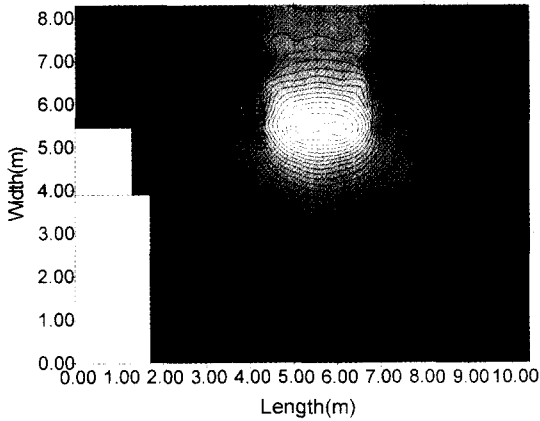


그림 40. 20초 경과시의 수평단면 온도분포(33평형)

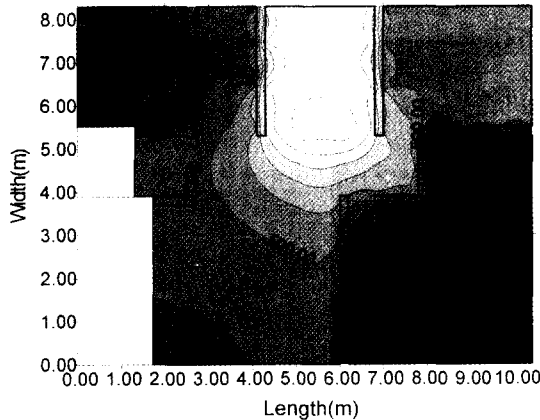


그림 41. 200초 경과시의 수평단면 온도분포(33평형)

수직단면 온도분포는 20초 경과시 200°C이고(그림 38), 80초 경과시 325°C, 200초 경과시에는 710°C였고, 거실은 650°C였다(그림 39).

33평형의 수평단면 온도분포는 20초 경과시 열원온도 100°C, 거실입구는 50°C(그림 40), 80초 경과했을 때 열원온도는 240°C, 200초 경과시 530°C, 거실입구는 500°C였다(그림 41).

수직단면 온도분포는 20초 경과시 열원온도 110°C,

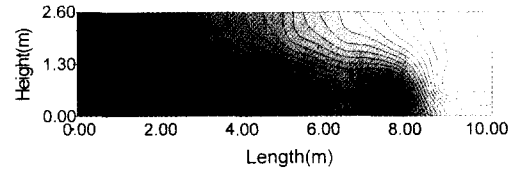


그림 42. 20초 경과시의 수직단면 온도분포(33평형)

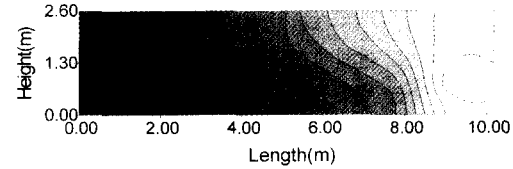


그림 43. 200초 경과시의 수직단면 온도분포(33평형)

거실 60°C이고(그림 42), 80초 경과시 열원온도 280°C, 거실입구 230°C, 200초 경과시에는 600°C 이상이었다(그림 43).

### 5. 단위주동에 있어서 열·연기유동 분석

본 장에서는 범위가 더 넓은 단위주동을 대상으로 했을 때, 개구의 개폐유형에 따른 열·연기유동에 어떠한 영향이 있는지 알아보려고 한다

공동주택은 평면유형에 따라 크게 계단실형, 타워형, 복도형으로 나누어질 수 있는데, 본 연구에서는 세 가지 타입의 공동주택을 대상으로 해서 각각 분석을 했다.

#### 5.1 계단실형의 개구 개폐유형에 따른 특성분석

건축물이 고층화되고 공간의 이용율이 증대함에 따라 수직통로의 기능이 중요시되고 있다. 오늘날 일반적으로 사용되고 있는 수직통로는 계단, 경사로, 엘리베이터, 에스컬레이터 등이 있다. 계단실형 공동주택에서의 화재시 수평피난은 파손이 용이한 칸막이벽 등의 설치로 가능하나, 가장 많이 이용될 수 있는 것은 수직피난인 계단실이다. 이 계단실 내에 있는 창문의 개폐에 따라서 어떠한 차이점이 있는지를 파악해두는 것이 안전한 피난을 위해서 반드시 필요하며, 차이가 있다면, 그러한 개구 개폐와 개구 위치를 고려해야 할 필요가 있다.

따라서, 계단실형 공동주택의 화재 발생시 수직피난의 주된 통로로 이용되는 계단실에 있어서 개구가 어떠한 위치에 있을 때, 또 열었을 때와 닫았을 때를 변수로 해서 그 차이점을 파악한다.

##### 5.1.1 수치해석의 대상모델 조건설정과 결과

표 6. 대구시 공동주택의 층수별 현황 및 해석단위

층수	단지수	주동수	세대수	해석단위
5층이하	534	1,943	75,337	저층부
6~10층	61	151	8,538	중층부
11~15층	215	1,002	113,047	고층부
16층이상	150	762	83,600	초고층부

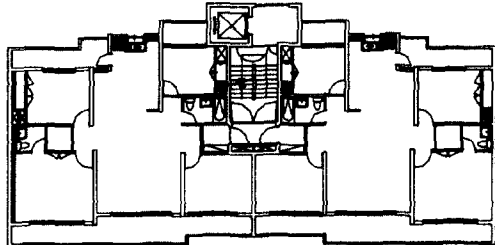


그림 44. C단지의 기준층 평면도

표 6. 수치해석의 케이스

개구위치 \ 경우	No.1	No.2	No.3	No.4
고층부	×	×	○	○
중층부	×	○	×	○
저층부	○	×	×	○

주) ○ : 열림, × : 닫힘.

대구시 공동주택의 층수별 현황을 살펴보면, 다음과 같다(표 6). 공동주택의 단지수와 주동수에서 볼 때는 5층 이하가 가장 많이 분포하고 있지만, 5층 이하의 공동주택은 시공연도가 대부분 1970, 80년대이며, 세대수로 볼 때는 11층에서 15층 사이의 공동주택이 가장 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 11~15층 사이의 공동주택을 기준으로 층수를 저층부, 중층부, 상층부, 최상층부로 나누어서 해석해 보았다.

조사대상 공동주택은 15층이며, 1996년에 시공되었으며 기준층 평면도는 다음과 같다(그림 44).

열 및 연기 유동을 해석함에 있어서 화재는 1층의 거주부분에서 발생해서, 계단부분으로 수직 전파되는 것으로 가정한다. 그리고, 개구부는 외기에 면한 것으로 보며, 1층의 현관부분은 항상 열려있는 것으로 가정한다. 수치해석의 케이스는 다음의 경우와 같이 한다

초기온도는 5°C, 측정항목은 압력, 온도, 연기의 농도이며, 1층의 거주역 부분에 화재가 발생했을 경우의 수치해석의 경우를 나타낸 것이다(그림 45). 계단실 주위에 거주역이 있지만, 방화구획이 되어 있다고 가정했을 때, 계단실에 있는 창문의 개폐상황에 따라서, 계

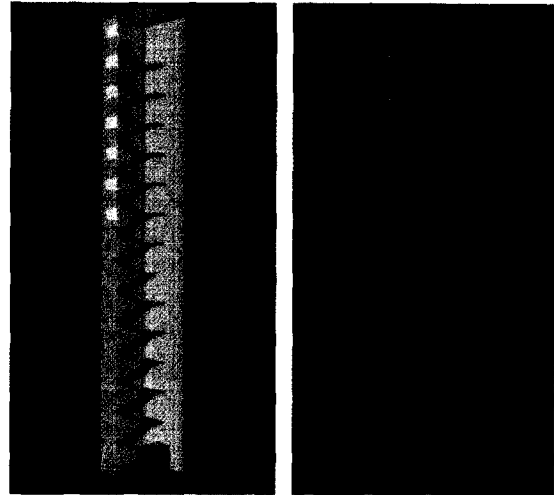


그림 45. 전체 개방시의 수치해석 모델형상

단실 내에서의 열과 연기유동에 어떠한 차이를 보이는지를 네가지 경우에 대해서, 범용 프로그램인 Phoenix를 이용해서 3차원 수치해석을 했다.

5.1.2 수치해석의 결과

전체실행 시간은 20초이며, 이것을 4초 간격으로 실행시켰으며, 압력, 온도 그리고 속도에 관한 분포를 알아야했다.

전체적으로 볼 때, 압력은 시간경과와 함께 압력이 감소하며, 온도는 상승하며, 속도는 시간에 따라 큰 변화는 없이 일정했다.

먼저 압력에 대해서 살펴보면, 4초 경과시 압력은 1층 열원 근처의 낮고, 그 이외의 층은 모두 높다는 것을 알 수 있었다. 12초 경과시는 4, 5층 즉 저층부의 압력이 최고로 높았고, 점점 더 낮아지다가, 16초 경과시에는 고층부의 압력이 더 높아졌다.

온도분포는 4초 경과시, 열원의 온도는 544°C이고, 2층까지 열기류가 번지고 있음을 알 수 있다. 8초 경과시, 열원의 온도는 약 688°C이고, 열기류는 2층과 1층 천장까지 열원의 온도와 비슷하게 되었고, 4층까지 열기류가 전파됨을 알 수 있었다.

12초 경과시, 열원의 온도는 약 779°C이며, 2층의 온도는 730°C이고, 6층까지 열기류가 전파되었다. 16초 경과시, 열원의 온도는 10°C정도 상승하였고, 열원의 온도가 2층에서 1층 상부까지 730°C를 나타내었다. 6층의 온도는 250°C이고, 7층상부까지 열기류가 전파되었다. 20초 경과시에는 3층 상부까지 700°C가 되었고, 7층 즉 중층부까지 열이 전파되었음을 알 수 있었다.

유속분포는, 개구가 열린 곳에서 유속이 크다는 것

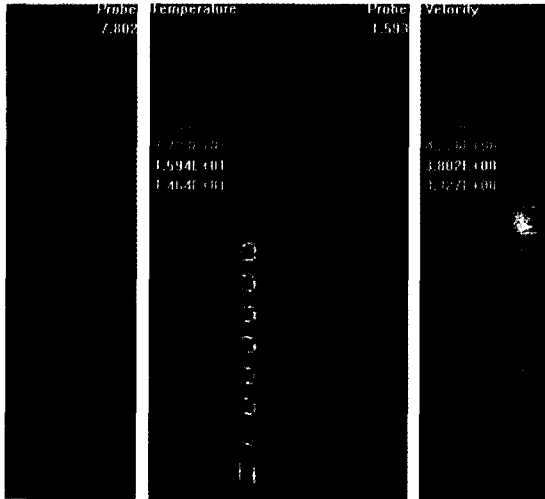


그림 46. 경과시간 4초 수치해석 결과(C4)

을 알 수 있었고, 유속의 크기는 시간의 변화에 따라 별다른 차이를 볼 수 없었다.

C3(고층부 개방)의 결과를 살펴보면, 압력분포는 시간이 경과할수록, 고층부로 올라갈수록 낮아지고, 모든 데이터가 거의 비슷한 압력분포를 나타내었다.

온도는 4초 경과시에는 열원의 온도가 540°C이고, 2층은 약 200°C, 3층까지 열기류가 변질을 알 수 있었다. 8초 경과시, 열원은 140°C정도 더 상승하고, 2층 하단부의 온도도 열원부의 온도와 같았다. 3층의 온도가 230°C이 되었다. 12초에는 1층, 2층의 온도가 거의 780°C이고, 2층까지 완전히 불길로 덮혔고, 3층의 온도는 400°C, 4층에서 7층까지 열기류가 번져있었다. 16초 경과시에는, 열원의 온도는 10°C 정도 상승했고, 3층 온도는 180°C 더 상승했고, 8층까지 열기류가 전파되었다. 20초 경과했을 때는, 3층 상부의 온도가 더욱더 상승해서, 740°C이고, 특히 1층 하단부까지 연기가 하강하기 시작했다.

C4는 전반적으로 온도분포는 낮았으나, 상층부를 통한 연기전파는 빠른 것으로 나타났다. 8초 경과했을 때는, 9층까지 연기전파가 되었고, 12초 경과시는 10층, 2층 상부의 온도가 열원의 온도만큼 상승했고, 16초 경과시는, 11층, 20초 경과했을 때는, 12층까지 연기가 전파된 것을 확인할 수 있었다.

### 5.1.3 실험방법의 조건설정과 결과

#### (1) 실험의 조건설정

앞서 행한 수치해석 결과의 타당성을 검증하기 위하



그림 47. 실험모형과 실험진행 사진

여, 수치해석의 조건과 동일하게 계단실험 공동주택의 계단실로 설정하였다. 실험대상은 4.2×2.8×31.4 m(가로×세로×높이)로 하고, 이것을 상사법칙<sup>9)</sup>(相似法則)을 이용하여 1/20의 스케일로 축소모형을 제작하였다(그림 47). 본 실험에 사용된 모형의 크기는 0.24 m×0.14 m×1.95 m(가로×세로×높이)이다.

실제 계단실과 동일하게 하기 위하여 각 층마다 외기에 면한 1.5 m×1.0 m의 개구부가 있고, 1층에는 1.5 m×2.4 m의 개구부가 있다. 고층부, 중층부, 저층부의 개구부를 실험의 경우에 따라 개폐하는 것으로 하였다. 계단실의 재질은 1 mm 합석으로 제작하였다. 열전대를 6곳 즉, 3,5,7,9,11층과 열원에 설치하여 수직 온도분포를 측정하였다.

#### (2) 결과분석

실험결과, 열원(fire source)의 시간-온도곡선은 각 실험의 경우 모두 비슷한 온도분포를 나타냄을 알 수 있었다. 약 200초에서 flashover현상이 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 최고온도는 평균 650°C를 나타내었다.

온도분포를 보면, 개구 전체를 모두 개방했을 때의 온도가 가장 낮다는 것을 알 수 있다(그림 51). 열원의 온도곡선도, 다른 경우에 비해서, 빨리 하강하는 것을 알 수 있었다.

가장 높은 온도분포를 보이는 것은 고층부를 개방했을 때이다. 열전대 1번부터 6번까지의 온도가 모두 다른 경우에 비해서, 약 5~6°C가량 높았다.

<sup>9)</sup>藤村 鉄哉 外, アトリウム空間の煙流動に関する研究, 日本建築學會學術講演便覽集, 1991. 9.

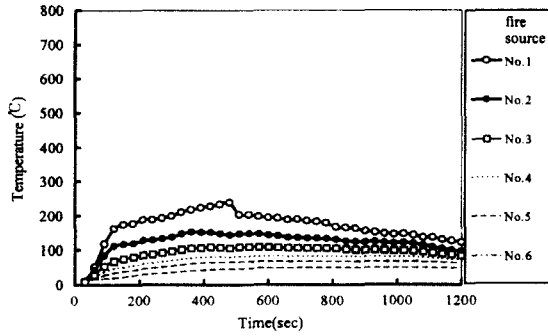


그림 48. 고층부 개방시의 시간온도곡선

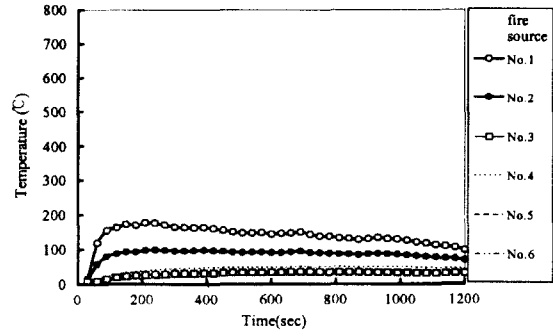


그림 51. 전체 개방시의 시간온도곡선

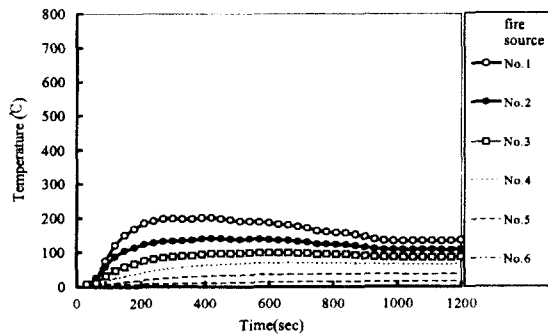


그림 49. 중층부 개방시의 시간온도곡선

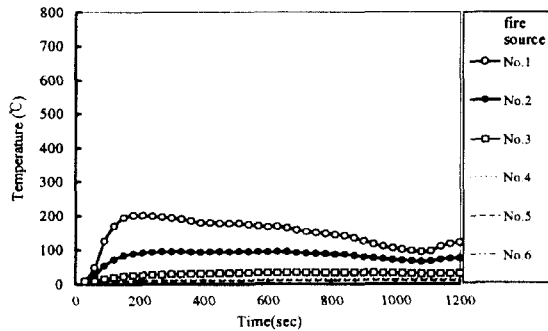


그림 50. 저층부 개방시의 시간온도곡선

저층부와 중층부는 거의 비슷했으나, 저층부의 1번 열전대의 온도가 저층부를 개방했을 때 약간 더 높았다.

각 실험의 경우를 고찰해 볼 때, 전반적으로 개구부를 전체적으로 다 개방했을 때 아래쪽에서 들어오는 신선한 공기는, 1층의 열원에서 타고 있는 열과 뜨거운 연기와 함께 수직상승하면서, 각 층마다 열려진 개구부를 통해 열기가 빠져나가면서, 뜨거운 열기가 밖으로 나감으로 인해서, 온도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

고층부를 개방시켰을 때 온도가 가장 높은 이유는,

1층에서의 화재시 뜨거운 열과 연기 모두는, 수직공간을 통해 밀도가 낮아져서, 가볍기 때문에 위쪽으로 상승하는데, 중간에 개구가 없기 때문에, 그 열기를 개구가 열려있는 곳까지 열을 뺏기지 않고, 계속 가지고 올라가므로, 온도가 가장 높다고 사료된다.

또 해당 열전대 부분의 개구부가 열려있을 때 온도가 더 상승하는 것은, 활발한 공기유동이 이루어지면서, 해당부분의 산소공급이 원활하기 때문이라고 사료된다.

따라서, 이와 같이 실험연구에서도 수직방향의 열과 연기 유동에 개구의 위치에 따라 차이가 있음을 알 수 있었으며, 계단실의 개구 개폐유형에 따라서 열 및 연기유동에 차이가 있었다.

### 5.2 타워형의 개구 개폐유형에 따른 특성분석

최근 도심에 초고층 공동주택이 건축되면서, 그 평면형태는 도심의 고가(高價)의 지가(地價)를 반영해서, 고효율을 높이기 위해 타워형을 선호하고 있으며, 또 내부공간에는 아트리움이라는 새로운 건축양식이 도입되고 있다. 이것은 건축계획 측면에서 볼 때 아주 매력적이고 쾌적한 환경을 제공해 줄 수는 있지만, 화재안전 측면에서 볼 때는, 화재를 통제하는 데에는 덜 효과적이다. 따라서 타워형이라는 평면유형은 화재시 위험한 요소를 많이 가지고 있다.

그리고, 여러 층에 걸친 기준층의 반복을 전제로 하고 있는 고층 공동주택에서는 재해의 확대방지와 효과적인 피난을 위하여 엘리베이터의 서비스와 공조설비 등에 이르기까지 6개 층 정도를 하나의 방화구획 단위로 하고 6개층 중 1개 층에는 외기에 개방된 피난데크를 설치하여 중간피난거점(준피난층, 구조 대기공간) 다시 말해서, 버퍼존(buffer zone)이라는 용어로 사용되고 있는 것이다. 이러한 것을 적극 활용해서 특히 초고층 공동주택의 중간층화를 도모하고 있다. 최근 우

리나라에서도 이 버퍼존을 도입한 초고층 공동주택이 시공되고 있다. 그러나 그러한 버퍼존이라는 공간에 거주부에서 아트리움 공간 혹은 수직 보이드 공간을 향한 개구부 설치시, 열·연기의 분포에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구가 없는 상황이다. 그러므로 출화층 이외의 층으로의 열 및 연기 침입을 막아서, 인명피해 및 재산피해를 줄이기 위해 타워형 공동주택에서의 열·연기의 전파특성을 파악해야한다.

5.2.1 수치해석 대상모델 조건설정과 결과

(1) 대상모델

본 연구에서의 실험 모델은 현재 계획되고 있는 아파트 단지의 152m 높이의 42층, 초고층 건물로 설정하였다. 층별 용도는 2-20층은 오피스텔, 22-42층은 아파트로 계획되었으며, 21층은 중간층(BUFFER ZONE)으로 커뮤니티 시설이 배치된다. 이 건물의 중앙부는

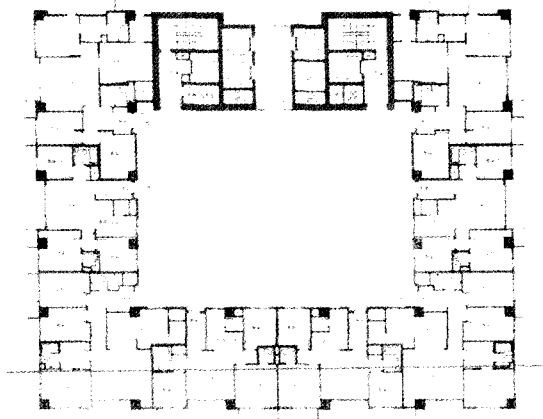


그림 52. 모델 평면도 (고층부 30~42층)

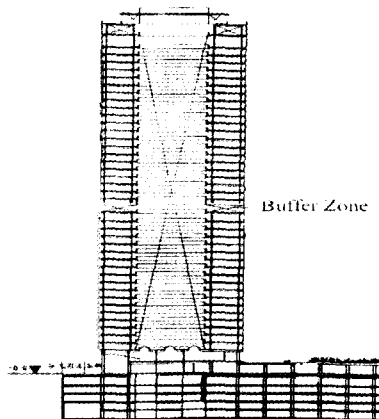


그림 53. 모델의 횡단면도

21.4 m×14.0 m의 크기로 전층(全層)이 개방되어 있다 (그림 52, 53).

(2) 수치해석의 조건설정

각 경우에 대하여 공간내의 연기 유동과 온도, 압력, 속도벡터의 변화를 Phoenix 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 해석 모델내의 유체는 k-ε 난류모델을 사용하는 FLAIR라는 전용 프로그램 모듈을 채택하였다. 본 연구를 위한 모델 설정은 개구 오픈 타입에 따라 4가지 경우에 대해 행해진다(표 8).

초기 온도는 25°C, 벽은 단열로 복사열은 고려하지 않는다. 공간 분할은 21×152×3로 총 9576개로 나누어 값을 얻는다. 측정항목은 압력, 온도, 연기의 농도이다.

(3) 수치해석의 결과

중간 버퍼존 개폐의 네 가지 경우에 대하여 600초 일 때의 시뮬레이션에 의한 수직 높이에 대한 온도와 연기분포는 다음과 같다(그림 55, 56). 전체적으로 발화지점 아래 공간과 맞은편 측벽에는 그다지 많은 영향을 주고 있지 않지만, 천장에 도달한 뜨거운 공기는 모두 빠져나가지 않고, 정체되어 확산되거나 하부로 하강하는 것이 보인다. 연기는 대체로 온도 분포와 비슷하게 나타났으며, 연기는 열기를 타고 상승하기도 하지만 아래로 확산됨을 알 수 있다.

표 8. 모델 설정 개요

	개구번호	설정 이유
No.1	open 1, 2, 5, 6	기본적인 급·배기구 가진 경우
No.2	open 1, 2, 3, 4, 5, 6	중간 버퍼존을 둘 경우 개구 패턴에 따른 열·연기의 유동 성상을 보기 위함
No.3	open 1, 2, 3, 5, 6	
No.4	open 1, 2, 4, 5, 6	

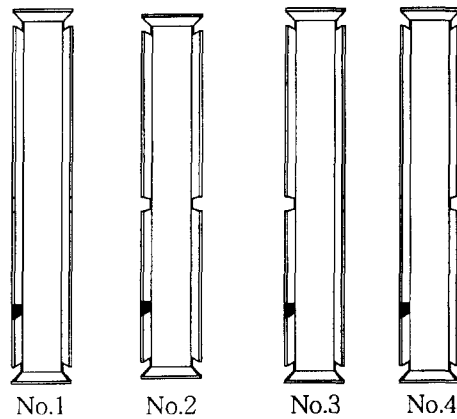


그림 54. 시뮬레이션의 경우



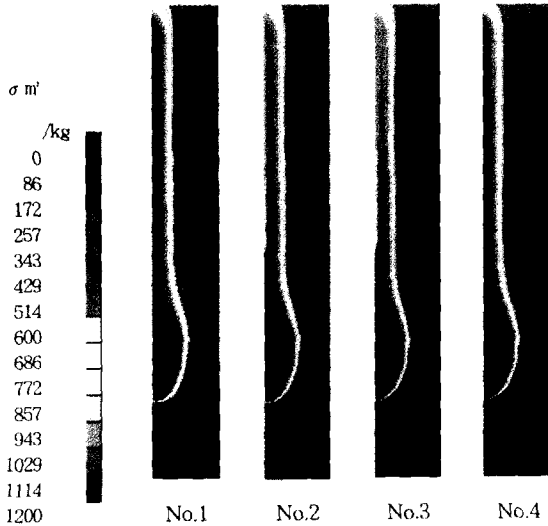


그림 55. PHOTON에 의한 연기 농도 비교

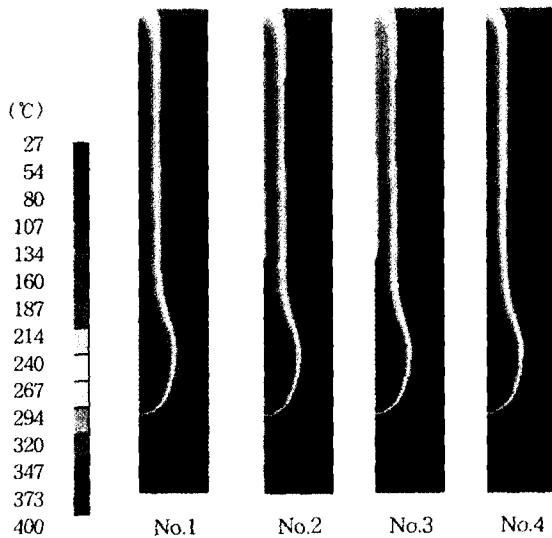


그림 56. PHOTON에 의한 수직 온도 비교

No.1과 같이 상하 양측에 개구를 가지는 수직공간으로 발화지점 측의 벽을 따라 상부 배기구까지 화원까지의 같은 고온을 보이고 있다. 수직공간 양측 벽에 비퍼존을 가지는 No.2는 No.1에 비하여 발화지점이 있는 측벽의 온도는 낮고, 고온을 나타내는 부분이 비퍼존 위치에서부터 측벽과 어느 정도 거리를 두고 있는 것을 알 수 있다. 발화지점 측에 비퍼존이 있는 No.3의 경우, 상승하는 공기의 온도 분포가 네가지 경우중에서 가장 낮고, 고온을 나타내는 때가 측벽에서 많이 띄워져 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 반대편 천장에

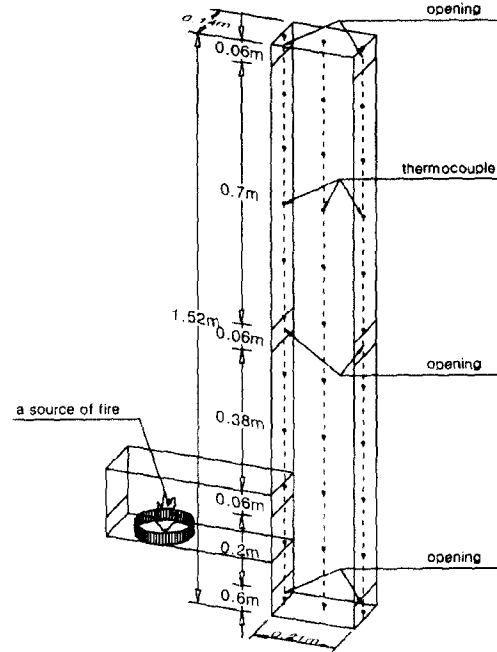


그림 57. 실험 모형 개요도

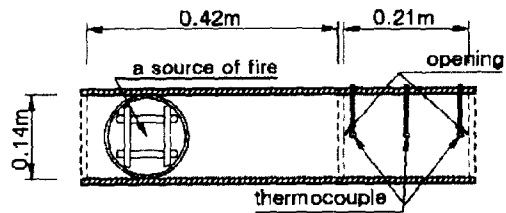


그림 58. 실험 모형 평면도

도달한 열기류와 연기가 측벽을 타고 바닥으로부터 4분의 3지점까지 내려오고 있다. 그리고, 발화지점 반대쪽에 비퍼존을 가지는 No.4의 경우 No.1과 유사한 양상을 보였다.

### 5.2.2 실험방법의 조건설정과 결과

#### (1) 실험의 조건설정

본 연구의 모델은 21.4m×14.0m의 크기로 건물 중앙부의 수직공간 전체 층이 개방된 42층, 152m 높이의 건물이다. 건물 중앙부를 1/100 크기로 축소된 모형실험을 하였다. 실험에서 열전대를 통해 온도 변화를 측정하고, 연기유동을 관측함으로써 공기유동의 특성을 파악하고자 한다. 실험의 모형개요와 사진은 다음과 같다(그림 57~59).

수직 공간 측정점에서의 온도를 다음에 나타낸다(그림 60~63).

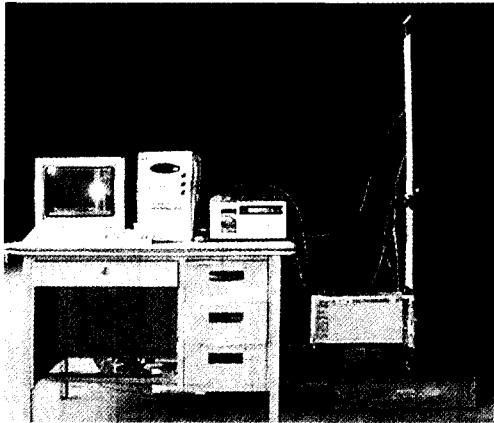


그림 59. 실험 사진

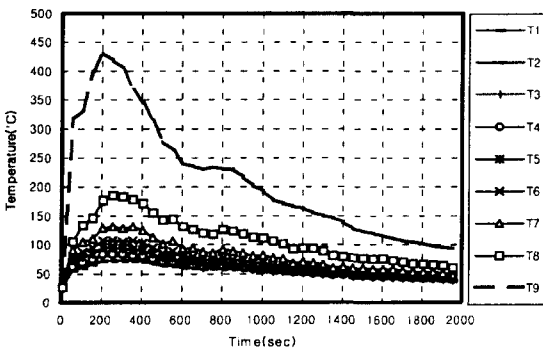


그림 60. T1-T9에서의 수직 공간 내부 온도[No.1]

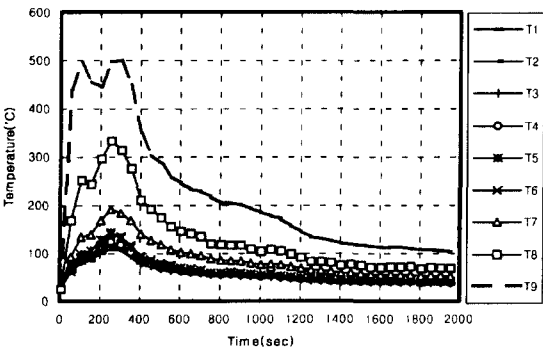


그림 61. T1-T9에서의 수직 공간 내부 온도[No.2]

각 경우의 실험 상황 기록과 수직공간 내부 온도의 시간에 따른 변화를 살펴 보면 연기의 발생은 연소 현상의 양태와 관련이 있다. 네 경우 모두 공간 내부 온도가 300°C 이상인 6분 40초경까지 다량의 연기가 분출되고 있다. 점화 후 7분 정도가 되면, 연기가 거의 나오지 않는다. 발화 지점 상부 중간 버퍼존을 가지는

한국화재·소방학회, 제15권 제2호, 2001년

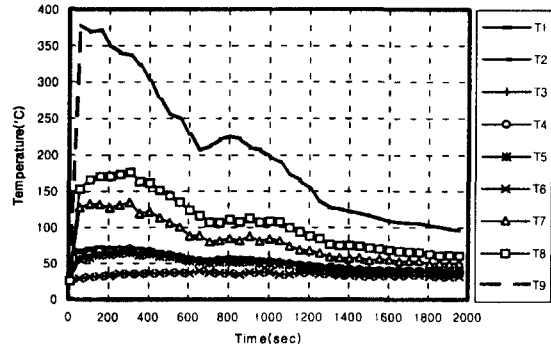


그림 62. T1-T9에서의 수직 공간 내부 온도-[No.3]

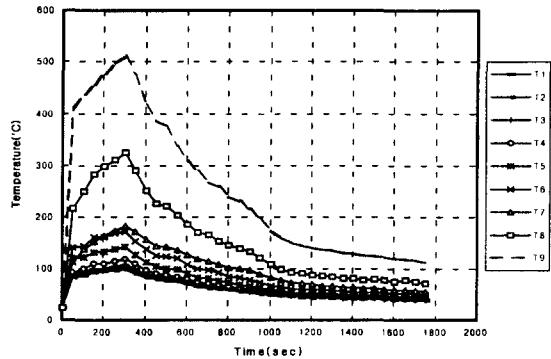


그림 63. T1-T9에서의 수직 공간 내부 온도-[No.4]

No.3의 경우 점화 후 10분 후에 연기가 다시 발생하였으나, 그 양이 많지 않았다.

발화지점 상부 버퍼존을 가지는 No.2와 No.3의 경우 버퍼존으로부터 외기의 유입과 열기의 배출로 인하여 온도가 낮은 것을 알 수 있다. 발화지점 반대측 버퍼존을 가지는 No.4의 경우, 중간버퍼존을 가지지 않는 No.1의 경우보다 훨씬 높은 온도를 나타내고 있다. 반대측 중간 버퍼존으로부터 유입된 공기가 발화 지점측 벽면온도에 영향을 주고 있다. 그에 비하여 천장 하부의 온도차이는 그다지 크지 않은 것을 알 수 있다.

버퍼존을 가지지 않는 No.1의 경우보다 훨씬 높은 온도를 나타내고 있다. 반대측 중간 버퍼존으로부터 유입된 공기가 발화 지점측 벽면온도에 영향을 주고 있다. 그에 비하여 천장 하부의 온도차이는 그다지 크지 않은 것을 알 수 있다.

### 5.3 편복도형의 개구 개폐유형에 따른 특성분석

대상모델은, 보편적인 편복도형 공동주택으로 설정하였고, 화재가 첫 번째 단위주호의 거실에서 발생했

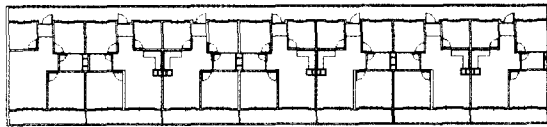


그림 64. 편복도형 공동주택의 단위주동 평면도

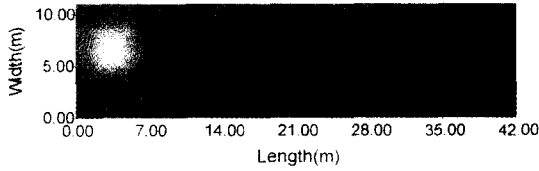


그림 65. open\_15초 경과

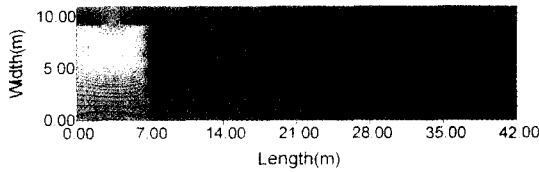


그림 66. open\_55초 경과

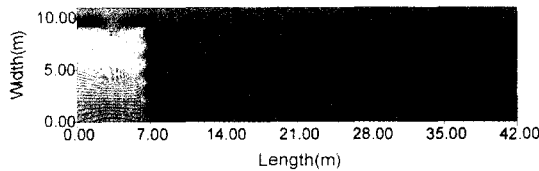


그림 67. open\_100초 경과

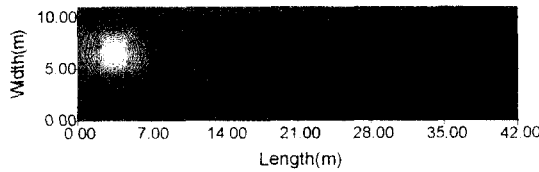


그림 68. close\_15초 경과

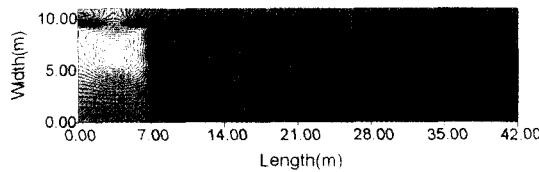


그림 69. close\_55초 경과

다고 가정한다. 이때, 복도측 창문을 열어둔 경우와, 닫아둔 경우에 대한 수치해석을 한다.

해석은 동일한 장소와 동일한 화재하중과 시간 온도 곡선을 사용해서 분석한다.

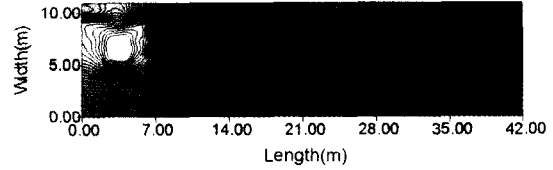


그림 70. close\_100초 경과

(1) 창문을 개방했을 때의 수치해석 결과(그림 65~67)

(2) 창문을 폐쇄했을 때의 수치해석 결과(그림 68~70)

(3) 편복도형의 열·연기유동 분석 및 고찰

분석해 본 결과, 인접 주호까지 열이 확산되는데 걸리는 시간은 개방 되었을때는 100초가 경과되었고, 폐쇄되었을 때는 75초가 경과되어서, 복도측 창문을 열어둘 경우가 인접한 주호로의 열의 확산속도가 느려짐을 알 수 있었다. 따라서, 복도측 창문을 개방시켜 놓는 것이 만일의 화재 발생시 찬공기의 유입으로 인해 빠른 시간 내에 진압 혹은 진화될 수 있으므로, 더욱 더 안전하다고 사료된다. 특히, 복도측에 여러 가지 물건을 쌓아두는 경우는, 오히려 가연물이 되기 쉽고, 피난에 지장을 초래하므로, 반드시 물건을 방치하지 않도록 유의해야 한다.

## 6. 결 론

본 연구의 성과에 기초한 결론을 정리·요약하면 다음과 같다.

1. 고층 공동주택의 기본적인 계획적 측면의 화재안전성을 검토하기 위한 방향을 제시하기 위해, 열, 연기유동의 이론적 검토를 통한 수치해석과 실험을 통해 열, 연기유동에 의한 수치해석 프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램의 타당성을 검증해보기 위해 개실 모형에 대한 실험을 한 결과, 대체로 잘 일치하였으므로, 실내에서의 열유동을 적절히 해석할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

2. 개구부가 서로 마주보고 있는 경우와, 개구부가 90°각도를 이루고 있는 개실에 있어서 화재시의 열유동은 차이가 있었으며 마주보는 개구(開口)의 형태를 가진 실은 벽에 비해 천장부분의 온도가 급격히 증가하므로, 천장부분에 대한 마감재를 선택하는 데 있어서 방화성능이 한 단계 높은 것을 사용하는 것이 방화안전성을 높일 수 있고, 특히, 연이 온 개구(開口)의 형태를 가진 실은 마주보는 개구(開口)에 비해 개구(開口) 반대편의 벽과 모서리 부분의 온도가 급격하게 증

가함을 알 수 있었다. 따라서, 해당부분의 마감재 선택에 방화성능이 탁월한 것을 사용하는 것이 바람직하다.

공동주택의 경우 다른 건물에 비해 화재하중이 높고, 특히 벽과 모서리 부분에 가구 등의 가연물이 대부분을 차지하고 있는 것을 감안할 때, 연이은 개구(開口)보다는 마주보는 개구(開口)의 형태가 화재 안전성이 더 높다고 사료된다.

개실과 같이 비교적 좁은 공간에서의 화재시 열유동은, 화재초기에는 개실의 면적에 영향을 받으며, 시간이 경과함에 따라 개구부의 위치와 크기의 영향을 받을 수 있었다.

3. 공동주택의 단위주호는 면적이 작을 경우, 전파 시간도 훨씬 줄어들어서, 더 위험할 우려가 있으므로, 계획초기 단계에서 방화계획의 적극적인 도입이 필수적이며, 특히 실내 칸막이벽을 서로 엇갈리게 배치하는 것이 열과 연기전파를 지연시킬 수 있다.

그리고, 대부분의 공동주택은 내력벽의 철근콘크리트 건물이다. 이러한 아파트는 소비자의 다양한 욕구를 만족시키기 위해 불충분하여서, 최근 가변형 주문식 아파트를 시도하고 있는데, 계획단계에서 고정요소에는 방화벽요소를 도입하여 방화성을 높일 필요가 있다고 본다.

4. 계단실형 단위주동의 개구 개폐유형별로 특성분석을 해 본 결과, 고층부만 즉, 11~15층을 열었던 경우가 온도가 가장 높게 나타났고, 창문 전체를 개방했을 때 온도가 가장 낮게 나타났다.

고층부를 개방시켰을 때 온도가 가장 높은 이유는, 1층에서의 화재시 뜨거운 열과 연기 모두는, 수직공간을 통해 밀도가 낮아져서, 가벼워지므로, 위쪽으로 상승하는데, 중간에 개구가 없으므로, 그 열기를 개구가 열려있는 곳까지 열기를 뺏기지 않고, 계속 가지고 올라가므로, 온도가 가장 높다고 사료된다. 수직방향의 열과 연기유동에 개구의 개폐유형에 따라 차이가 있음을 알 수 있었고, 계단실의 개구 개폐유형에 따라 열 및 연기유동에 차이가 있었다.

타워형의 개구 개폐유형별로 특성분석에 대한 결과, 먼저, 기본적인 수직공간에서 발화지점으로부터 나온 고온 열기와 연기는 벽면에 밀착되어 상승하고, 연기는 상부 개구를 통해 빠져나간다. 화열에 의한 발화지점 상층으로의 화재 확대 위험이 크다.

수직 공간 중간에 버퍼존을 둘 경우, 공간 내의 온도 및 연기 확산은 없는 경우에 비해서 차이를 보인다. 발화지점 측에 버퍼존을 가지게 되는 경우, 벽면에 인접한 곳의 열에 의한 손상은 줄일 수 있으나, 천장으로부터의 연기층 하강이 촉진될 우려가 있다. 양측

에 버퍼존을 가질 경우(No.2)는 발화지점 반대편 버퍼존으로부터 유입되어지는 외기에 의해 발화지점 측에 버퍼존을 가지는 경우(No.3)보다 연기층 하강은 적다. 발화지점 반대측에 있는 버퍼존은 공간 전체의 온도와 연기농도를 희석시킬 수 있지만, 연기의 확산범위가 넓어진다. 발화 지점측 벽면 온도에는 큰 영향을 주지 않는다(No.2, No.4).

실험결과와 비교하여 시뮬레이션에 의한 결과값은 개구 패턴에 따라 발화지점 측 상부의 차이가 크게 나타났으나, 대체로 일치하였다. 각 경우에 대하여 발화지점 상부의 반대측 천장 아래 연기층의 하강에 차이가 있다.

편복도형 공동주택에 있어서, 복도측의 창문을 개방했을 때와, 폐쇄했을 경우 두가지의 경우에 대해 열과 연기유동을 분석해 본 결과, 인접 주호까지 열이 확산되는데 걸리는 시간은 개방 되었을 때는 100초가 경과되었고, 폐쇄되었을 때는 75초가 경과되어서, 복도측 창문을 열었을 경우가 인접한 주호로의 열의 확산속도가 느려짐을 알 수 있었다.

따라서, 공동주택 평면계획의 초기단계에서 각 실의 개구 위치 설계시에도 화재안전에 대한 개념을 고려해서 설계해야하며, 단위주호의 평면계획시 각 칸막이벽의 위치, 그리고 계단실형 단위주동에 있어서는, 개폐유형을 고려해서 화재발생시 인명피해 및 재산피해를 줄여서 보다 안전성을 추구할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 현재 사용되는 대부분의 존모델의 경우, 대상 공간을 크게 몇 개의 zone으로 나누어서 각 zone간의 상호작용에 의해 발생하는 과정들을 혼합하여 기술하는 것으로 존 자체가 너무 크기 때문에 국부적인 지역에서의 온도, 연기의 확산 및 연기의 성분 등에 대해서는 자세한 정보를 얻을 수가 없다. 그러나, 본 논문에서 사용한 해석도구는 대상공간을 가능한 한 많은 수의 격자로 분할하여 분할된 각각의 작은 요소단위에 유체운동과 에너지 등의 기초방정식을 적용함으로써 공간의 많은 부분에서 화재현상의 정확성을 기할 수 있다.

그러나, 본 연구는 다음과 같은 한계성으로 인하여 향후의 연구 과제에서 보완되어야 할 것이다.

본 연구의 수행과정에서 나타난 향후 연구과제는 다음과 같다.

① 본 연구는 대상을 고층 공동주택으로 한정하여 다루고 있으나, 건축물의 화재안전성을 높이기 위해서는, 건축물의 용도 및 건축물 구조를 넓혀가면서 연구할 필요가 있다.

② 개구 유형에 관한 범위를 좀 더 심도있게 연구할

필요성이 있다. 본 연구에서는, 개구 개폐유형을 변수로 두고 분석하였지만, 추후 이 밖에 다른 요인에 관한 연구가 필요하다.

③ 추후 개구유형 이외의 건축계획적인 요소가 화재 안전성에 미치는 영향에 관해서, 분석하는 연구가 필요하다고 사료된다.

④ 추후, 단일 개구가 아닌 복수의 개구가 있는 실이나 다수의 구획으로 이루어진 공간 및 화원의 위치를 변경하는 등 여러 가지 상황을 가정한 화재시나리오를 작성하여 화재예측을 보다 정확하게 하고자 한다

향후, 다양한 실내건축 마감재에 따른 열 유동성상과의 관계에 관해서 연구해야 할 필요가 있으며, 더 나아가 피난의 개념으로 확장해서 건축물 전체 공간의 화재안전에 관한 연구 등이 뒤따라야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 통계청, 1995년 15회 인구주택총조사보고서.
2. 東京消防廳 豫防部 調査課, “火災事例からみた高層共同住宅の防火管理と問題點”, 設備と管理, 21, No. 8 (1987).
3. 室崎 益輝, 建築防災・安全.
4. 행정자치부 소방국, '98 火災統計年報, 1998.
5. 이지희, 인텔리전트 빌딩에 있어서 방재시스템의 평가방법에 관한 연구, 경북대 석사학위논문, 1992. 12.
6. 藤村 鉄哉 外, アトリウム空間の煙流動に關する研究, 日本建築學會學術講演便覽集, 1991. 9.
7. George T. Tamura, PE, Smoke Movement and Control in High-rise Buildings.
8. 이지희 외, 고층 아파트의 화재시 개구부 위치에 따른 열 유동성상에 관한 연구, 추계학술발표대회논문집, 대한건축학회, 19(2), pp961-966, 1999. 10.
9. 추연희 외, 건물 내에서의 2차원 열유동해석을 위한 시스템 개발에 관한 연구, 추계학술발표대회논문집, 대한건축학회, 19(2), pp889-894, 1999. 10.
10. 김 은 외, 건물 화재시 수직공간에서의 공기 유동에 관한 연구, 추계학술발표대회논문집, 대한건축학회, 19(2), pp967-972, 1999. 10.
11. 이강훈, 인간행동패턴에 대한 관찰과 피난로설계에의 적용방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집 13권7호 통권105호, 1977. 7.
12. 藤村 鉄哉 外, アトリウム空間の煙流動に關する研究, 日本建築學會學術講演便覽集, 1991. 9.
13. 장선익, 이명호, 고층 공동주택의 사태조사 연구, 대한건축학회논문집 9권8호 통권58호, 1993. 8.
14. 김운형 외 1인, 건물 내장재의 화재위험성 평가 방법, 한국화재·소방학회지 12권2호 통권 30호, 1998. 6.
15. 이용재, 이범재, 사례를 통한 공동주택의 피난성능에 관한 연구, 한국화재·소방학회지 12권4호, 통권 32호, 1998. 12.
16. 서덕석, 윤명오, 공동주택 소방설계원칙 및 발전방향에 관한 연구, 한국화재·소방학회지 8권2호, 통권 18호, 1994. 9.
17. 이강훈, 아트리움 건물의 화재안전에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 10권8호, 통권70호 1994. 8.
18. 이지희, 홍원화, 김화중, 인텔리전트 빌딩의 화재위험성 평가항목에 따른 정성분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 13권 9호, 통권 107호, 1997. 9.
19. 추연희, 이지희, 홍원화, 김화중, 화재시 개구의 위치에 따른 단실에서의 열유체에 관한 수치해석연구, 대한건축학회 논문집, 14권 11호, 통권 133호, 1999. 11.
20. 이지희, 추연희, 홍원화, 김화중, 고층아파트의 개구부 위치에 따른 화재시 열유동성상에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 13권 9호, 통권 107호, 1997. 9.
21. 이창준, 추연희, 이지희, 김화중, 무피복FR강을 사용한 철골주자장의 화재시 거동성상 예측에 관한 연구, 한국전산구조공학회, 제6(2)권, 1998. 4.
22. 추연희, 이지희, 김화중, 火災時開口의 위치에 따른 單室에서의 空氣流動에 관한 數値解析의 研究, 대한건축학회, 1998. 10.
23. 추연희, 이지희, 이시암, 홍원화, 김화중, 建物 内에서의 2次元 熱流動解析을 위한 시스템 開發에 관한 研究, 대한건축학회, 제19권, 제2호, 1999. 10.
24. 이지희, 추연희, 홍원화, 김화중, 高層 아파트의 火災時 開口部 位置에 따른 熱 流動性狀에 관한 研究, 대한건축학회, 제19권, 제2호, 1999. 10.
25. 김 은, 이지희, 추연희, 홍원화, 김화중, 建物 火災時 垂直空間에서의 空氣 流動에 관한 研究 - 開口 패턴에 따른 온도 및 연기 분포 - 대한건축학회, 제19권 제 2호, 1999. 10.
26. J.H. Lee, Y.H. Choo, W.H. Hong, W.J. Kim, Distribution of Temperature and Smoke in Atrium Space in High-rise Apartment Building Fires, the Third International Symposium on Architectural Interchanges in Asia 27. William D. Davis, The Zone Fire Model Jet: A Model For The Prediction Of Detector Activation And Gas Temperature In The Presence Of A Smoke Layer, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6324, May 1999.
28. GUNNAR HESKESTAD, Luminous Heights of Turbulent Diffusion Flames.
29. Watler W. Jones, Takayuki Matsushita and Howard R. Baum, Smoke Movement in Corridors- Adding the Horizontal Momentum Equation to a Zone Model, UJNR.