

산소소비열량계(콘칼로리미터)에 의한 건축재료의 연소특성평가

이 두 형 / 방재설비부 선임연구원

I. 서론

화재연구의 중요한 목적중의 하나는 특정 화재위험 정도에 따라 재료를 분류하고 각 건축물의 설계 개념에 적합한 재료를 사용할 수 있도록 하는 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 지금까지 여러가지 시험방법 등을 통하여 재료에 대한 화재위험성 평가가 이루어져 왔다.

그러나 재료의 화재위험성 평가에 있어서 중요한 점은 특정 화재 조건에서의 착화성, 연소성, 방출열량, 열방출속도, 연기 및 독성 가스의 발생 등의 변수들을 종합적으로 결합하여 평가해야 한다는 점이다.

산소소비열량계(콘칼로리미터)는 재료가 화재 조건에 노출되는 동안 착화시간, 열방출율, 질량감소율, 연기발생율 등 화재 변수들을 동시에 연속적으로 측정할 수 있도록 개발된 효율적이고 유용한 벤치 스케일 시험 장치이다. 이 장치를 이용하면 화재 전과 특성을 제외한 거의 모든 화재 특성을 측정할 수 있으며 최근의 연구들은

이 장치를 이용하여 화재 전과 특성을 파악할 수 있는 가능성이 있음을 보여주고 있다.

본 실험에서는 ASTM E 1354 및 ISO 5660 기준에 따라 산소소비열량계(콘칼로리미터)를 이용하여 합판, 발포 폴리스티렌폼, 석고보드 3종에 대한 착화성, 열방출특성 및 유효연소열량을 측정하였다.

II. 실험방법과 실험체

실험방법은 ASTM E 1354 및 ISO 5660 을 적용하였다. 실험체는 수평방향으로 설치하였고 25 KW/m², 35KW/m² 및 50KW/m²의 heat flux에서 실험을 실시하였다. 실험체는 현장에서 많이 사용되는 건축재료 3종을 선정하여 시중에서 구입하였으며 재료의 화학적 조성은 파악할 수 없었다. 실험표의 명세는 표1과 같다.

III. 실험준비

모든 실험체들은 기준에 따라 온도 23±2°C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 이상 보존하였다. 실험시 연소로 인한 방출열의 손실을 방지하기 위하여 실험체의 바닥과 측면을 알루미늄 호일로 감싼 다음 세라믹 섬유를 깔아놓은 홀더 위에 놓고 실험을 실시하였다.

IV. 실험결과 및 분석

1. 착화성(Ignitibility)

재료가 착화되기 어렵다면 화재

표1 실험체 명세

재료명	두께(mm)	밀도(kg/m ³)	실험체 방향
합판	10	600	수평
	15	440	
발포 폴리스티렌폼	20	30	
	30	30	
석고보드	12.5	760	

에 노출되었을 때 상대적으로 안전하다고 말할 수 있다.

그러나 대부분의 유기재료들은 충분한 에너지를 갖는 열원에 노출되면 결국 착화된다고 볼 수 있으므로 여러 가지 열원에 의한 재료의 착화특성을 고려해야 한다. 착화특성의 평가방법에는 Setchkin 시험장치에 의한 플라스틱의 착화온도, glow-wire test에 의한 전선의 착화성, radiant cone heater에 의한 착화성 시험등이 있다. 이 실험에서는 콘 히터로부터 실험체에 25 kW/m², 35 kW/m² 및 50 kW/m²의 heat flux를 가하여 재료가 착화되는 시간을 측정함으로써 착화성을 평가하

있으며 석고보드의 착화시간은 석고보드 표면 마감용 종이에 착화로 인한 것이다.

2. 열방출율

(Heat Release Rate)

재료가 연소하는 동안 주위의 다른 재료들을 착화시키기에 충분한 열을 방출시킨다면 주위의 제품이나 재료들로 화재가 확산될 것이다. 더욱이 방출된 열이 화재와 관련되어 있지 않은 주위의 차가운 공기를 통하여 얼마나 빠른 속도로 방출되는지가 화재의 확산 및 화재의 강도측면에서 중요한 요소이므로 열방출율은 화재위험성 평가에서 매우 중요한 연소특성중의 하나라고 할 수 있다.

콘칼로리미터에서 열방출율은 재료가 연소하여 발생하는 열량을 재료의 연소 표면적으로 나눈 값으로 표현한다. 즉 열방출율은 연소하는 재료의 단위 표면적으로부터 주위로 방출된 열량값이다.

각 heat flux에서 실험체의 최대 열방출율 실험결과를 표3에, 시간에 따른 열방출율곡선을 그림2, 그림3, 그림4에 나타내었다.

발포 폴리스티렌폼의 최대 열방출율은 합판

표2 각 재료별 착화시간 (초)

Heat Flux		25 kW/m ²	35 kW/m ²	50 kW/m ²
합판	10 mm	103.4	53.3	25.6
	15 mm	90.0	36.1	23.9
발포 폴리스티렌폼	20 mm	-	21.7	16.6
	30 mm	-	52.4	23.3
석고보드	12.5 mm	DNI	DNI	80.6

(* DNI : 착화하지 않음)

였다.

각 heat flux에서 실험체의 착화시간 측정결과를 표2와 그림1에 나타내었다.

표2와 그림1에 나타난 바와 같이 heat flux가 증가함에 따라 재료의 착화시간이 빨라지는 것으로 나타났다. 이는 heat flux가 증가하면 온도에 좌우되는 재료의 열분해속도가 빨라지고 이로 인한 가연성가스 발생량 증가로 착화시간이 빨라지는 것으로 볼 수

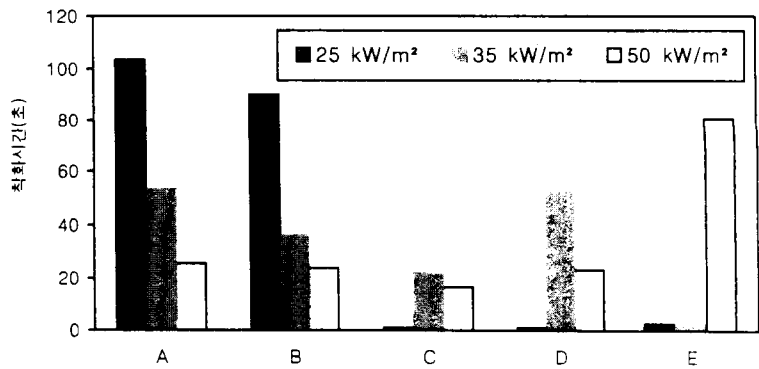


그림 1. 각 재료별 착화시간

(A : 합판 10 mm , B : 합판 15 mm , C : 발포폴리스티렌폼 20 mm , D : 발포폴리스티렌폼 30 mm , E : 석고보드 12.5 mm)

표3 각 재료별 최대 열방출율 (kW/m²)

Heat Flux		25 kW/m ²	35 kW/m ²	50 kW/m ²
실험체				
합판	10 mm	176.9	238.9	298.2
	15 mm	144.3	198.5	277.3
발포 폴리스티렌폼	20 mm	-	443.2	556.6
	30 mm	-	469.7	654.5
석고보드	12.5 mm	9.8	11.1	30.7

의 약 2배 이상인 것으로 나타나 화재시 화재의 확대위험이 매우 큰 재료임을 알 수 있다. 또한 석고보드의 열방출율 값은 석고보드 표면에 마감한 종이의 연소로 인한 것이며 종이 연소된

이후에는 열방출은 거의 없었다.

또한 그림2, 그림3, 그림4에 나타난 각 재료들의 시간에 따른 열방출율 그래프에서 보듯이 피크가 완만한 재료는 화재조건에 노출되었을 때 재료로부터의 열방출이 더 서서히 이루어지고 있다는 것을 의미하며 특히 발포 폴리스티렌폼은 다른 재료에 비해 초기에 열방출이 가장 급격하게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

3. 유효연소열량 (Effective Heat of Combustion)

단위 질량의 재료가 연소함으로 인하여 발생된 열량으로 표현되는 유효 연소열량은 연소로

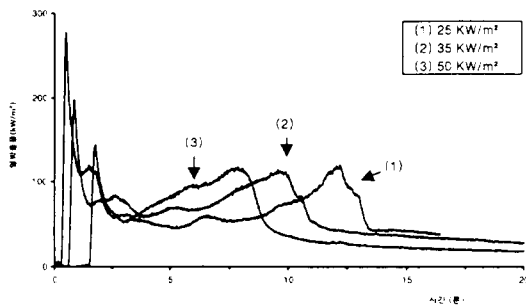


그림 2-1. 합판(10mm)의 열방출곡선

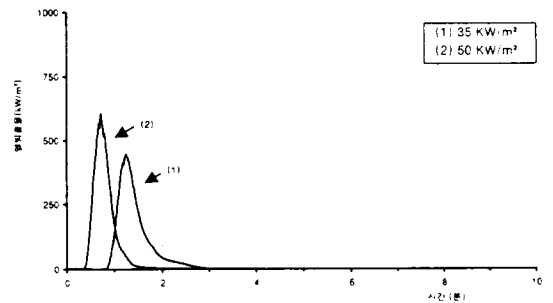


그림 3-1. 발포폴리스티렌폼(20mm)의 열방출곡선

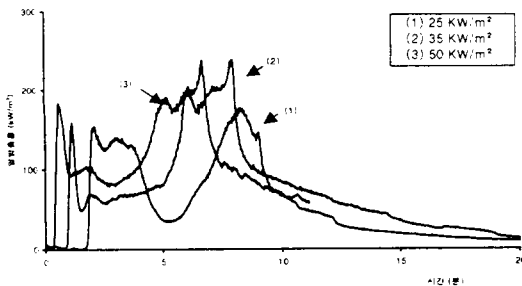


그림 2-2. 합판(15mm)의 열방출곡선

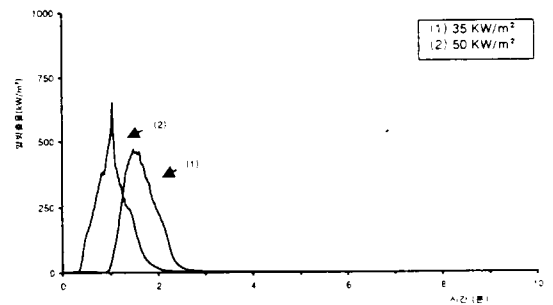


그림 3-2. 발포폴리스티렌폼(30mm)의 열방출곡선

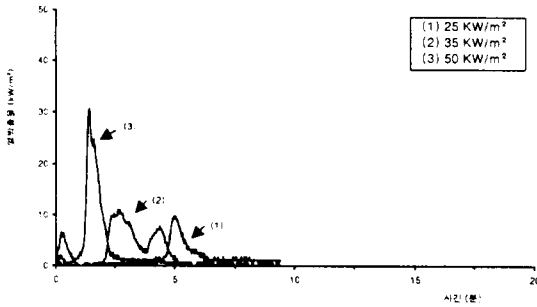


그림 4. 석고보드(12.5mm)의 열방출곡선

산업이 첨단화 되어감에 따라 새롭고 다양한 재료들이 개발되어 사용되면서 화재시 연소의 형태도 다양하고 복잡화 되어가고 있다. 또한 기존의 개념들을 벗어난 특수한 구조의 건축물들이 생겨남에 따라 이들 특수 건축물들의 화재 위험성을 평가하는 도구로서 화재 시뮬레이션기법의 활용도 점차 늘어가고 있는 추세이다. 따라서 각종 재료들의 착화, 열방출, 연기발생 등 연소특성들을 종합적으로 측정할 수 있는 산소소비열량계, 즉 콘칼로리미터의 활용은 화재 안전

측면에서 매우 유용한 평가기법의 하나로 평가받고 있으며, 이 데이터들은 재료의 화재 위험성평가뿐 아니라 화재시뮬레이션 등에도 널리 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. J. R. Brown, Fire-hazard Assessment of Extended-chain Polyethylene and Aramid Composites by Cone Calorimetry, Fire and Materials, vol. 18, 1994, 167-172.
2. G. T. Egglestone and D. M. Turley, Flammability of GRP for Use in Ship Superstructures, Fire and Materials, vol. 18, 1994, 255-260.
3. Marcelo M. Hirschler, Heat Release from Plastic Materials, Heat Release in Fires, Elsevier Applied Science, 375-422
4. ASTM E 1354, Standard Test Method for Heat and Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter, ASTM, 1994
5. ISO 5660, Fire tests - Reaction to fire Part 1. Rate of heat release from building products (Cone calorimeter method), ISO, 1993 **FLK**

표4 각 재료별 유효연소열량(MJ/kg)

실험체		Heat Flux		
		25 kW/m ²	35 kW/m ²	50 kW/m ²
합판	10 mm	12.2	13.9	13.6
	15 mm	9.8	11.7	11.5
발포 폴리스티렌폼	20 mm	-	25.8	26.7
	30 mm	-	24.3	26.9
석고보드	12.5 mm	0.72	0.52	0.83

인해 방출된 열량과 질량손실로부터 계산한다.

표4에 각 재료별 유효 연소열량값을 나타내었다.

실험결과 실험체 3종 모두 heat flux의 강도에 따른 유효 연소열량값은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이 결과로 볼 때 산소소비열량계에 의해 측정된 유효 연소열량값은 화재하중 계산에도 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

3가지의 건축재료에 대하여 착화성, 최대열방출율, 유효연소열량을 측정하였다. 실험결과 각 재료들은 heat flux가 증가함에 따라 착화시간은 짧아지고 열방출율은 증가하였다. 그러나 유효연소열량은 heat flux의 크기에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

VI. 맺는말