

## 도시화재 화염전파 모델에 관한 연구

구인혁 · 신이철 · 권영진 · 남동군\* · 林 吉彦\*\*

호서대학교 소방방재학과 · 한국소방산업기술원\* · 일본건축연구소\*\*

### A Study on Flame Propagation Model for Urban Fires

Koo In-Hyuk, Shin Yi-Chul, Kwon Young-Jin,

Nam Dong-Gun\*, Hayashi Yoshihiko\*\*

HOSEO Univ · Korea Fire Equipment Inspection Corporation\*

· Building Research Institute Japan\*\*

#### 요 약

우리나라는 건축물 화재 및 지진으로 인한 화재의 위험성이 증가해 가면서 시가지 화재에 대한 위험성이 점차 늘어나고 있다. 하지만 이에 대한 대응책은 미비한 실정이다. 반면 일본의 경우는 과거의 화재사례를 토대로 시가지 화재에 대한 대응책 및 시뮬레이션 개발이 수행되었으며 이를 통해 각 지구의 화재위험성을 평가하여 대책을 마련하고 있다. 본 연구에서는 이러한 시가지 화재 시뮬레이션의 화염전파 모델에 관하여 소개함으로써 향후 국내의 시뮬레이션 개발에 있어서 기본적인 방향을 제시하고자 하였다.

#### 1. 서론

우리나라는 1980년대 이후 건축물 화재가 지속적으로 증가하고 있으며 특히 2000년 이후 발생한 연 3만 건의 화재 중 80%가 건축물 화재로 화재의 대부분이 건축물화재인 것으로 나타났다. 또한 최근 10년간 지진의 발생빈도와 위험도가 점차적으로 증가하고 있으며, 일례로 지난 2005년 3월에 통영 재래시장에서 화재가 발생하여 지진으로 인한 최초의 화재사례로 기록된바 있다. 이러한 원인으로 건축물화재가 화재가 발생할 경우 대규모의 시가지 화재로 화재가 확대되어 심대한 피해가 발생할 위험성이 있다.

일본의 경우는 1995년 효고 현 남부에서 발생한 지진으로 시가지 화재가 발생하여 화재가 건축물과 도로 등의 도시기반에 심대한 피해를 입혀 시가지 화재가 발생했을 때 시가지 화재에 관한 지구레벨에서의 안전성향상과 연소차단성의 중요성이 제기되었다. 이에 따라 일본에서는 시가지화재시뮬레이션 개발을 통해 시가지 화재에 대한 대응책을 마련하였다.

따라서, 본 연구에서는 일본의 시가지 화재 시뮬레이션의 화염전파 모델을 소개함으로써 이를 통한 우리나라의 실정에 맞는 시가지 화재 시뮬레이션 개발의 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 일본의 시가지 화재 시뮬레이션

일본건축연구소는 시가지화재시뮬레이션을 개발하였으며 이는 방재상 위험성이 높다고 평가받은 지구의 상세한 방재성능평가를 위한 평가기술로서 이를 통해 화재실험의 정확한 물리적 모델구축이 가능해졌다. 또한 건물의 개구부의 크기와 위치에 따른 영향평가 및 화염의 합류를 고려한 시뮬레이션을 수행하여 한 건물에서 출화 후 다른 건물로의 화재확대 속도를 예측하는 것이 가능해졌다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 그림1에 나타낸 것처럼 화재에 따른 전체 지구 소실율을 예측하여 위험요소 및 개선점을 파악하고 이에 따른 화재안전 대책을 수립하여 안전한 방재도시를 구현하고자 하고 있다.

## 3. 시가지 화재 물리모델 개요

연소 확대 현상은 건물에서 건물로 화재가 확대되는 현상으로 파악할 수 있지만, 건물 내의 화재는 내화벽이나 방화벽 등의 어느 정도 방·내화성능을 갖는 벽면에 의해서 공간적인 분리가 되고 있으며, 이로 인해 건물 내에서의 연소는 일정하게 확대되지 않는다. 따라서 건물단위로 연소 확대 과정을 고려하는 것 보다 이러한 분리된 공간의 연소 확대를 고려하는 것이 더 효율적이다. 이 모델에서는 구획이라는 공간을 정의하고 각각의 구획에서 구획으로의 열의 전달을 계산하는 것으로 연소 확대 현상을 기술하였다.

### 3.1 연소의 단위와 화재진행 시나리오

구획이란 화재 시에 온도상승 곡선이 같은 모양으로 상승되는 한편 동시에 최성기로 접어드는 영역으로 정의한다.

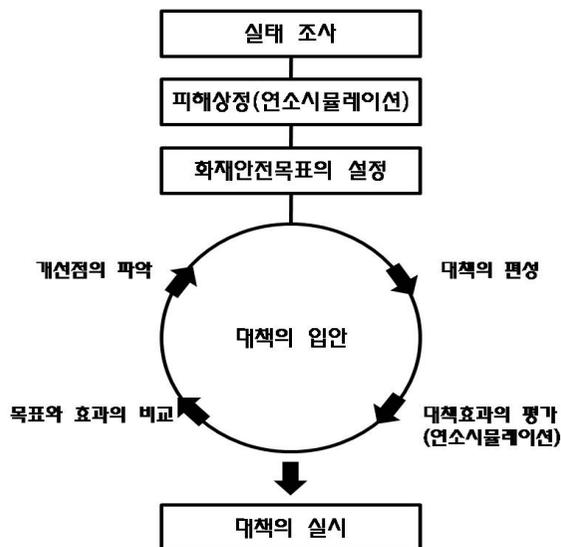


그림1. 화재 안전대책의 입안과정

표 1. 화재 성상에 따른 화재진행 시나리오

구 분	화재 시나리오
내화조	외부로부터의 가열에 대하여 개구부를 통해 내부의 가연물이 착화될 가능성이 있다. 화염이나 열 기류는 개방 또는 유리가 깨진 개구부로부터 분출한다.
준내화조	외부로부터의 가열에 대하여 개구부를 통해 내부의 가연물이 착화한다. 그 후 개구부로부터 화염이나 열 기류가 분출되고 지붕은 내부의 연소가 진행됨에 따라 붕괴하거나 지붕에서도 화염이 분출한다. 외벽은 화재 종료 후 붕괴한다.
방화조	외부로부터의 가열에 대하여 개구부를 통해 내부의 가연물이 착화된다. 그 후 개구부로부터 화염이나 열 기류가 분출되고 내부의 연소가 진행되어 감에 따라 지붕 및 외벽이 순차적으로 붕괴하며 최종적으로 전체화재가 되며 불타오른다.
목조(목재가 드러난 구조)	외부로부터의 가열에 대하여 노출된 목조부분이 착화된다. 지붕이나 외벽은 내부의 연소와 함께 곧 화염에 휩싸인다.

예를 들면, 내부에 내화벽 등이 설치가 되어 있지 않은 단독주택은 주택 한 동이 그대로 한 구획이 된다. 반면, 내부에 내화벽 등이 설치되어 있는 내화건축물의 경우는 내화능이 있는 벽 또는 슬래브 등으로 둘러싸인 공간을 각각 하나의 구획으로 나눈다. 공동주택 및 맨션처럼 각 세대 간의 경계마다 내화벽이 설치되어 있는 건축물은 각각의 구역이 구획이 되므로 하나의 건축물에 복수의 구획이 존재하는 것으로 본다.

또한 현실의 시가지에는 다양한 구획이 존재하며 각각의 구획이 방·내화능이나 화재시 화재성상이 각각 다르다. 본 모델에서는 구획을 화재성상에 따라 4가지(내화조, 준내화조, 방화조, 목조(목재가 드러난 구조)) 타입으로 구분하여 각각의 타입을 이하의 시나리오에 따라 화재가 진행되는 것으로 하였다.

### 3.2 화재성상에 따른 화재진행 시나리오

화재성상에 따른 화재진행 시나리오는 표1에 나타난 바와 같이 화재성상에 따라 4가지로 구분하고 있다. 단, 방화조의 내부 및 지진에 의해 도괴(1층 이상이 붕괴)된 구역은 목조로 본다.

그림2는 화재성상에 따른 화재진행 시나리오의 이미지를 나타낸 것으로서 여기서 착화의 가능성이 있는 부분을 '착화가능영역' 이라고 하며 출화전의 상태를 model1, 개구부 및 옥상에서 화염이 분출하고 있는 상태를 model2, 구획전체가 하나의 화염이 되어 연소하고 있는 상태를 model3, 화재가 진화된 후의 상태를 model4 로 정의하고 있다.

또한 그림3은 시가지를 구획단위로 나타낸 것으로서 각 건물 및 구획마다 각각 다른 특성을 부여하여 시뮬레이션을 구성할 수 있는 것을 알 수 있다.

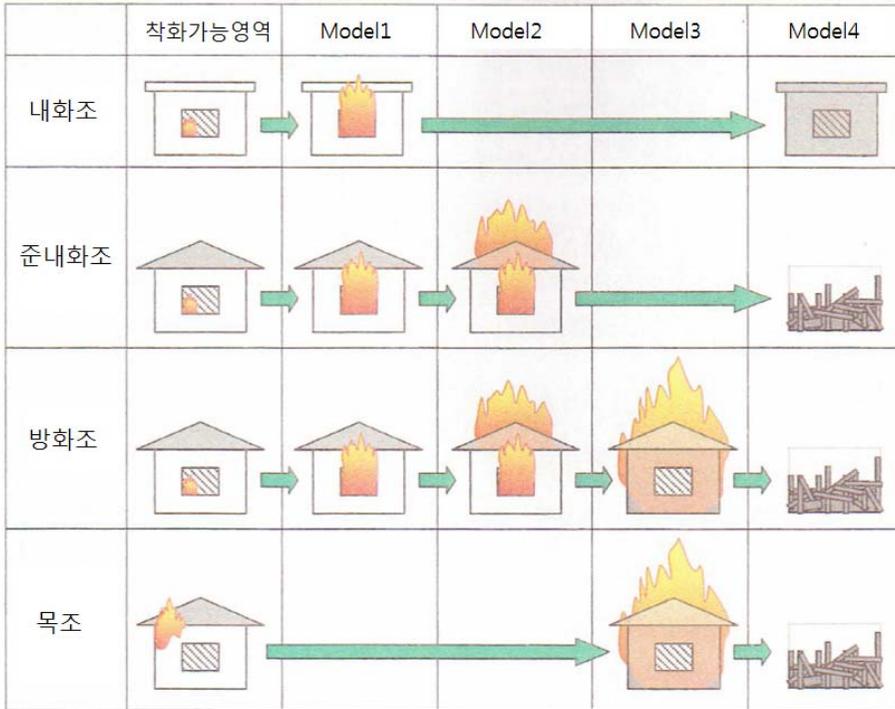


그림 2. 구획의 구조에 따른 화재진행 시나리오

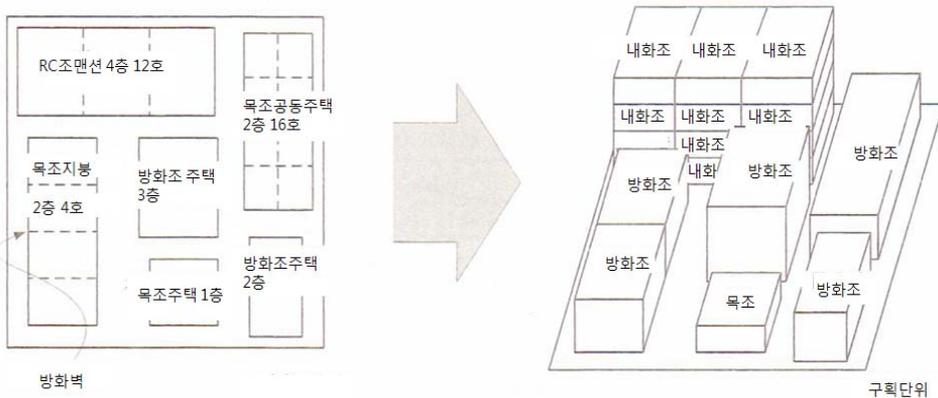


그림 3. 구획단위로 본 시가지의 이미지

### 3.3 시가지 화재의 시나리오

시가지 화재는 그림4에 나타난 것처럼 ①출화한 구획은 개별로 화재가 진행되며 이속고 진화된다. ②그 사이 외부에 화염 및 열 기류의 형태로 열을 방출한다. ③구획외부에 방출된 열은 방사열 및 대류열의 형태로 구획의 구획을 가열한다. ④이로 인해 온도가 상승하여 이속고 착화하며 착화한 구역도 다시 개별화재가 진행된다. 이러한 개별구획의 화재가 진행되는 것을 모델화 하여 시가지 화재의 시나리오를 가정하며 그 사례를 그림5에 나타내었다.

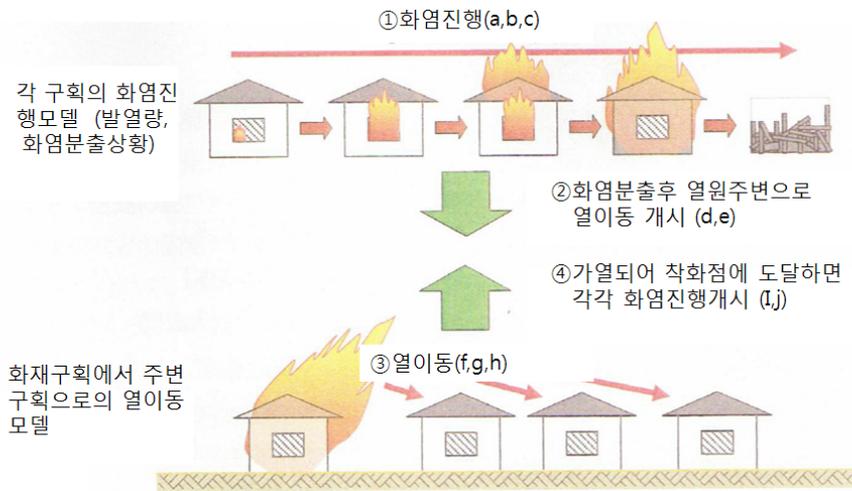


그림 4. 시가지 화재의 시나리오

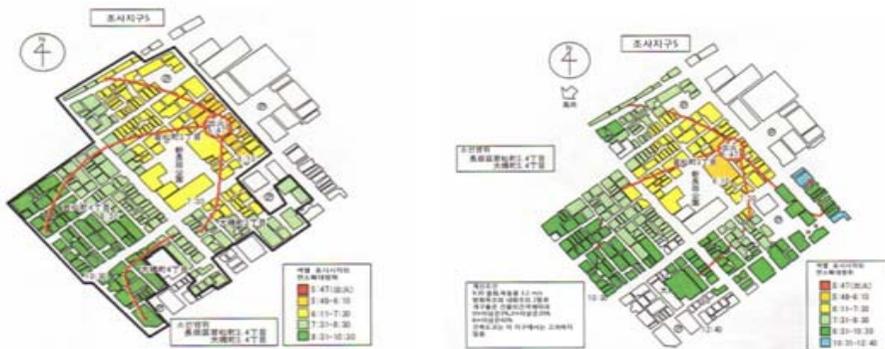


그림 5. 시가지화재 적용사례

표 2. 시가지 화재에 관한 서브모델

개별구획의 화재성장 모델		
a	가연물량 계산	구획을 구성하는 부분 과 구획 내부의 수납물의 가연물량의 계산
b	환기량 계산	화재진전 상황에 따른 개구부, 옥상, 외벽을 고려한 공기의 공급량의 계산
c	발열속도 계산	환기량과 가연물량을 통해 가연물의 연소의 크기와 속도를 계산
구획 외부에 관한 열원의 모델		
d	화염 형상 계산	각 개구부, 옥상 등 건물 주위에 형성되는 화염형상의 계산
e	화염 합류 판정	연소건물 주위의 화염이 다른 화염과 합류하는가의 판정
전파되는 열원에 관한 모델		
f	기류온도계산	주위의 기류온도 계산
g	접염 판정	근방의 화염에 접하는가의 판정
h	방사열량계산	주위의 화염이 어느 정도의 크기로 보이는가의 기하학적 계산
온도상승과 출화에 관한 모델		
i	착화 판정점 계산	착화 가능영역 중 가장 빨리 착화할 가능성이 있는 위치를 계산
j	온도상승계산	기류, 방사의 영향에 의한 착화 판정점의 온도변화를 계산

이 시나리오는 표2에 나타낸 서브모델을 분해한 것이며, 시뮬레이션 프로그램에서는 이러한 서브모델을 조합하여 전체의 시뮬레이션 모델을 구축하고 있다.

#### 4. 결론

일본의 시가지 화재 시뮬레이션의 화염전파 모델에 관한 분석결과 단순한 건물단위의 평가가 아닌 화재성상을 고려한 구획단위로 평가를 수행하였으며 구획의 특성을 내화조, 준내화조, 방화조, 목조의 4가지로 분류하며 각각의 특성에 맞는 평가를 수행하였다. 또한 서브모델로 화재성장과 열원의 전파, 온도상승 및 출화에 관한 계산식을 사용하여 이를 물리적으로 뒷받침해주고 있다.

따라서, 향후 이러한 일본의 화염전파 모델을 바탕으로 국내에서도 시가지 화재 화재성상 예측을 위한 시뮬레이션개발이 이루어 져야 할 것이며 이를 위한 각 건축물의 가연물과 구조에 대한 조사를 통해 국내의 실정에 맞는 시가지 화재 시뮬레이션의 개발이 이루어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2009년도 소방방재청 국제공동연구인 『도시화재의 물리적 연소성상예측모델의 개발과 이를 이용한 화재리스크 평가기법의 개발』 지원에 의하여 수행하였으며 관계자께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 日本建築研究所 (2006). “市街地の延焼危険性評価手法の開発” 建築研究報告.