

## CFD를 이용한 Apartment 와 Atrium의 화재시 연기유동과 온도분포의 예측

강은주, 이성철, 문세기  
한양대학교 화학공학과, 세라믹공정연구센터

## Prediction of Fire Smoke-filling and Temperature distribution Using CFD Field Model

Eun-Joo Kang, Sung-Chul Yi, and Sei-Ki Moon  
Department of Chemical Engineering, CPRC, Hanyang University

## 서론

도시가 발달하게 되면서 점차 주거공간에서는 apartment 가 그 외 스포츠 센터나 할인 매장의 경우 점차 대형화 되면서 atrium 의 형태가 많이 나타나고 있다.

도시의 지가(地價) 상승과 더불어 apartment의 경우 점차 공동화 과밀화 되어가고 있으며 이는 화재 발생건수에 비해 인명 피해가 월등히 높아지는 원인이 되고 있다.

Atrium의 경우 역시 화재로 발생한 연기는 공간의 위쪽으로 상승하고 새로운 공기의 유입으로 인하여 온도가 감소하기 때문에 천장 근처에서 연기의 온도가 화재 감지기나 스프링클러의 작동온도에 도달하지 못하게 되어 초기 화재 진압에 어려움이 있다.

또한 시간에 따른 화재의 발달은 피난시간에도 많은 영향을 준다. 화재 초기에 형성된 ceiling jet은 점차 발달하여 천장에서부터 차내려 오게 되고 인간의 시야범위를 가리는 바닥에서 약 1.5m까지 내려오게 되면 심리적 불안감 및 패닉현상은 물론 질식으로 인한 사망도 발생하게 된다.

그러므로 복잡하고 다양한 주거공간에서 환경 및 방재 안전상의 대책마련을 위해서는 최적의 환기 시스템과 연기유동에 관한 연구가 요구되고 있다.

화재는 화재 공간의 화재하중과 구조 및 자재에 따라 화재의 성상이 크게 달라지므로 정확한 예측이 불가능하다. 이러한 경우 컴퓨터를 이용한 전산모사는 실험의 난점을 극복할 수 있으며 건축 계획적인 면에서 보다 객관적인 수치를 제공할 수 있다.

컴퓨터를 통한 화재 모델링의 연구는 크게 확률모델 (Probabilistic Model)과 해석적모델 (Deterministic Model)로 나눌 수 있다. 이러한 화재 모델링은 컴퓨터의 성능과 함께 비약적으로 발전했으나 아직은 그 한계가 있다.

해석적 모델은 크게 Field Model 과 Zone Model로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 유동 분석 상용 프로그램인 FLUENT 6.0.을 이용한 Field Model로 3차원 난류 (standard k-ε model)로 화재 성상을 구현해 보았다.

본 연구의 목적은 폐쇄 공간인 apartment와 atrium의 화재시 시간에 따른 온도의 분포가 환기구의 위치에 따라 어떻게 달라지는가를 알아봄으로서 공동주택과 대형공간내의 계획적인 측면에서 화재 안전성의 방향을 제시하며 궁극적으로는 화재시 건축물내의 인적 물질 피해를 최소화하는데 있다.

## 이론

본 연구에 적용 대상은 W.K.Chow 의 연구에서 사용된 atrium 과 apartment의 구조만을 그대로 차용하였다.

Atrium의 경우는 가장 일반적인  $L \times L \times L$ ,  $2L \times L \times L$  과  $L \times L \times 2L$ 의 3가지 모델을 선정하였으며 apartment는 2개의 room사이에 복도가 있고 각 층이 staircase로 연결된 2층과 3층 짜리 모델을 채택하였다.

그림 1은 계산에 사용된 격자를 나타낸 것이다. 실제 atrium의 절반을 계산하였으며 문의 반대쪽에 같은 크기의 창문을 설치하였다. 화재성상이 집중적으로 발달하는 곳은 격자를 작게 주었다.

실내 공간내의 환기방식은 대표적인 환기방식 3가지인 치환방식과 두 가지 혼합방식에 대해 고려해 보았다.

Atrium의 경우 fire Source는 그림에서 보듯이 중앙의  $3 \times 3$  m이며 Coal이 1500K, 50m/s로 유입되고 window에서는 air가 같은 온도로 15m/s로 의 속도로 유입되어 반응이 일어나 연소된다고 가정한다. 또한 화재의 일반적인 성상인 연료와 산소가 서로 다른 공간에서 유입되어 반응을 일으키며 연소하는 Non-Premixed model를 적용하였다.

Apartment 역시 동일 조건이며 1층과 2층에서의 각각의 화재를 구현해 보았다. 1층 화재시 복도 끝의 문쪽에서 air가 유입되는 것으로 가정하였으며 staircase의 천장에 vent가 있는 것으로 생각하고 전산모사를 수행하였다.

지배방정식은 아래와 같다.

Continuity equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$$

Momentum equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Standard  $k-\epsilon$  equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_3 \epsilon G_b) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \end{aligned}$$

Energy equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot \left( \frac{k_t}{c_p} \nabla H \right) + S_h$$

## 결과 및 토론

현재 사용되는 zone model의 경우 대상공간을 크게 몇 개의 zone로 나누어 각 zone 간 상호작용에 의해 발생하는 과정들을 혼합하여 기술하는 것으로 zone 자체가 매우 크기 때문에 국부적인 지역에서의 온도 및 연기의 확산, 농도에 대해서는 자세한 정보를 얻을 수가 없다.

그러나 본 연구에서 사용된 field model의 경우는 대상공간을 가능한 한 많은 수의 격자로 분할하여 분할된 각각의 control volume에 유체운동과 에너지 등의 기초방정식을 적용함으로써 공간의 많은 부분에서 화재현상의 정확성을 기할 수 있다.

모델링의 결과는 실제 화재와 마찬가지로 Pre-Flashover까지는 일반적인 Ceiling Jet이 형

성되고 연기의 유동에 온도의 분포도 비슷하게 발달하는 것으로 보인다.

apartment의 경우 화재가 발생한 방에서 먼저 연기가 차고 staircase를 통해 2층으로 먼저 연기가 올라가는 것을 볼 수 있다. 따라서 staircase쪽에 적절한 vent를 설치하면 더욱 효과적인 제연 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 자연 제연 보다는 계절별 날씨를 고려하여 강제 제연 설비를 설치하는 것도 고려할 수 있다.

화재가 점차 발달하게 됨에 따라 연기의 유동에 따른 적절한 환기구가 설치된다면 연기가 차내려 오는 시간을 지연할 수 있으며 보다 효율적인 대피는 물론 온도분포를 고려한 내열재의 효과적인 배치가 이루어질 것으로 기대된다.

더불어 피난의 개념으로 확장하여 건축물 전체 공간의 화재안전에 관한 연구 등이 뒤따라야 할 것이다.

### 참고문헌

1. Patankar, S. V. : "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Co., New York (1980)
2. W. K. Chow : "Prediction of Fire Environment in Apartments Using Zone Models", Technomic Publishing Co., Inc. (1996)
3. W. K. Chow : "A Comparison of the Use of Fire Zone and Field Models for Simulating Atrium Smoke-filling Processes", *Fire Safety Journal* 25 (1995) 337-353.
4. W. K. Chow : "Study on Smoke Movement and Control for Fires in Apartments", *Journal of Architectural Engineering* 89 June 1997.
5. Lee, Ji-Hee : "Distribution of Heat Smoke Related to Openings in Hise-Rise Apartment Building Fires", *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng. Vol. 15, No. 2, 2001*
6. Jeong, J.Y., Ryou, H.S., Hong, G.B. : "A Numerical Study of Smoke Movement with RAdiation in Atrium Fires", *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng. Vol. 15, No. 1, 2001*
7. W-H Kim : " Introduction to Building Fire Protection Engineering", 1998
8. W. K. Chow : " Simulation of Fire Environment for Linear Atria in Hong Kong", *Journal of Architectural Engineering* June 1997

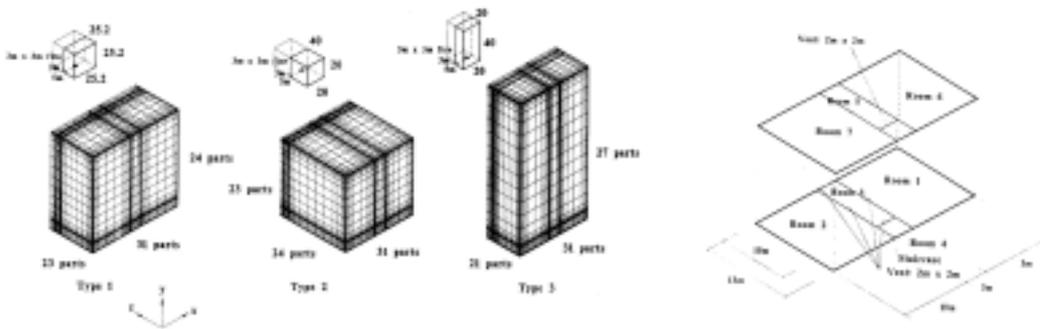


그림 1. 모델링에 사용된 Atrium 과 Apartment

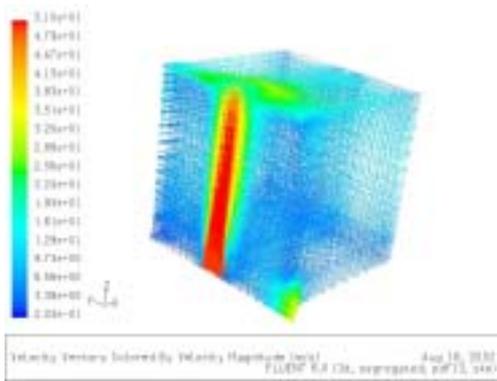


그림 2. Atrium Type2 의 Velocity

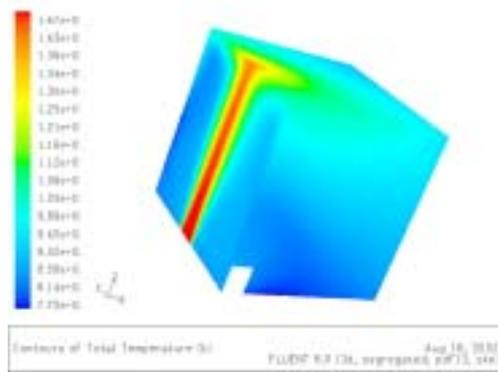


그림 3. Atrium Type2 의 Temperature

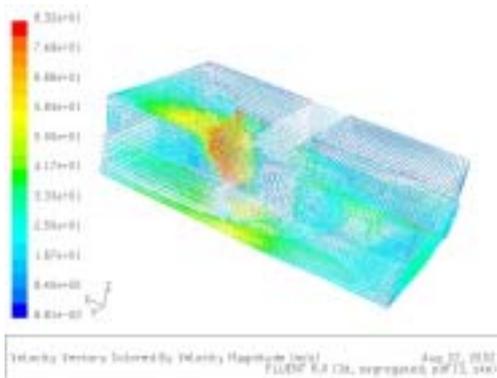


그림 4. Apartment의 Velocity

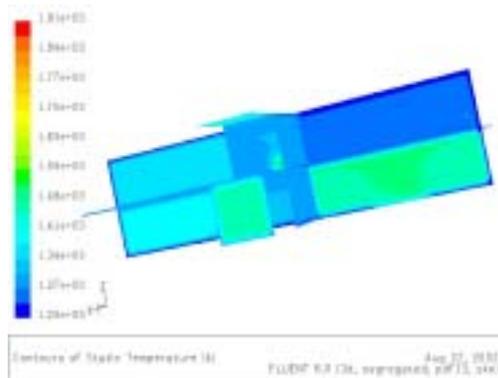


그림 5. Apartment의 Temperature