

성능위주 방화설계와 플래시오버



김 동 일
위험관리센터
조사분석팀장

1. 플래시오버란 무엇인가

화재는 「출화→초기 화재→플래시오버→최성기」의 과정을 거쳐 확대한다. ([그림 1]참조)

플래시오버(Flash-over 혹은 FRI(Full Room Involvement, 전실화재)란, 실내화

재에서 연소가 확대하여 화염이 천장면에 달한 뒤, 급속히 수평 방향으로 확대하여 실내 전체를 휩싸는 현상을 말한다. 즉, 밀폐 공간에서 발생하는 화재 성장 과정 가운데, 모든 노출표면이 거의 동시에 발화온도에 도달하여 화재가 실 전체로 급속하게 확산되는 단계로서, 가연성 수용품의 표면온도가 상승하여 열분해가스가 발생하고, 이들 모든 열분해가스가 실내의 열 플릭스에 의하여 발화온도까지 상승할 때 일어나는 현상이다.

화재 초기에는 그 영향이 건물 내의 국소 부분에 한정되지만, 플래시오버 이후에는 실 전체로 확산되므로, 연기의 제어 및 피난 대책을 필요로 하게 된다.

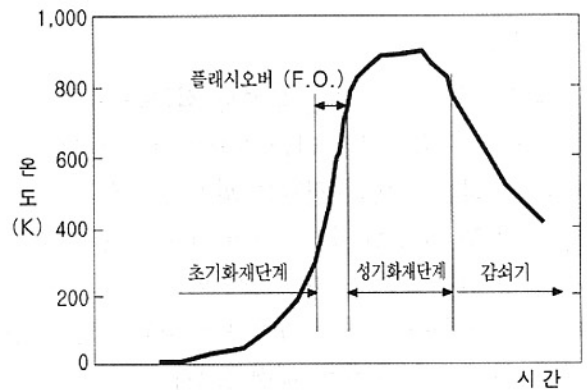
실내화재에서의 플래시오버 현상은 다음의 과

정으로 발생하게 된다.

- 화재가 발생하면 화원 가까이 한정되어 있던 연소 영역이 조금씩 확대한다. 이 때 발생한 가연성가스는 천장 근처에 체류한다.

- 체류 가스 농도가 증가하여 연소범위에 도달하면 착화하여 천장이 화염에 싸인다.

- 이 때 천장면에서의 복사열로 바닥면 위의 가연물이 급속히 가열 착화하여 실내 전체가 화염으로 덮이게 된다.



[그림1] 실내화재 단계

일반적인 실내화재에서 플래시오버에 도달하는 시간은 조건에 따라 다르지만 보통 가연성 내장재인 경우 3~4분, 준불연 내장재인 경우 7~8분 정도로 나타나 있다.

플래시오버가 발생할 때까지의 시간에 영향을 주는 요인으로는 ▲내장재료의 제 성능 (연소성, 설치 위치 : 천장, 벽, 바닥 순) ▲발화원의 크기 ▲개구율 (개구율이 1/16 이하이면 플래시오버가 발생하지 않음) 등이 있다.

2. 성능위주 방화설계와 플래시오버의 관계

성능위주 방화설계란 방화공학을 이용하여 화재 현상을 모델링하고, 그 결과를 방화설계에 응용하는 것을 말한다. 건축물의 화재 안전 확보와 관련하여 플래시오버의 발생 여부는, 재실자의 실내 체류 가능 시간 및 피난 소요 시간과 더불어 대단히 중요한 요소가 된다. 이러한 측면에서, 플래시오버 발생 가능성의 판단은 성능위주 방화설계 과정에서 필수적이라고 할 수 있다.

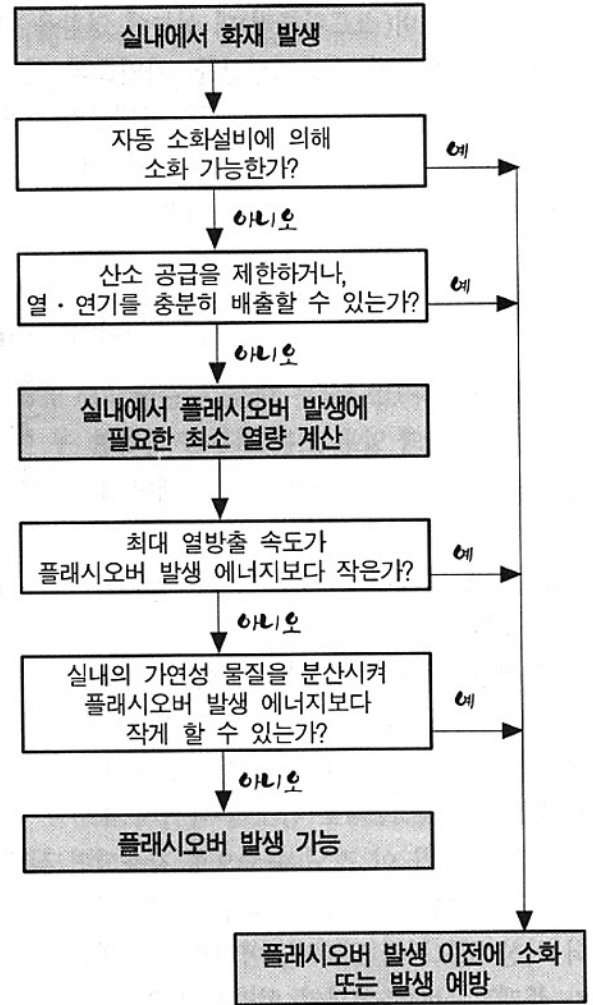
플래시오버 발생에 관한 분석을 필요로 하는 대상은 다음과 같이 예시할 수 있다.

- 화재하중이 큰 공간
- 제연설비가 설치되어 있지 않은 지하공간 또는 무창층의 공간
- 주거 인원이 많은 공간
- 건물의 용도상 불가피하여 방화구획이 적용되지 않은 공간
- 비내화구조 건축물로서 구조물이 노출되어 있는 공간
- 고정식 자동소화설비가 설치되어 있지 않은 공간 등

플래시오버의 발생 가능성은 실의 모양, 실내 마감재, 환기시설, 점화원의 위치·크기, 연료의 높이·밀도·연속성 등을 변수로 계산할 수 있으며, 최근에는 FPETOOL, FASTLite 등과 같은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 이를 손쉽게 적용할 수 있게 되었다.

3. 플래시오버의 발생 가능성 예측

미국방화협회(NFPA)에서는 1996년 8월에



[그림 2] NFPA 555 적용 지침 흐름도

「플래시오버 발생 가능성 평가방법에 관한 지침」을 제정하여 이를 규격화하였다(NFPA 555, Guide on Methods for Evaluating Potential for Room Flashover).

이에 따르면, [그림 2]로 나타난 「NFPA 555 적용지침 흐름도」에 따라 각 단계별로 해당 사항을 분석 평가한 후, 플래시오버 발생 가능성 여부를 판단하게 된다.

가. 자동 소화설비에 의한 소화

자동 소화설비는 화재의 제어 방법으로 가장 많이 이용되는 방법으로서, 그 성공률이 높게 나타나고 있지만 실패의 가능성도 상존하고 있다.

자동 소화설비(스프링클러)의 성능에 영향을 미치는 주요 요소에는 화재성장률, 가연물의 양과 배치, 방호구획 특성, 가용 산소량, 화재감지(스프링클러헤드) 응답 특성, 소화약제 적용량(살수밀도), 소화약제 방출 특성, 소화약제 공급 지속시간 등이 있으나, 설비의 유지 관리 상 신뢰도가 더 큰 문제로 나타날 수 있다.

위험 상황과 요구되는 방호 수준에 따라, 위 요소들의 일부 또는 전부를 평가한 신뢰할 수 있는 설비만이 화재의 제어 또는 진압에 성공할 수 있을 것이다.

나. 산소 공급의 제한 또는 열·연기의 배출

화재실이 밀폐되었거나 충분한 환기 또는 공기의 누출경로가 없는 경우, 연소과정이 진행되는데 따라 가용 산소량은 농도가 8% 내지 12%로 감소될 때까지 소모된다. 산소가 이 정도 수준으로 감소되면 실내의 일반 가연물은 연소를 멈추고 나머지 산소는 더 이상 소모되지 않으며, 이러한 경우에는 화재가 플래시오버 조건까지 성장하지 않는다.

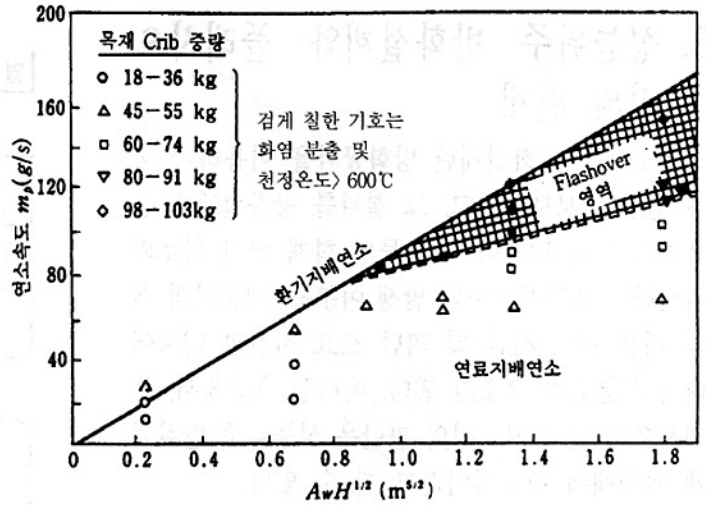
다만, 이런 상태에서 갑자기 공기(산소)가 공급되면 불완전연소 생성물이 급격히 연소하게 되어 백드래프트라고 하는 극히 위험한 상태로 발전된다. 진화 과정에서 문을 열거나 창문이 깨질 때 이러한 현상이 발생할 수 있다.

밀폐된 구획실에서 플래시오버의 발생은, 구획실 내의 산소만을 소모하여 방출되는 연소 열량이 플래시오버에 필요한 열량을 초과할 경우에만 가능하다.

이와 달리, 연기와 열을 배출하여 화재실의 열과 가스를 충분히 배기시킴으로써 플래시오버 발생에 필요한 온도 상승 조건을 해소시키는 경우도 있다.

즉, 환기설비 또는 기계적 배출장치를 이용하여 상승하는 고온가스를 제거하면 플룸(Plume)

에 유입되는 공기량이 증가되어 연기층 온도를 낮출 수 있다. 이 때 환기량 또는 배출량은, 연기층의 가스온도를, 일반적인 플래시오버 발생 한계 온도인 600°C 이하로 유지시킬 수 있어야 한다.



[그림 3] 구획화재에서의 연소속도

다. 플래시오버 발생에 필요한 열량

Hagglund는 2.9×3.75×2.7m(높이)의 구획에서 일련의 실험을 실시하였는데, 플래시오버를 일으키는 조건은 [그림 3]과 같은 영역에서 구해졌다. 단, 여기서 말하는 플래시오버는 화염이 개구부에 분출을 시작했거나 또는 천장 아래의 온도가 600°C를 넘었을 때로 정의된다. 따라서, 플래시오버를 일으키는 연소속도의 하한 \dot{m}_{FO} 은,

$$\dot{m}_{FO} = 50.0 + 33.3AH^{1/2} \quad (g/s)$$

인 경험식을 얻을 수 있다. 위의 식 좌변은 개구부로부터 고온가스 유출에 의한 열 손실의 관계를 나타낸 것으로서, 개구인자 $AH^{1/2}$ 가 클수록 열 손실이 크기 때문에 이를 보충하기 위해서는 보다 큰 연소속도를 필요로 하는 것을 알 수 있다.

한편, Thomas는 위 식에서 주위 벽으로의 열 손실 영향도 포함하였는데, 플래시오버에 필요한 최소발열속도 $\dot{Q}_{FO} \quad (kW)$ 로서,

$$Q_{FO} = 7.8A_T + 378AH^{1/2}$$

을 제안하고 있다. 여기서 AT는 구획 주위 벽의 면적(m²)이다.

라. 열 방출량 추정과 가연물의 분산

열 방출량은 그 최대값이 화재의 최대강도를 나타내기 때문에 화재안전을 분석하는 중요한 요소가 된다. 그러므로 열 방출량의 추정은 플래시오버 발생을 예측하는데 중요하다.

열 방출량을 추정하는 가장 좋은 기법은 구획실 내에 위치한 모든 물품을 포함하여 시험하는 방법으로서, 가연물의 이격거리를 구획실의 실제 거리와 동일하게 적용한다. 이 경우 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 실물규모 시험시에 설계자가 명시해야 할 가장 중요한 사항은 발화원의 선정이다.

그 밖의 경우로서, 개별물품에 대한 실물규모 화재시험, 개별물품의 대규모 모형시험, 최종 복합어셈블리를 대표하는 복합샘플의 벤치규모시험 등이 이용된다.

시험의 결과에 따라 열 방출량이 플래시오버 발생이 예상될 경우, 가연물의 배치 형태를 바꾸어 에너지를 감소시키는 방법도 고려될 수 있다.

4. 플래시오버의 예방

1968년 Wattman은 3.64×3.64×2.43m 크기의 실내화재 실험에서, 플래시오버가 발생하기

위해 바닥면에서 20 kW/m²의 복사열이 필요하다는 결론을 얻었다. 이 값은 대부분의 가연물을 점화시키기에 충분한 입사열이라 할 수 있다. 이 복사열원으로는 초기화원 외에,

- 천장에 충돌하여 천장 아래로 확대되는 화염
- 천장 아래에 누적된 연소 생성물의 층
- 가열된 천장면

등을 생각할 수 있는데, 가장 중요한 복사원은 위의 두 번째라고 생각된다. 연소 생성물의 점화 온도를 감안할 때, 연기층의 온도 600℃를 플래시오버의 조건으로 보는 것은 이 때문일 것이다.

그러나, 1975년 Heselden과 Melinek는 천장 높이 1m의 소규모 실험에서는 플래시오버가 천장온도 450℃에서 일어나는 것을 발견하여, 천장의 높이에 따라 플래시오버 발생 온도가 크게 달라질 수 있다는 것을 알게 되었다.

결론적으로 플래시오버에 이르게 되는 경로 및 변수, 즉 ▲자동소화설비 또는 수동에 의한 화재 제압 ▲발생 열량의 측정 및 조정 ▲산소 공급에 관한 사항과, 열·연기 배출시설의 환기 능력 등을 알고 이에 대응함으로써 플래시오버의 가능성을 배제하거나, 플래시오버에 이르는 시간을 연장할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] NFPA 555, "Guide on Alternative Approaches to Life Safety", National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1998.
 [2] 田中哮義, "구획화재", 建築火災安全工學入門, 제8장(pp.195~pp.201), 建設省 建築研究所

- [3] 김원국, "전실화재 가능성 예측 지침", 성능위주의 소방설계를 위한 건축물 화재 모델링, 제5장 (pp.82~pp.97), 오름시스템, 1999.