

고체 가연물의 화재성장 특성에 관한 실험적 연구

김성찬
경일대학교

An Experimental Study on the Fire Growth Characteristics of Solid Combustible Materials

Kim, Sung Chan
School of Fire and Disaster Prevention, Kyungil University

요 약

본 연구는 고체가연물의 초기 점화 및 화재성장과정에서의 발열량을 대형화재발열량계 (large scale fire calorimeter)를 이용하여 정량적으로 측정하고 화재발생 초기에 화재성장특성 파악하고자 한다. 실험에 적용된 고체가연물 화재는 단일/이중 목재화재, 폴리프로필렌 소재의 쿠션화재, 목재 및 폴리프로필렌 소재의 카펫 화재이며 화재발달 단계에서의 화재성장특성을 시간 제곱 화재성장 시나리오와 비교분석하고 고체 기본가연물의 화재성장과정을 이해한다. 구획조건이 화재발열량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 자유연소상태와 ISO-9705 화재실 내부에서 화재실험이 수행되었으며 화재성장특성과 최대발열량등을 비교하였다. 본 연구는 설계화재와 화재시나리오를 설정하는데 있어서 고체가연물의 발열량 데이터 및 화재성장에 대한 정보를 제공하고 공간조건에 따른 발열량 측정데이터의 신뢰성 분석을 위한 기초연구로 활용될 수 있다.

1. 서 론

발열량은 화재로부터 방출되는 시간당 열에너지량으로 정의되며 화재현상을 이해하고 공간내부의 화재성장특성을 파악하는데 가장 기본적인 인자로 인식된다. 즉 화재발열량은 공간내의 열적특성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 연기나 독성가스의 생성등과 같은 화원으로부터의 연소생성물의 발생과 직접적으로 연관된다. 가연물의 초기점화 이후 화재의 성장은 시간에 따른 발열량의 변화로 나타내게 되고 이러한 발열량의 시간변화는 화재안전설계나 화재의 재구성 (fire reconstruction)과 같이 공간내 화재특성해석에 필수적인 요소가 된다. 따라서 화재현상을 이해하고 효과적인 화재안전설계를 위해서는 공간을 구성하고 있는 가연물들에 대한 발열량 정보가 우선적으로 필요하며 이러한 정보는 신뢰성 높은 실험기법에 기초하여 다양한 가연물과 화재조건에 대해 직접적인 측정을 통해 구축해 나가야 한다. 그러나 신뢰성 높은 화재발열량 측정을 통한 화재 데이터베이스의 구축과정은 지속적인 시간과 비용이 투자되어야 하며 많은 노력이 필요한 부분이기 때문에 화재특성

해석을 위해 필요한 가연물의 발열량에 대한 정보는 제한적이며 여전히 부족한 실정이다. 본 연구에서는 일상에서 널리 이용되는 목재나 쿠션, 카펫등의 기본적인 요소 가연물에 대하여 초기 점화 이후의 화재성장과정의 발열량 변화를 정량적으로 측정하고 화재발생 초기의 화재성장특성을 시간제곱의 화재성장 시나리오와 비교분석하여 설계화재와 화재시나리오를 설정하는데 있어서 발열량 데이터 및 화재성장에 대한 정보를 제공하고자 한다. 또한 측정조건에 따른 발열량 결과를 분석하여 설계화재의 불확실성 정도를 파악하여 하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

그림 1은 실험에 적용된 가연물의 형상과 치수를 나타낸다. 목재화재의 경우 단일 목재크립(single wood crib)의 크기는 60 cm × 30 cm × 30 cm 이고 개별 목재의 단면의 크기는 4.5 cm × 4.5 cm이며 수분함량은 3 % 이하로 건조된 목재를 사용하였다. 쿠션화재는 60 cm × 90 cm × 10 cm의 폴리프로필렌 폼에 폴리프로필렌 직물로 제작된 커버를 씌운 쿠션재로 가정하였다. 카펫/목재화재는 가로 120 cm, 세로 180 cm 인 카펫 쿠션위에 단일 목재크립을 위치시킨 후 목재에 점화를 유도한 후 전체가연물로의 화재진파를 유도하였다. 가연물은 직경이 8 cm인 용기에 60 ml의 메탄올을 연소시켜 초기점화를 유도하였다.

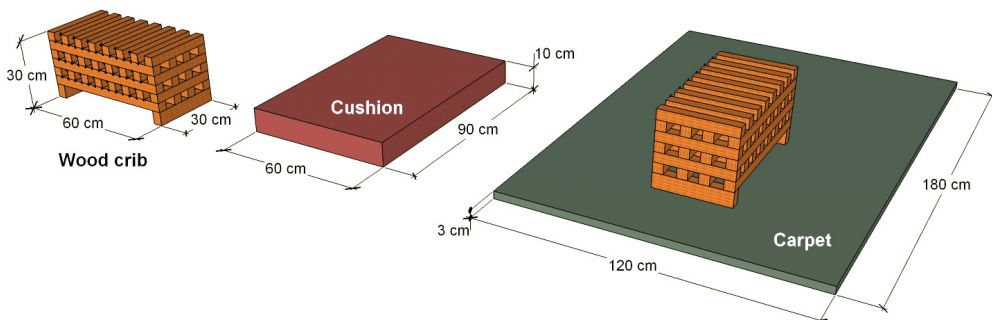


그림 1. 고체가연물의 형상과 치수

발열량의 측정은 미국립표준기술연구원(NIST)의 대형화재실험동(large fire facility)에 설치된 3 m × 3 m 후드크기의 1 MW 급 화재발열량계를 이용하였다. 발열량의 산정은 산소소모법에 의해 계산되며 임의의 가연물에 대한 발열량계의 상대결합측정오차(relative combined measurement uncertainty)는 약 15% 정도이다⁽¹⁾. 화재실험은 완전개방된 상태에서 자유연소(free burning)시킨 경우와 ISO-9705 표준구획공간내에 가연물을 연소시킨 경우에 대해 각각 수행되었다. 표 1은 고체가연물의 종류와 시험조건, 초기질량, 그리고 화재진행시간을 요약하여 나타낸다. 화재가 감쇠기(decay period)에 접어든 이후 발열량이 10 kW 이하인 상태에서 질량변화가 거의 없는 경우까지를 화재진행시간으로 산정하였다.

표 1. 가연물의 종류, 시험조건 및 초기질량

case	fuel type	test condition	fuel mass [kg]	testing time [s]
1	single cushion	free burn	2.27	660
2	single wood crib	free burn	13.20	2,090
3	single wood crib	free burn	12.89	2,186
4	wood crib on carpet	free burn	20.98	1,964
5	double cushion	ISO-9705	4.54	353
6	single cushion	ISO-9705	2.30	1,052
7	single cushion	ISO-9705	2.28	1,347
8	single wood crib	ISO-9705	13.56	2,552
9	double wood crib	ISO-9705	25.39	3,416

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 자유연소조건과 구획화재조건인 단일 목재크립 화재시 시간에 따른 발열량 변화를 나타낸다. 자유연소상태의 목재가연물의 발열량 변화를 보면 최대발열량과 초기 화재성장등이 잘 일치하고 있으며 실험의 반복성이 비교적 높다는 사실을 알 수 있다. 일반적으로 가연물의 화재성장을 나타내는 t^2 화재성장 모드⁽²⁾와 비교해보면 목재화재의 경우 자유연소상태나 구획공간화재 모두에 대해 $\alpha=0.3 \text{ W/s}^2$ 정도로 비교적 일정한 값을 나타냈으며 slow 화재에 비해 느린 화재성장을 보였다. 그림 3은 단일쿠션 화재시 자유연소조건과 구획화재 조건에 대한 화재발열량의 변화를 나타낸다. 쿠션화재의 경우 화재성장이 ultra-fast 화재성장모드를 잘 따르고 있으며 공간의 폐쇄도가 증가함에 따라 최대발열량은 감소하는 것으로 나타났다.

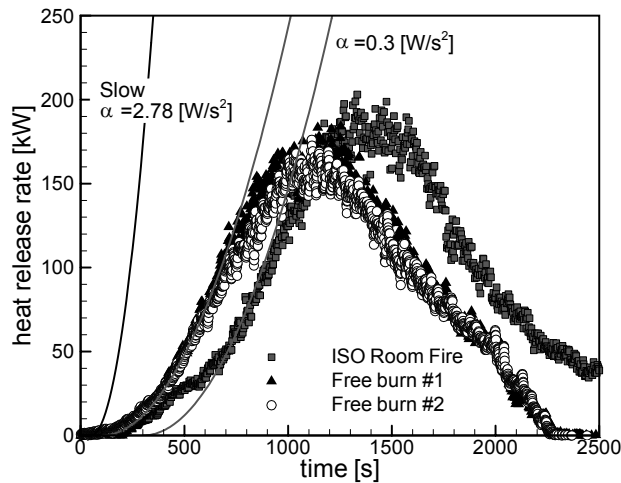


그림 2. 구획조건에 따른 목재 화재의 발열량 변화

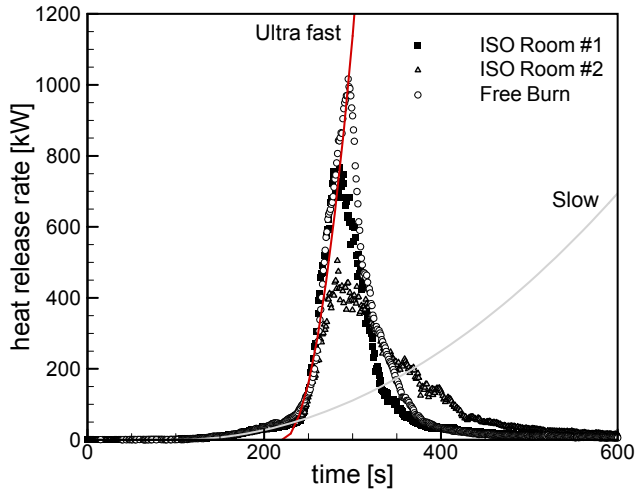


그림 3. 구획조건에 따른 단일쿠션의 발열량변화

쿠션화재의 경우 공간의 개방정도에 관계없이 초기점화이후 화재성장 초기에는 slow 모드에 가깝게 화재성장이 이루어지지만 화재발열량이 50 kW 이상이 되면 화재성장은 ultra-fast 성장모드로 매우 빠른 화재성장을 보였다.

3. 결 론

본 연구는 고체 원형 가연물에 대해 화재발열량을 측정하여 고체 기본 가연물의 화재 성장특성을 파악하고 이를 설계화재에 널리 이용되는 t^2 화재성장모드와 비교하여 기본적인 고체가연물의 화재성장 정도를 파악하고 고체가연물에 관한 화재데이터베이스를 제공하고자 하였다. 또한 자유연소상태와 구획공간화재시의 발열량 변화를 비교하여 공간의 개방정도가 고체 가연물의 화재 성장특성에 미치는 영향을 파악하였으며 화재 위험도 평가시 설계화재를 결정하는데 있어서 발열량 직접적인 측정이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0013091)

참고문헌

1. Matthew Bundy, Alex Maranghides, Rik Johnsson, Sung Chan Kim, Lauren DeLauter, Heat Release Rate Uncertainty in the NIST Large Fire Laboratory, 2007 NIST Annual Fire Conference..
2. NFPA 72, National Fire Alarm Code, National Fire Protection Association, Quincy, MA (1999)