

화재 시뮬레이션 개요 및 기초이론(1)

1. 화재모델의 개념

화재가 발생하였을 경우, 특히 대규모 화재의 경우에는, 출화원인 및 연소확대원인을 규명하여, 화재 재발의 방지에 전력을 다하지 않으면 안된다. 그러나 원인 규명을 하기 위해서는, 동일한 화재현상을 재현하여 각종의 데이터를 상세하게 측정하고, 그 결과를 가지고 여러가지 각도로 해석하여야 하는데, 이것은 현실적으로 불가능한 것이다. 그래서 「화재모델」을 이용한「화재시뮬레이션」이 필요하게 되었으며, 이에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 특히, 컴퓨터 기술의 눈부신 발전·진보는 한층 더 왕성한 연구활동을 가능하게 하고 있다. 지금은 여러 방면에서 「화재시뮬레이션」이 불가결한 것으로 되어지고 있다.

「시뮬레이션」이라고 하는 말은 과학에서는, 대상으로 하는 시스템에 대한서의 모형에 의한 실험, 즉 「모의실험」이라고 불리워지고 있다. 이것은 「모방되어지는 것」과 「모방하는 것」이 있고, 「모방하는 것」은 「모방되어지는 것」의 특징을 해석 규명하여, 그것을 현실화한 것이다. 그래서 화재시뮬레이션은 현실화·재현화는 불가능한 것이고, 결코 실현되어서는 안되는 것을, 「모방하는 것」을 통하여 그 시스템(화재현상)에 대한 전망을 하는데 사용된다. 여기서 「모방하는 것」은 모

델화에 의해 대입되는 基礎支配方程式(미분방정식)이고, 그 결과(방정식의 解)는 컴퓨터의 출력장치에서이다. 지금은 컴퓨터 그래픽 기술의 진보로, 화재현상을 사실에 가까운 형태로 CRT상에 실현할 수 있게 되었다.

화재발생으로부터 화재확대로의 구멍·해석은 방재상 빠져서는 안되는 것이지만, 화재현상은 非線形 非正常 現象이기 때문에, 아주 사소한 조건의 차이에서도 화재가 생각지도 못한 결과로 되어진다. 그렇기 때문에 대규모 화재가 발생하여 다대한 피해를 초래한 경우, 실물 크기의 모형으로 화재를 재현해서, 그 원인을 규명하는 것은 아주 곤란한 일이라는 것은 말할 필요도 없으며, 화재가 비선형 현상이기 때문에, 바꾸어 말하면, 화재는 변덕스럽기 때문에 보다 신빙성이 높은 결과를 얻기 위해서는 몇번이고 실험을 시도해 보지 않으면 안된다는 것이다. 그렇게 하기 위해서는 다대한 비용과 노력과 시간이 필요하며, 많은 것들이 재로 되어버린다. 그래서 축소모형에 의한 화재실험을 행하여, 측정에 의한 데이터의 해석으로부터 실재화재를 예측하는 수법이 요구되어지게 되었고, 화재모델이 필요하게 되었다. 그러나 화재현상은 비선형 현상이기 때문에 소규모화재·축소모형 실험에서의 측정결과를 모델화에 의해 화재현상을 해명한다고 하여도, 그대로 스케일을 크게하는 것만으로는 대규모,

즉 실대화재 현상을 표현하는 것은 불가능하다. 그러나 無次元化(레이놀즈 數·프랜들 數·슈미트 數·리차드슨 數등)을 이용한 화재모델로부터, 無次元數를 나타내는 각각의 화재현상의 성질(화재기류의 유동성상·온도·연기농도·기류의

안정성등)은 예측하는 것이 가능하다. 이들의 화재모델에서는, 실제의 화재현상 자체를 표현하는 것은 불가능하다. 그렇기 때문에 실대화재를 표현하는 수학적모델을 이용한 화재시뮬레이션이 필요하게 되었고, 컴퓨터의 발달에 수반하여 현

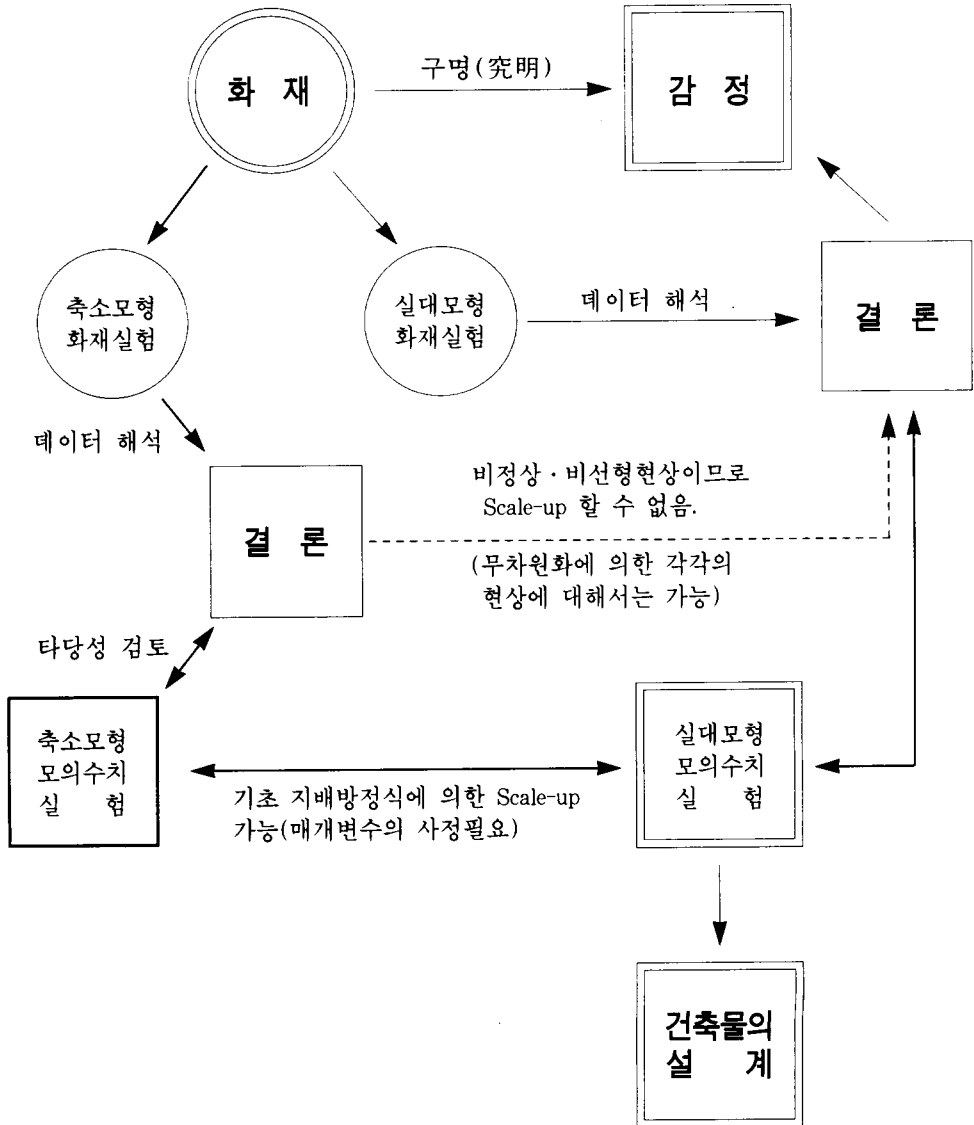


그림 1 數學모델과 화재

실화되었다. 화재 시뮬레이션 프로그램의 개발에 의한 축소모형실험·소규모화재실험의 시뮬레이션 타당성 확인후, 축소모형실험·소규모화재실험 데이터를 무차원화에 의해 熱物理·熱化學 및 流體力學 파라미터를 査定하여, 대규모 화재의 파라미터를 추정하는 것에 의해 실대화재현상을 시뮬레이션하는 것이 가능하게 되었다. 그리고 이 결과, 화재확대 현상의 규명이 가능하게 되어, 화재예방에 이용되기도 하고, 건축물의 방화설계 등에도 이용되기도 하여, 방재상 가장 중요한 방법의 하나로 화재모델이 위치를 차지하게 되었다.

또한, 歐美에 있어서는 이미 화재보험의 사정 등에 이용되어, 컨설팅에서는 빠져서는 안되는 것으로 되고 있다. 화재발생에서부터 구명·감정 및 건축물의 방화설계에 이르는 과정을 화재모델에 연관하여 도시하면 그림1과 같다.

2. 화재모델의 종류와 특징

실내화재 현상은, 火源部인 가연물의 연소과정에서 발생한 연기·가스 등을 포함한 화재기류(화염·화염기둥·열기류)의 생성과정, 계속해서 경계에 영향을 미치는 연기·가스를 포함한 열기류의 유동과정, 그리고 건물내의 각 구획에 있어서 열기류의 확산분포과정의 단계로 구분할 수 있다. 비정상 비선형인 화재현상을 어떻게하여 數式化·定式化할 것인가 하는 것으로부터 화재모델의 연구가 시작되었다. 이 비정상 비선형 현상은 初期條件·境界條件에 의해 수많은 현상이 나타나기 때문에, 케이스 스터디에 의해 서서히 해명되어지면서, 화재모델이 오늘날 중요한 역할을 담당하게 되었다.

화재모델에 대한 연구는, 통계학등의 입장에서 건축물의 화재위험평가의 목적을 위해서 연구된 『推計學的研究方法(Stochastic Approach)』, 열물리학·열화학이론 및 유체역학적 등의 이론에 근거하여, 이론적해석 및 실험적해석으로부터 기초 지배법칙을 도입하기 위해 연구한 『決定論的研究方法(Deterministic Approach)』이 있고, 전자들

『통계모델』(Statistical Model), 후자를 『수학모델』(Mathematical Model)이라고 부르고 있다.

수학모델은 대별하여 물리적·화학적 및 유체역학적 이론에 의해 실험결과를 해석하는 『경험모델(Empirical Model)』, 화재현상을 성질이 다른 Zone으로 나누어, 각각의 Zone을 나타내는 물리·화학 파라미터들의 평균값으로 대표하여, 그 파라미터를 질량보존법칙과 에너지보존법칙에 의해 Zone간의 관계를 비선형 비정형 연립상수 미분방정식과 대수방정식으로 나타내는 『존 모델(Zone Model)』, 그리고 화재영역 모든 지점에 있어서의 시시각각의 화재현상을 질량보존법칙·운동량보존법칙·에너지보존법칙에 의해 비선형 비정상 연립상수 미분방정식으로서 표현한 『필드 모델(Field Model)』로 구별되고 있다.

2.1 경험모델

경험모델은 실험결과에 근거하여 화재현상을 표현하는 모델로 『실험적모델(Experimental Model)』이라고도 말하여 지고 있다. 이 경험모델은 영국의 토머스 박사에 의해 「물리모델」로서 제안되었고, 이론적 또는 수학적 개념으로 화재실험에 의해 측정된 데이터를 해석하고, 현상을 지배하는 파라미터를 査定하여 현상론적으로 체계를 부여하기 위한 모델로 제안된 것이다. 토머스 박사가 경험모델의 개요를 기술한 바에 의하면, 화재현상의 각과정(연소과정·유동과정·확산과정)에 대하여 개개의 모델에 기술한 것과 다음과 같이 제안되어 있다.

가연물의 연소과정·연소생성물의 발생기구의 모델은, 가연물의 다중성과 동시에 연소과정·생성기구의 비정상 비선형으로 통일적 모델은 아니나, 가지각색의 물질에 대해서는 數式化·定式化가 시작되고 있다.

첫째로, 연소과정에서는 가연물의 연소에 의해 생기는 화염은 「화염모델(Fire Flame Model)」로서, 화염기둥은 「화염기둥모델(Fire Plume Model)」로서 지금은 수많은 모델이 제안되고 있다. 그 대부분은 화염모델과 화염기둥모델을 일체로한 모델로서 제안되고 있으며, 이들의 모델

은 연구에 종사한 연구자의 이름을 사용하여 모델의 이름을 붙이고 있다. 그 중에서도 미국의 「Zukoski모델」, 「Alpert모델」 및 「McCaffrey모델」이 잘 알려져 있다. 일본에서는 「横井모델」과 「長谷見모델」 그리고 「寺井·新田모델」이 세계적으로 잘 알려진 모델의 하나이다. 이들의 모델을 이용할 경우 적용범위에 충분한 주의를 하지 않으면 안된다. 실험의 규모 등에 따라서는 스케일 등의 파라미터를 外插할 수 없는 경우가 있기 때문에 内插의 적용범위내에서 이용하지 않으면 좋은 결과를 기대할 수 없다.

둘째로, 가연물의 열분해·연소에 따라 발생하는 화재기류의 상승류에 관해서는 「噴流모델」과 「射流모델」이 있다. 화재기류의 천정면 등의 영향에 있어서는 「Ceiling-jet모델」이 있으며 Alpert 박사의 연구는 유명하다. 또한 건물내의 압력분포에 따라 연기·가스 등을 함유한 화재기류의 유동을 조사하는 「압력분포 모델」은 미국의 데·리스 박사에 의해 제창되었다.

셋째로, 발달한 화재기류의 흐름을 취급하는 「폴드모델」과, 화재기류의 旋回에 있어서의 「레이리모델」, 그리고 화재기류의 안정성과 가로로 길게 뻗친 열기류 등의 成層에 관해서의 「유동확산 모델」등 많은 모델이 제안되고 있다. 이들은 「무차원화모델(Scale Reduction Model)」로 불리고 있으며, 축소모형실험이나 소규모실험 해석에서 모델링을 위한 무차원물리·화학파라미터를 介在시켜 실험·대규모실험에 있어서의 화재현상을 시뮬레이션하는 것이 가능토록한 모델이다.

2.2 ZONE모델

구획된 건물내에서 화재가 발생한 경우 물리·화학적으로 동일한 성격을 가진 Zone을 구분하여 각각의 Zone에 대하여 열역학적인 검사체적으로서 그의 성질을 조사하는 모델이 있으며, 「檢査體積모델(Control volume model)」이라고도 불리워지고 있다. 예를 들면 구분되어진 Zone은 화원에 있어서는 화염·화염기둥, 건물에 있어서는 천정·바닥·벽·창이나 문 등의 개구부,

표 1 Zone모델 화재시뮬레이션 프로그램

국 명	프로그램명	모 델	화재의 종류
미 국	ASET	2층모델	1실1층
미 국	ASET-B	2층모델	1실1층
일 본	BRI2	2층모델	다수실다층
미 국	CCFMVENTS	2층모델	다수실1층
독일 노르웨이	CFIRE-X	2층모델	다수실1층
프 랑 스	CIFI	2층모델	1실1층
스 웨 덴	DSLAW	2층모델	1실1층
미 국	FAST	2층모델	다수실1층
미 국	FIRST	2층모델	1실1층
프 랑 스	FISBA	2층모델	1실1층
미 국	HARVARD VI	2층모델	다수실1층
미 국	HAZARD I	2층모델	다수실1층
노르웨이	R-VENT	2층모델	1실1층
일 본	SMKFLW	1층모델	1실1층

그리고 건물내의 내부 기체에 있어서는 구획실내를 「상부고온연기층(열기층)」과 「하부실온공기층(냉기층)」과의 2층으로 성층화시킨 「2층 Zone모델」과 공조 등에 의해 실내의 화재기류의 기체가 강제적으로 교반되는 상태에서는 열기층과의 구별이 되지않는 「1층 Zone모델」로 구분되어 있다. 현재로서는 화재의 상태에 따라 열기층부를 수개층으로 나눈 「다층 Zone모델」의 도입이 검토되어지고 있다. 각각의 Zone에서는 경험모델을 기본으로 한 「副모델(Sub model)」로서 취급하여, 주로 대수방정식으로 표현하고, 氣層 Zone은 질량보존의 법칙·에너지 보존의 법칙을 이용하여 常微分방정식으로 나타내고 있다. Zone 간의 관계는 연립방정식으로서 관계되어지고 있고, 대수방정식을 포함한 연립상수미분방정식의 解에 의해 화재현상을 표현하는 방법이 「Zone모델」이다. 현재에는 여러가지 Zone모델이 개발되어 있으며 표1은 주요한 Zone모델을 소개한 것이

다.

Zone모델은 미국 하버드대학의 에몬즈박사의 그룹에 의해 제안·개발되었다. 단일실 2층 모델로서 개발되어, 「하버드 V단일실 모델」로서 단일실내 화재시뮬레이션 코드가 알려졌으며, 후에 이 그룹의 담당자인 로케트 박사에 의해 개량·수정되어 「FIRST」로 개명되었다. 그리하여 단일실내로부터 다수실내 화재로의 모델의 발전·개량이 이루어져 「하버드VI 다수실 모델」이 개발

되었다. 한편, 일본은 건설성건축연구소의 田中박사가 독자적으로 다층다수실내 모델을 개발하였다. 이 「田中모델」은 유일한 다수실·다층 2층 Zone모델로서 세계적으로 평가를 받은 Zone모델이다. 현재 잘 알려진 모델은 이 밖에도 미국의 윌터박사가 개량한 「HAZARD」·「FAST」가 있다. 그림2는 2층 Zone모델의 개념도를 圖示한 것이다. 또한 일반적인 경우에서의 Zone모델에 의한 氣層部の Zone방정식은 다음과 같다.

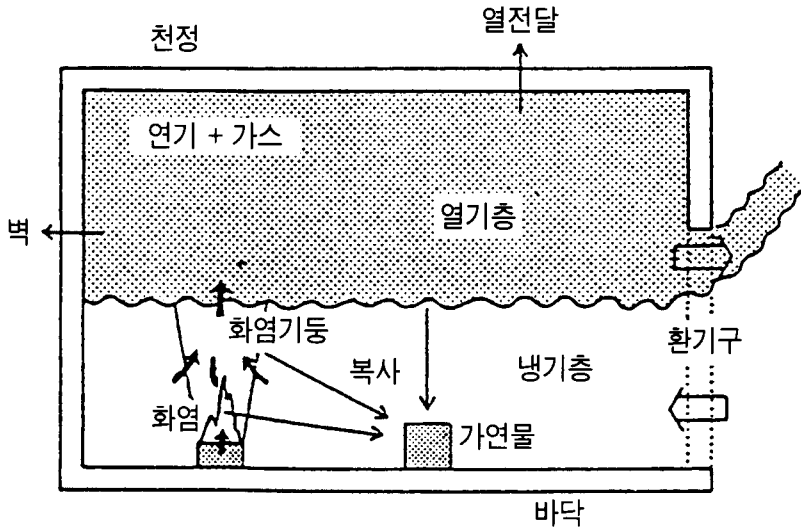


그림 2. 2층 ZONE모델의 개념도

【Zone 방정식】

온도(열량)

$$\rho_c V \frac{d\theta}{dt} - V \frac{dP}{dt} = \dot{q}_{net} + \Delta H \dot{m}_b + c_p \sum_j (\theta_j - \theta) \dot{m}_j$$

열전달 · 열복사

온도변화 압력변화 연소 배기구에서의 유입 · 유출

열기층의 체적(열량)

$$\rho_c V \theta \frac{dV}{dt} - V \left(\frac{c_p M}{R} - 1 \right) \frac{dP}{dt} = \dot{q}_{net} + \Delta H \dot{m}_b + c_p \sum_j \theta_j \dot{m}_j$$

열전달 · 열복사

체적변화 mol분자량에 의한 압력변화

연소 배기구에서의 유입 · 유출

연기·가스 등의 농도(질량)

$$\rho V \frac{dY}{dt} = \sum_j (Y_j - Y) \dot{m}_j + \Gamma$$

연소에 의한 발생

농도변화 배기구에서의 유입 · 유출

압력(열량)

$$\left(\frac{c_p M}{R} - 1 \right) V \frac{dP}{dt} = \dot{q}_{net} + \Delta H \dot{m}_b + c_p \sum_j \theta_j \dot{m}_j$$

열전달 · 열복사 환기구에서의 유입 · 유출

압력변화 연소

2. 3 FIELD모델

Zone모델은 건물내를 똑같은 성질을 가진 검사체적으로 나누어, 그 체적의 평균값으로 그 성질(온도·압력·化學種등)을 표현하지만, Field모델은 건물내외의 영역내의 모든 위치에서 화재현상을 非線形 非正常 연립편 미분방정식에 의해 표현하는 모델이다. 화재방정식의 도입에 있어서, 화재기류의 취급에 관해서는, 현재로서는 화재성질을 고려에 넣어서 압축성 粘性流體로서 표현하고 있다. 그리고 화재기류의 수학 모델의 기술법에 있어서는, 유체를 입자의 집합(유체입자)로서 개개 입자의 거동을 표현하는 라크란쥬식 기술법으로 루이빌 방정식을 볼트만 방정식으로서 표현하는 방법이 이용되고 있다.

또다른 방법은 각 시각에 있어 유체를 흐름의 場(連續體) 전체의 모양을 내다보는 오일러식 기술법으로 볼트만 방정식을 모멘트법을 이용하여 나비에·스톡스식 방정식으로서 표현한 방정식이 이용되어지며, 대부분의 모델에서 이 방법이 채용되고 있다.

【볼트만 방정식】

$$\frac{\partial f_N}{\partial t} = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\partial f_N}{\partial p_{ij}} \frac{\partial H}{\partial p_{ij}} - \frac{\partial f_N}{\partial p_{ij}} \frac{\partial H}{\partial p_{ij}} \right)$$

【나비에·스톡스 방정식】

$$\begin{aligned} & \frac{D}{Dt}(n\bar{\phi}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(n\bar{\phi}c_j) + n\bar{\phi} \frac{\partial_j}{\partial x_j} \\ &= n \left\{ \frac{D\bar{\phi}}{Dt} + c_j \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial c_j} \left(F_j - \frac{D_j}{Dt} \right) - c_j \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial c_i} \frac{\partial_j}{\partial x_j} \right\} \\ &+ n\Delta\bar{\phi} \end{aligned}$$

화재기류를 압축성 점성유체로서 오일러식 기술법으로 표현하면 다음의 방정식이 된다.

【Field 방정식】

연속식(질량)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = \dot{m}_b$$

운동방정식(운동량)

대류에 의한 변동 압력변동(확산)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + F_i$$

질량유속의 변화 압력변동 부력

$$\begin{cases} T_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \\ F_i = -\delta_{i3} g \end{cases}$$

운동방정식(운동량)

대류에 의한 변동

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j h}{\partial x_j}$$

엔트로피 변화

散逸 열전달·열복사

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) + \frac{DP}{Dt} + \phi + \Delta H \dot{m}_b + \dot{q}$$

확산

압력변화

연소

상태방정식(질량)

$$P = \rho R \theta$$

연기·가스농도(질량)

대류 변동

層內 화학반응

$$\frac{\partial \rho Y}{\partial t} + (1 - \delta_{3j} \omega) \frac{\partial \rho u_j Y}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(A \frac{\partial Y}{\partial x_j} \right) + j_b - \frac{DJ}{Dt}$$

농도변화 연기 침강

확산

연소 연기응축

여기서는 흐름의 상태를 운동량보존법칙으로서 나타내고 있으며, Zone 방정식에서는 氣層内の 유체의 유동상태를 표현할 수 없는 것에 비교하면 커다란 차이가 있다.

표 2. Field모델 화재시물레이션

국명	프로그램명	유체	해법모델
영국	JASMINE	압축	난류복사 2방정식모델
영국	PHOENICS*	압축	난류복사 2방정식모델
영국	TEACH3D	압축	난류복사 2방정식모델
미국	BF3D	입자	직접해법모델
미국	(FM)	압축	난류복사 3방정식모델
미국	UNSAFE	압축	난류 2방정식모델
일본	수정UNSAFE	압축	난류 2방정식모델
일본	SUTFIRE-T	압축	난류불완전 2방정식모델
일본	SUTFIRE-L	압축	LES 모델
일본	SUTFIRE-D	압축	직접해법 모델
일본	(BRI)	압축	난류 1방정식 모델
일본	(東가스)	압축	난류복사 2방정식 모델
일본	(東大)	압축	LES 모델
일본	(東大)	압축	난류 2방정식 모델
일본	STREAM*	비압축	난류 2방정식 모델
일본	HFLOW*	비압축	난류 2방정식 모델
독일	FISCO-3	압축	난류 2방정식모델
노르웨이	KAMELEON FIRE E3D	압축	난류복사 2방정식모델

게다가 화재기류의 성질·유동성상에 따라서 모델을 분류하지 않으면 안된다. 燻燒화재나 확대화재의 最盛期의 상태에서는 「層流 모델」이나 「遷移모델」로 화재현상을 표현하고 있다. 또한 화재확대초기·성장기는 「直接解法모델」과 「亂流모델」이나 「LES모델」등으로 표현되며, 화재분야에서는 난류모델이 주로 채용되고 「LES모델」은 일부의 연구자들에 의해 이용되고 있다. 일본에서는 東京 理科대학의 森田박사와 東京대학의 村上박사의 연구가 잘 알려져 있다. 난류모델은 화재기류의 난류성질로부터 유체를 국소평균류와 변동류로 분리하여 표현하며 「1방정식 모델」

과 「2방정식 모델」으로 표현하는 수법 등이 있다. 표 2는 주요한 Field모델을 소개한 것이다. 표 중 별표는 시판을 행하는 프로그램이다. 인스톨하는데 최저 수천만원의 비용이 든다. 또한 괄호내는 소속기관명으로 모델명은 붙어있지 않다.

3 존 모델과 필드 모델의 차이

화재현상을 시물레이션하기 위한 존모델과 필드모델에 의한 컴퓨터 프로그램과 모델의 개념의 차이는 다음과 같다. 그림 3은 실내화재에서의 2층 존모델과 필드모델의 개념도를 나타낸 것이다.

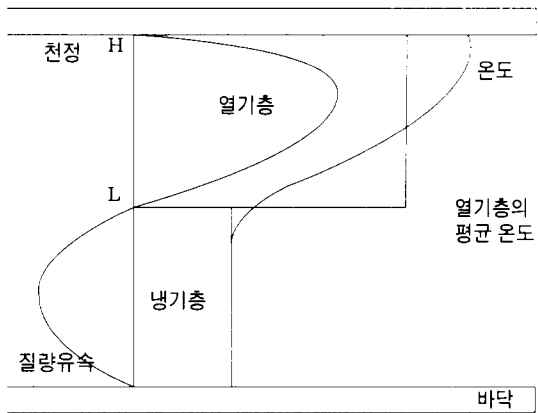


그림 3 필드모델과 2층 존모델의 개요

필드모델에서는 2층 존모델의 氣層과 대비하기 위하여, 열기류의 속도가 0의 높이의 위치를 중성체로하여 상부를 다량의 연기·가스를 포함한 고온의 氣層(熱氣層), 하부를 비교적 연기·기스의 양이 적은 실온에 가까운 온도를 가진 氣層(冷氣層)으로 나눌 수가 있다. 한편 존모델에서는 존모델의 성질상 화재기류에 상당하는 기체의 흐름은 표현 불가하고 열기층·냉기층의 구별은 가열원에서 생기는 질량유량에서 구하여지고 있다. 그렇기 때문에 존모델에서는 수치계산에서 가장 귀찮은 운동량보존법칙을 취급할 필요가 없다. 그러나 그림.3에 나타나는 열기층의 높이는 존모델과 필드모델에서 거의 일치한다.

존모델은 모델의 성질상 다음에 나타난 바와같이 필드모델의 결과로부터 이끌어 내는 것이 가능하나 존모델의 계산결과로부터 필드모델을 이끌어내는 것은 불가능하다. 이 관계를 氣層온도 및 개구부(문·창등)에서의 질량속도에 대하여 필드방정식에서 존방정식으로 변환하는 관계식을 1차원적으로 표시하면 다음과 같다.

【존방정식·필드방정식 관계식】

	온도	질량유속
필드모델	$\theta(z)$	$\rho u(z)$
존모델	$\bar{\theta}$	$\bar{\rho u}_z$

온도

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{열기층} \quad \bar{\theta}_u = \frac{1}{H-L} \int_L^H \theta(z) dz \\ \text{냉기층} \quad \bar{\theta}_l = \frac{1}{L} \int_L^H \theta(z) dz \end{array} \right.$$

질량유속(환기구로 표현)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{열기층부} \quad \bar{\rho u}_u = \frac{1}{H-L} \int_L^H \rho u(z) dz \\ \text{냉기층부} \quad \bar{\rho u}_l = \frac{1}{L} \int_L^H \rho u(z) dz \end{array} \right.$$

표3은 존모델과 필드모델에 의한 화재 시뮬레이션의 차이를 주요 항목별로 정리한 것이다. 일목요연하게 그 차이를 알 수 있어, 필요에 따라 구분 사용하면 보다 효율적으로 된다. 이것은 이것은 「常微分방정식」과 「偏微分방정식」과의 수치해법의 차이에 의해 이와같이 커다란 차이가 생기는 것이다.

표3 존모델과 필드모델의 차이점

	존 모델	필드 모델
화재규모	다층·다수실 화재	수개층·실화재
적응화재	확대화재 이후	초기화재및확대화재
해석표현	거시적 표현	상세표현
보존식	· 에너지보존 · 질량보존	· 질량보존(열류) · 운동량보존 · 에너지보존 · 질량보존(성분)
지배방정식	1층 상미분방정식	2층 편미분방정식
수치해법	· 룽게쿠틀法 · 기어法 · 뉴턴法	· 有限差分法 · 有限要素法 · 境界要素法
계산식	· 퍼스널컴퓨터 · 워크스테이션	슈퍼컴퓨터
계산시간 계산요금	수분~수시간 무료~수만원	수시간~수십일 수백만원~수천만원

예제로서 거의 동일한 조건으로 존모델과 필드모델에 의한 화재현상의 시뮬레이션을 행한 결과를 살펴보면 다음과 같다. 사용한 화재 시뮬레이션 프로그램 코드는 HARVARD-VI프로그램과 SUTFIRE-T프로그램으로 그림4는 존모델에 의한 계산결과, 그림5는 필드모델에 의한 계산결과를 도시한 것이다. 이 예제에서는 유사한 결과가 얻어졌으나 일반적으로는 계산영역, 화재원의 복잡성, 외부에서의 입력조건의 차이에 따라 필드모델의 결과와 존모델의 결과와의 일치는 그다지 기대하기가 어렵다고 할 수 있다.

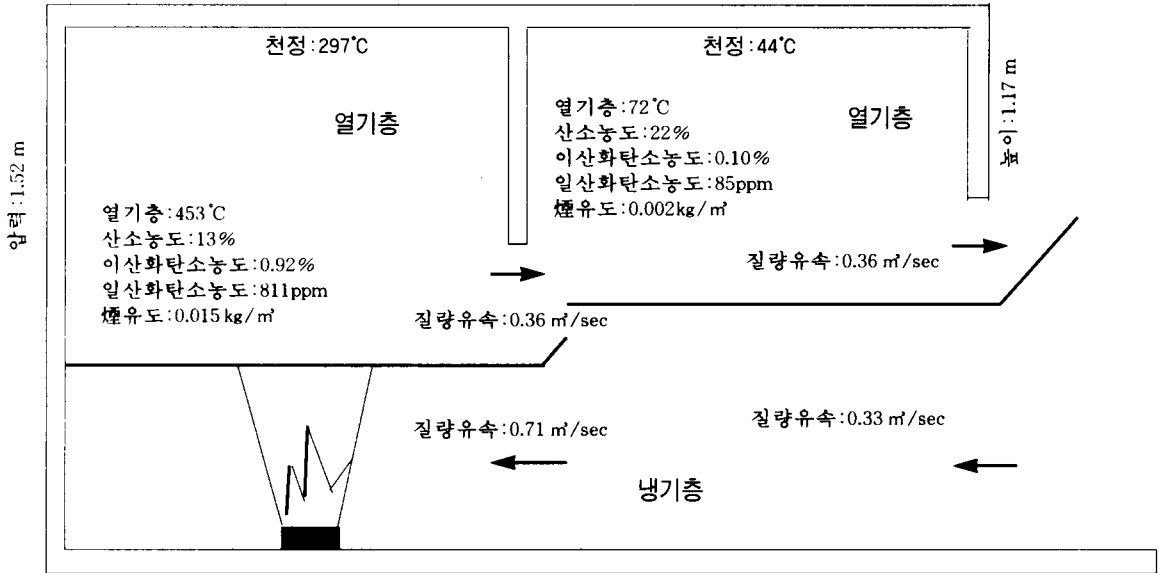


그림4 존모델에 의한 계산결과

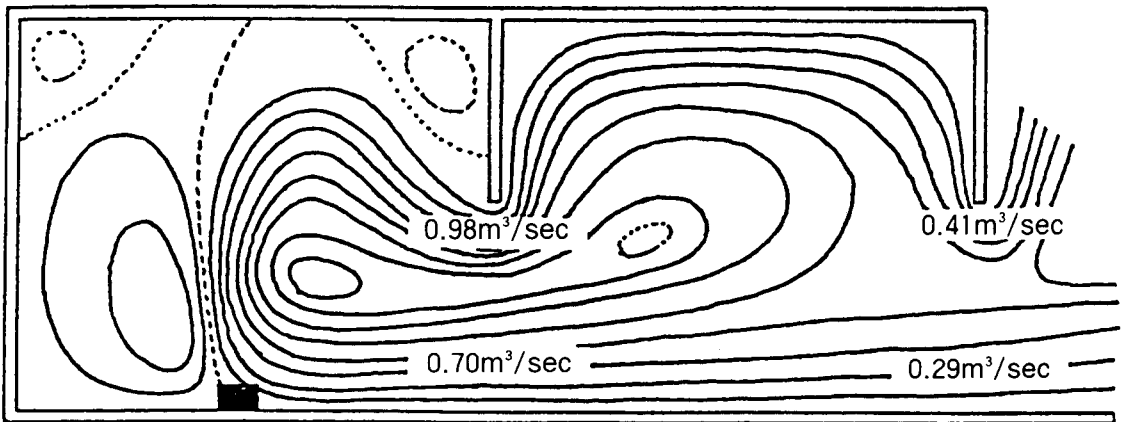


그림5 필드모델에 의한 계산결과(流線)

<다음호에 계속>