

A-03

PBD에 의한 내화시험조건에 관한 연구

김원국

서울대학교 화재안전공학센터

A Study for Fire Resistance Test by Use of PBD

Won K.Kim

Fire Safety Engineering Center, Seoul National University

1. 서론

현재 국내, 외에서 내화시험 시, 사용하고 있는 시간-온도 곡선은 1916년에 작성되어 내화 시험에 사용된 이후 큰 변화 없이 오늘날 까지 사용되어 왔다. 현재 ASTM E-119에서 사용하고 있는 표준 시간-온도 곡선은 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 커브를 그리고 있다 ($T = T_0 + 345 \log(0.133t + 1)$). 그러나 실제 화재 상황에서 전실화재 이후에는 대부분의 경우 환기 지배형 연소가 지배적이며, 이 경우 환기 조건에 따라 실내 온도가 변하게 된다. 또한 전체 연소 시간은 가연물질의 종류 및 양에 따라서 바뀌게 된다. 만약 건축물의 용도가 변경되지 않고 초기 건축 당시 환기 조건이나 화재하중이 변하지 않는다면 이들 조건에 맞는 시간-온도 곡선을 내화 시험에 적용할 수 있을 것이다. 실제 화재 특성을 고려한 시험은 하나의 고정된 온도 조건하의 시험에 비하여, 건축경비를 절감하거나 내화 성능을 증진할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 화재하중 및 환기 조건에 따른 실내 온도를 계산하여 현재 사용하고 있는 표준 시간-온도 곡선과 비교 하였다.

2. 전실화재 이후의 실내온도 계산

실내화재에서의 열평형은 다음과 같은 공식으로 표현될 수 있다.

$$q_c = q_L + q_w + q_R + q_B \quad (1)$$

q_c = 연소로 인한 열방출율

q_L = 뜨거운 공기가 찬 공기로 바뀔 때 발생하는 열 손실율

q_w = 벽, 천정, 바닥을 통한 열손실율

q_R = 개구부를 통한 복사열 손실율

q_B = 열축적율 (무시)

$$q_c = 0.09 A_w H^{1/2} \cdot \Delta H_c \quad (2)$$

$$q_R = A_w \epsilon_F \sigma T_g^4 \quad (3)$$

$$q_L = x_{cp}(T_g - T_0) A_w H^{1/2} \quad (4)$$

$$q_w = (A_t - A_w)(1/\gamma_i + \Delta x/2k_i)^{-1}(T_g - T_i) \quad (5)$$

공식 (2),(3),(4),(5)를 취합하면 다음의 공식을 얻을 수 있다.

$$T_g = \{q_c + 0.09 A_w H^{1/2} T_0 + (A_t - A_w)(1/\gamma_i + \Delta x/2k_i)^{-1}(T_g - T_i) - q_R\} / \{0.09 A_w H^{1/2} + (A_t - A_w)(1/\gamma_i + \Delta x/2k_i)^{-1}\} \quad (6)$$

여기서 T_g 는 numerical iteration으로 구할 수 있다. 연소지속 시간은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$t = M_f / 0.09 A_w H^{1/2} \quad (7)$$

여기서 M_f 는 목재로 환산한 화재하중이다. 참고로 목재의 연소열은 18.8MJ/kg이다. 실험에 의한 연소율을 구한 후 이것을 공식 (6)에 대입하면 시간-온도 이력을 구할 수 있다. 평균 열 전도율을 갖고 있는 건축자재를 사용한 표준 실내를 선정하여 공식 (6)을 사용하여 시간에 따른 실내 온도 값을 계산한 것이 표 1이며, 이를 그래프로 나타낸 것이 그림 1이다. 이 그래프를 보면 오늘날 내화시험에서 사용되는 시간-온도 표준 곡선과 실제 화재 시 실내 온도 곡선과 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그러나 Inberg는 등가면적이론에서 300°C 이상의 곡선 내부 면적이 같으면 화재 시 받는 열량이 같다고 보았다. 이 이론은 아직까지도 내화 시험에서 인정되어 표준 온도 곡선을 그대로 사용하고 있으나, 높은 온도에서 짧은 시간 노출되는 환경이 낮은 온도에서 긴 시간 노출되는 것과 같을 수 없고 특히 오늘날과 같이 열에 민감한 경량 건축물이 사용되는 경우 더욱 더 등가면적이론은 그 설득력을 잃는다. 그림 2에서는 표준곡선과 실제 실내화재에서 측정된 온도를 비교하여 보여 준다.

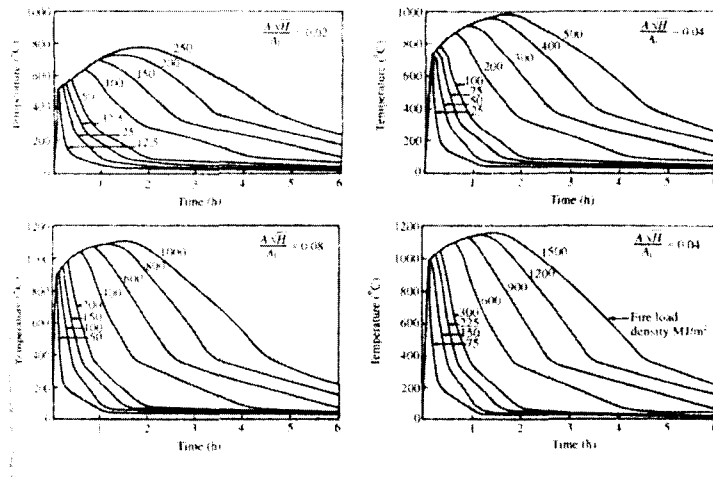


그림 1. Petterson의 시간온도 곡선

표 1. Petterson의 표준실내 시간온도 테이블

$A_s \sqrt{H}/A_r = 0.04 \text{ m}^{1/2}$

t (h)	Fire load (MJ/m ²)							
	25	50	75	100	200	300	400	500
0.05	528	528	528	528	528	528	528	528
0.10	742	742	742	742	742	742	742	742
0.15	423	733	746	746	746	746	746	746
0.20	359	697	750	750	750	750	750	750
0.25	268	594	761	761	761	761	761	761
0.30	163	478	732	777	777	777	777	777
0.35	161	439	668	792	792	792	792	792
0.40	154	390	595	758	806	806	806	806
0.45	148	338	515	706	820	820	820	820
0.50	141	282	481	647	832	832	832	832
0.55	134	269	442	584	843	843	843	843
0.60	127	254	400	534	854	854	854	854
0.65	120	238	356	509	864	864	864	864
0.70	113	222	309	481	860	874	874	874
0.75	106	205	298	453	839	883	883	883
0.80	99	190	285	423	816	891	891	891
0.85	92	173	273	392	789	899	899	899
0.90	85	156	261	360	761	907	907	907
0.95	77	138	248	326	730	914	914	914
1.00	69	119	236	315	698	907	920	920

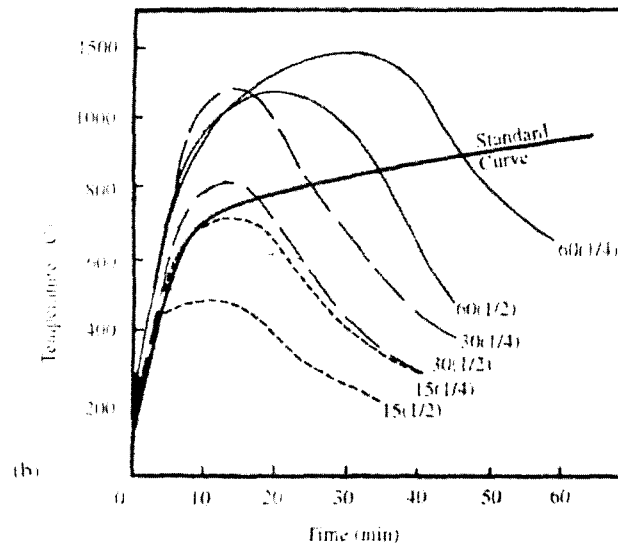


그림 2. 표준온도곡선과 실제 측정된 온도와의 비교

실제 화재 곡선에서 60(1/4)는 60kg/m²의 화재 하중과 벽면의 25%가 열려있는 것을 의미한다. 이 실험은 1966년 Butcher에 의해서 수행되었다.

3. 결론

본 연구에서 현재 내화 시험에 사용되고 있는 표준온도곡선이 실제 화재와는 매우 다른 온도 분포를 갖고 있다는 것을 알게 되었다. 특히 reference로 사용된 자료들 대부분은 목재로 시험된 것이어서 오늘날처럼 합성수지 제품이 건축자재로 많이 사용되는 현실에서와는 더더욱 큰 차이를 갖게 될 것으로 본다. 실제 화재 상황 보다 더 가혹한 조건을 주는 것은 경제적으로 불합리할 것이며, 그 반대 상황에서는, 건축물의 내화 성능을 입증할 수 없을 것이다. 현재 개발되어있는 화재 시뮬레이터는 대부분 전실화재 이전의 상황을 모사 대상으로 하고 있다. 따라서 이들은 연료지배형화재(Fuel Controlled Fire)상황에서 가연물질의 연소 특성에 따른 열, 연기 발생의 모델링이 그 주축을 이루고 있는 것이다. 소방대의 화재 현장 도착이 대부분 전실화재 이후 인 것을 감안할 때, 전실화재 이후의 화재 특성은 건축물의 붕괴 방지와 함께 소방대의 진화 및 구조 활동에 중요한 지료가 될 것이다. 앞으로 이 분야에 대한 연구가 활발하게 이루어질 것을 기대한다.

참고문헌

1. 김원국(1999), "성능위주의 소방설계를 위한 건축물화재모델링", 오름시스템(주).
2. Society of Fire Protection Engineers, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 3rd Edition.
3. Dougal Drysdale, "An Introduction to Fire Dynamics", 2nd Edition.