

구획공간의 화재성상 예측을 위한 한계 열방출률에 관한 문헌고찰

A Study on the Limit Heat Release Rate for the Prediction on Fire Characteristics in the Compartment Space

허 예 림*
Huh, Ye-Rim

이 병 흔**
Lee, Byeong-Heun

권 영 진***
Kwon, Young-Jin

Abstract

In the case of, the ignition of flammable external materials by the radiant flame and the accompanying fire in the upper layer are occurring every year, and in the case of the Flashover prediction formula, the limit is reached through the surface area of the space and the factor. Predicts heat release rate. In this study, the critical heat release rate of each prediction formula was calculated based on the ISO 9705 model.

키 워 드 : 플래시오버, 건축물 화재안전
Keywords : flash-over, constructure fire safety

1. 서 론

국내의 경우, 분출 화염에 의한 가연성 외장재의 착화화 이에 따른 상층부 화재 확대 사고가 매년 발생하고 있는 상황이다. 특히, 2010년 부산 주상복합주택 화재, 2015년 의정부 도시형생활주택 화재, 2017년 제천 스포츠센터 화재, 2020년 울산 주상복합주택 화재의 사례에서 확인한 바와 같이 내부에서 발생한 화염이 외부로 분출되는 현상을 통해 빠르게 확산되는 것을 알 수 있다. 구획공간에서 발생한 화재가 외부로 확산되는 경로는 출화원을 통해 발생한 화재가 성기화재로 성장하며 환기배행 화재로 변환되는 과정에서 개구부 등 약한 부위를 통해 분출되는 과정을 통해 이뤄진다¹⁾. 이 때 성기화재로 급격한 성장을 일으키는 현상을 Flashover라고 정의한다. 하지만, 국내의 경우에는 성기화재에 관한 이론적 고찰이 이뤄지지 않은 채 대책을 마련하고 있는 실정이며, 공학적 해석을 위해서는 구획공간의 Flashover 예측에 관한 연구가 선행되어야 한다. 국외의 경우에는 Flashover 발생에 관계되는 요인으로 열방출률과 연기층온도 및 공간의 내표면적을 변수로 하여 한계열방출률에 대한 예측식이 제안되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 개구 분출 열기류에 영향을 미치는 Flashover의 한계 열방출률에 대한 기존 예측식을 조사하고 ISO 9705 구획실을 대상으로 각각 예측식의 한계 열방출률에 대한 계산을 실시하였다.

2. Flashover 예측식 조사

2.1 McCaffery

McCaffery²⁾는 Flashover의 발생조건으로서 화재온도 간이식(1)을 이용해 화재온도=500K를 가정하고 식(2)을 이용해 Flashover가 발생하기 위한 한계열방출률을 예측했다.

$$\frac{\Delta T_g}{T_\infty} = 1.6 \left(\frac{Q}{c_p \rho_\infty T_\infty \sqrt{g} A \sqrt{H}} \right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{c_p \rho_\infty \sqrt{g} A \sqrt{H}} \right)^{-1/3} \quad (1)$$

$$Q_{FO} = 610 (h_k A_T A \sqrt{H})^{1/2} \quad (2)$$

따라서 McCaffery의 예측식에는 Flashover가 발생하기 위한 한계열방출률은 실효열전달계수, 구획실내표면적(m²) 및 환기인자의 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

* 호서대학교 안전소방학부 학사과정
** 호서대학교 소방방재학과 박사수료
*** 호서대학교 소방방재학과 교수, 공학박사, 교신저자(Jungangman@naver.com)

2.2 Babrauskas

Babrauskas³⁾는 공간 상부층에 대한 가스 유량을 식(3)과 같이 근사적으로 나타내, 실내의 에너지 손실은 식(4)과 같이 연기층과 온도가 유사한 벽체의 폭사를 통해서 발생하도록 제안했다.

여기서, ϵ 는 고온 가스의 방사율, σ 는 스테판-볼츠만 상수를 나타낸다. 이 때, 공기를 이용해 완전 연소될 수 있는 화학양론적 양을 고려했을 때 공기의 단위질량 당 방출되는 열은 3,000kJ/kg정도로 일정하므로 이를 식 (3)과 대입했을 때는 식 (5)와 같은 형태의 화학양론적 열방출률을 도출할 수 있다. Babrauskas는 근사값에 가까운 수치로서 0.5(Q_{FO})를 제안하였으며 식(6)을 최소 열방출률에 대한 표현식으로 제안하였다.

$$\dot{m}_g = 0.5A\sqrt{H} \text{ ----- (3)}$$

$$q_{loss} = \epsilon\sigma(T_g^4 - T_\infty^4)(0.40A_T) \text{ ----- (4)}$$

$$Q_{FO} = 1500A\sqrt{H} \text{ ----- (5)}$$

$$Q_{FO} = 750A\sqrt{H} \text{ ----- (6)}$$

2.3 Thomas

Thomas⁴⁾는 상부 가스층으로부터의 복사 및 대류열전달에 의한 손실되는(kW)에 대해 식(7)과 같이 유도했다. 여기서 구획실의 총면적(m²), 대류열전달계수(kW/m².K), 상부벽온도(K), 바닥온도(K)를 의미한다. Thomas는 실험을 통해 해당 계수로서 평균 7.8을 도출하였다. 이 때 Flashover의 발생기준을=600K를 가정하면 Flashover가 발생하는 한계열방출률에 대한 예측식은 (8)과 같다.

$$\dot{q}_{loss} \approx h_c(T_g - T_w)\frac{A_T}{2} + \epsilon\sigma(2T_g^4 - T_w^4 - T_{Floor}^4)\frac{A_T}{6} \text{ ----- (7)}$$

$$Q_{FO} = 7.8A_T + 378A\sqrt{H} \text{ ----- (8)}$$

2.4 Lee and Harada

Lee and Harada⁵⁾는 Flashover의 발생에 벽의 열전달률은 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단했다. 하지만 바닥면적, 바닥재질과 연기층의 온도가 큰 영향을 미치는 것으로 예측했으며, 식(9)와 같이 플래시오버가 발생하기 위한 한계 열방출률에 대해 제안하였다.

$$Q_{FO} = 10.3A_T + 410(A\sqrt{H})^{0.45} \text{ ----- (9)}$$

표 1. Predictive formula Results Comparison(ISO 9705)

Division	Predictive formula	Q _{FO} (kW)
Babrauskas	$Q_{FO} = 750(A\sqrt{H})$	1,697
Thomas	$Q_{FO} = 7.8A_T + 378A\sqrt{H}$	1,214
McCaffrey	$Q_{FO} = 740(h_c A_T A\sqrt{H})^{1/2}$	1,460
Lee and Harada	$Q_{FO} = 10.3A_T + 410(A\sqrt{H})^{0.45}$	1,066

3. 결 론

본 연구는 개구 분출 열기류에 영향을 미치는 Flashover의 한계 열방출률에 대한 기존 예측식을 조사한 것으로서 ISO 9705 구획실을 대상으로 각각 예측식의 한계 열방출률에 대한 계산을 실시하였다. 향후 본 연구의 수치를 비교할 수 있는 실물실험과의 비교를 통해 구획공간의 한계 열방출률 도달 시간에 관한 연구로 진행하고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 소방대응력 향상을 위한 연구개발사업(NFA002-010-01030000-2020)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 李炳欣, 權寧璣, 建築物の窓戸の火災安全性評價に関する研究, 日本火災学会, 2018
2. McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G. and Harkleroad, M.F., Estimating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Data Correlations, Fire Technology 17, pp.98~1191981
3. Babrauskas, V.E., estimating Room Flashover Potential, Fire Technology 16, pp.94~1031980
4. Thomas, P., Testing Products and Materials for their Contribution to Flashover in Room Fire and Materials 5 : pp.103~111, 1981
5. 李成珠, 区画火災におけるフラッシュオーバー発生限界と可燃物の燃焼拡大に関する研究, 京都大学博士學位論文, 2017