

건축물 화재시 연기하강속도에 관한 문헌적 고찰

서동구 · 김동은 · 권영진
호서대학교 소방방재학과

A comparative study on the velocity of smoke drops for buildings fire

Seo, Dong Goo · Kim, Dong Eun
Kwon, Young Jin

Fire & Disaster protection Engineering of Hoseo Univ.

요 약

건축물의 화재시 인간의 피난에 가장 영향을 미치는 요인은 연기이다. 연기의 전파에 따라서 피난행태가 달라지고, 피난경로가 변화한다. 국외에서는 이러한 연구의 일환으로 연기의 하강속도에 관하여 연구가 진행되고 있으며, 연기에 대한 피해를 저감하기 위한 노력이 증대되고 있는 상황이다. 따라서 연기하강에 관한 기존의 문헌적인 고찰을 통하여 향후 국내의 연구방향에 관하여 고찰하였다.

1. 연구배경 및 목적

고층건축물이나 대규모 건축물의 화재 시 다수의 희생자가 발생하는 경우 반드시 연기와 관련이 있다. 이러한 연기특성은 일반적으로 발생하면 상행하고, 위의 천장부분에 도달하게 되면 하향하는 특성을 지니고 있다. 이러한 특성은 일반적으로 화재시 피난하는 사람에 대하여 많은 영향을 끼친다. 일본의 성능적 피난안전설계에 의하면 연기가 하행하여 일반적인 인간의 피난에 영향을 미치게되는 순간까지를 피난가능시간으로 판단하고 있다.

또한 화재의 연소로 생기는 화염은 고온이며, 여러 가지 유독가스의 농도도 높지만 연기는 고온가스가 화염으로의 유동과정에서 공기와 혼합해서 희석된 것이므로, 화염에 비해서 위험도 자체는 낮다. 하지만 화염보다 연기가 인명위험의 최대의 원인이 되는 것은 연기는 화염과 같이 연소부분 부근에 한정되지 않고, 광범위하고 신속하게 전파되는 점과 열이나 유독가스에 대한 인간의 생리적 저항성이 낮음으로, 연기는 위험도가 낮더라도 인간에 대한 위험성은 충분하다고 사료된다.

따라서 본 연구는 건축물의 화재시 발생하는 연기의 정상 중 직접적으로 인간의 피난에 피해를 줄수 있는 하강에 대한 기존의 문헌을 고찰하여 향후 한국의 연기에 대한 연구방향의 기초적인 자료로 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 연기하강에 관한 기존문헌 고찰

어떤 공간의 내부에서 화재가 발생했을 경우, 화원상의 화재플룸에 의해 공간상부에 운반된 연기는 천정아래에 연기층을 형성한다. 연기층은 화재플룸에 의해 계속적으로 연기가 공급되기 때문에 순차적으로 두께가 증가하여 하행하게 된다. 초기에 연기층은 두께도 작고 농도도 낮으며, 하부의 공기층과의 경계도 확실하지 않지만 순차적으로 두께와 농도가 증대된다. 만약 이 공간에 피난자가 존재할 경우는 이 연기층이 사람의 높이까지 강하기 이전에 피난을 완료해야한다고 판단된다.

일본에서는 피난안전검증법에 관한 $Q = Q_0 t^n$ 국토교통성 고시 제 1441호 및 제 1442호에서 연기하강에 관하여 다음과 같은 식 1을 제시하고 있다.

$$T_{smog} = \frac{A_{room} \times (H_{room} - H_{lim})}{\max(V_s - V_e, 0.01)} \quad (\text{식 1})$$

- 여기서, T_{smog} = 연기하강시간(분)
 A_{room} = 해당실의 바닥면적(m^2)
 H_{room} = 해당실의 기준점으로부터 평균천정높이(m)
 H_{lim} = 한계연기층 높이(m)
 V_s = 연기의 발생량(m^3 /분)
 V_e = 유효배연량(m^3 /분)

식 1에서 볼 수 있듯이 연기의 하강시간을 도출하여 이를 피난완료시간과 비교하여 성능적인 검토를 실시하고 있다. 연기의 하강속도에 따라 시간이 결정되고 이에따라 성능적인 피난안전성을 확인할 수 있다.

또한 연기층의 강하의 기본적인 성상에 대하여 田中 孝義²⁾는 그림 1에 나타난 것과 같이 같은 높이에 의해 공간의 수평 단면적이 변화되지 않고, 배연수단도 마련되지 않은 단순한 경우를 대상으로 생각한다.

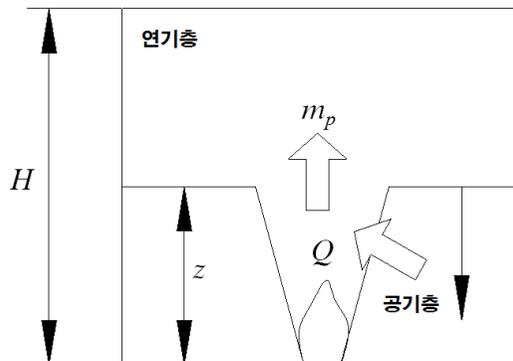


그림 1. 연기층의 하강의 기본 개념

연기층 강하에는 이론적으로 열에너지의 보유도 관계되지만, 화재발생 후의 초기의 단계에서 연기층의 온도상승은 작으므로 온도를 일정한 것으로 간주하고, 질량보존의 관계만을 이용하여도 전반적으로 예측할 수 있다. 그림 1의 경우 연기층으로의 기체의 출입은 화재플룸 유량의 유입뿐이므로 질량보존식은 식 2와 같다.

$$\frac{d}{dt}(\rho V) = \rho \frac{dV}{dt} = m_\rho \quad (\text{식 2})$$

여기서, m_ρ 는 화재플룸의 유량[kg/s]이며, 정온의 공간내에서는 연기층의 경계의 높이를 z [m]로서 식 3과 같다.

$$m_\rho \approx 0.08 Q^{1/3} z^{5/3} \quad (\text{식 3})$$

단, 높이 z 는 가상점열원으로부터의 높이이지만 여기에서는 가상점열원거리를 무시한다. 공간의 수평단면적이 높이에 따르지 않고 일정한 경우 식 2의 좌변은 $\frac{d}{dt}(\rho V) = -\rho A \frac{dz}{dt}$ 이므로 식 2를 이용하여 식1로부터 다음 식 4을 얻을 수 있다.

$$\frac{dz}{z^{5/3}} = -\frac{k}{A} Q^{1/3} dt \quad (\text{식 4})$$

단, $k = 0.08/\rho$ 이다. 현재 시점에서 연기층 밀도 ρ 의 간단한 평가방법은 없지만 단층의 자연강하의 문제에서는 일률적으로 $k = 0.08$ 로 두어서 일반적인 경우에는 안전하다고 판단한다. 일반적으로 발열속도 Q 는 시간에 따라 변화되지만, 만약 시간에 대한 의존이 Q_0 을 상수로서 $Q = Q_0 t^n$ 과 모델화가 가능한 경우, 적분하면 식 5가 된다.

$$z = \left\{ \frac{k}{A} Q_0^{1/3} \left(\frac{2}{n+3} \right) t^{1+\frac{n}{3}} + \frac{1}{H^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (\text{식 5})$$

여기서, H 는 공간의 천정높이이다. 실제 건축물의 연기제어나 피난계획 등의 문제에 있어서 가장 빈번하게 가정되는 화원은 발열속도가 일정한 화원 및 시간의 2승에 증가하는 화원의 2종류이다. 즉, $Q = Q_0 t^n$ 에 있어서 $n=0, n=2$ 인 경우다. $n=0$ 의 정상화원의 경우에는 식 $Q = Q_0 t^n$ 이고, $Q = Q_0$ 이고, Q_0 는 발열속도 [kw]가 되며, 식 6과 같이 나타낼 수 있다.

$$t = \frac{3}{2} \frac{1/z^{2/3} - 1/H^{2/3}}{k Q_0^{1/3}} A \quad (\text{식 6})$$

연기의 하강속도에 따라 전술한 바와 같이 하강시간이 계산되어진다. 이에 따라 기본적으로 그림 2와 같이 위험도달시간은 연기하강이 시작되어 피난자를 위험에 도달하는 시간을 말한다. 따라서 피난행동시간 즉, 피난이 완료되는 시간은 위험도달시간보다 적어야 하는 것이 피난안전을 확보한다고 말하고 있다.

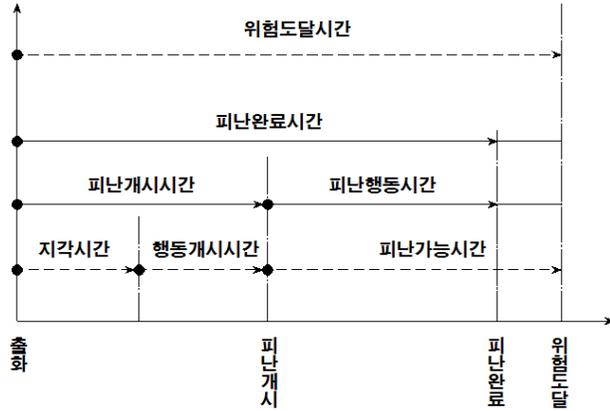


그림 2. 피난에 관계되는 시간

3. 피난안전계획의 연기하강시간과 피난시간과의 관계

전술한 바와 같이 연기하강과 피난시간과는 밀접한 관계가 있다. 물론 화염의 전파에 따라 피난경로 및 행태가 달라지기도 하지만 가장 밀접한 관계가 성립되는 것은 연기의 하강 및 유동에 따른 피난 경로의 선택이다. 그림 3은 일본의 피난안전검증법에 따라 평가한 사무소공간이다. 본 건축물은 10층으로 이루어져 있으면, 기준층거실의 면적은 $200[m^2]$ ($100[m^2] \times 2$), 복도면적은 $64[m^2]$, 방의 면적은 $9[m^2]$ 이다. 각 층의 층고는 거실 $2.6[m]$, 복도 $2.4[m]$, 대실 $2.4[m]$ 이다. 배연풍량은 사무소의 경우 $50[m^3/min]$, 복도는 $11.0[m^3/min]$, 대실은 $1.0[m^3/min]$ 이다.

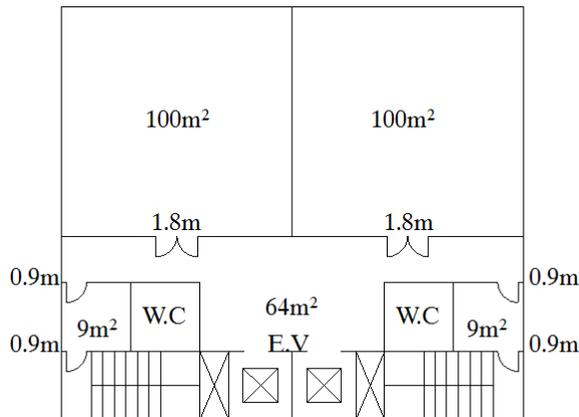


그림 3. 기준층 평면도

전술한 식 1에 의하여 연기하강시간이 정해지고, 또한 총피난안전성의 평가가 행해지는데 이에 대한 결과는 다음 표 1과 같다. 거실피난과 층피난을 나누어 평가하였으며, 결과는 안전하다고 판단하였다. 일본의 피난안전검증은 일반적으로 피난안전성을 평가하기 위하여 연기하강시간을 계산하여 피난안전성과 관여하는 것으로 나타난다. 이는 피난안전을 검증하기 위한 1차적인 방안으로서 기본적인 피난안전의 평가에 대해서 서술하고 있다.

표 1. 일본 피난안전검증법에 의한 검증

거실피난	거실피난소요시간	$t_{start} + t_{travel} + t_{queuc}$	(min)	0.61	OK
	거실연기하강시간	t_s	(min)	0.62	
층피난	거실피난소요시간	$t_{start} + t_{travel} + t_{queuc}$	(min)	4.04	
	거실연기하강시간	$t_{s1} + t_{s2}$	(min)	540.88	

4. 성능적 피난안전설계의 국내 적용방안

한국의 경우 구체적인 피난안전을 검증하는 체계가 구축되어있지 않으며, 특히 연기특성에 따른 연구가 미비한 실정이다. 연기유동에 관한 연구는 일부에서 진행되고 있지만, 연기하강 즉, 피난안전과 관계되는 연기의 연구는 사실적으로 부재하다. 피난계획 시 연기의 특성을 고려한 계획을 하고 있지만 일반적으로 국외의 모듈 및 시뮬레이션을 활용한 평가 이기 때문에 한국의 특성 맞는 적용이 모호한 실정이다. 또한 빠르게 변화해가는 법은 PBD, 화재영향평가 등으로 앞서나가고 있지만 이에 대한 구체적인 방법론 즉, 연기하강시간 및 속도, 피난행동 분석 등이 받춰지지 않는다면 안전성을 확보하는 것은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 한국의 연구의 방향은 진취적인 법 적용에 입각하여 연기하강 및 유동에 따른 피난자의 행태 분석 및 피난용량 체계를 확립하는 것이 바람직 하다고 판단된다.

5. 결론 및 향후계획

본 연구는 일반적인 연기거동에 따른 하강에 관하여 서술하였다. 특히 연기하강시간이 피난행태 및 경로에 적용되는 국외의 경우를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 연기의 거동 즉, 하강시간에 따른 피난자의 특성 및 경로선택 등의 연구가 국내에서는 미비하며, 특히 이에 따른 피난자의 특성이 고려되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 국내 건축물의 피난계획 시 기존의 연구에 따른 피난계획은 제고 되어야 하며, 특히 연기 하강시간을 고려한 피난은 실험 및 조사를 통하여 구체화 되어야 한다고 판단된다.
- 3) 국내의 연구는 일반적으로 진취적이지만 일반적인 기초 이론 자체가 국내에 적합한 이론으로 적용되어지는 것은 어려울 것으로 사료되며, 이에 대한 향후 구체적인 데이터 구축이 필요할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- 1) 2001年度 日本避難安全檢證法. 2001
- 2) Tanaka, T and Tamana, T., Smoke Control in Large Scale Spaces; Part 1 Analytic theories for simple smoke control problems), Fire Science and Technology, Vol. 5
- 3) Tanaka, T. and Kumai S., Experiments on Smoke Behavior in Cavity Spaces
- 4) 권영진, PBD를 위한 화재역학, 동화기술