

인계 난연 허니컴 코아의 방화성능평가에 관한 연구 A Study on Fire Prevention Capability Performance Evaluation of the Phosphate Flame Retardant Honeycomb Core

문성웅* · 임경범** · 이동호†

Sung-Woong Moon* · Kyung-Bum Lim** · Dong-Ho Rie†

*인천대학교 대학원 안전공학과, **해운대대학교 소방안전관리과, 인천대학교 안전공학과
(2010. 4. 1. 접수/2010. 6. 11. 채택)

요 약

허니컴 코아 구조는 강성과 강도가 뛰어나 건축물의 내장재 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 특히 허니컴 종이는 생산 단가가 낮으며 재활용이 가능하여 환경오염을 일으키지 않는다. 그러나, 종이 재료의 특성상 화재에 취약하여 난연화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 방화문 내장재 및 포장재에 보편적으로 사용되는 허니컴 종이의 난연 처리 방법에 따른 난연 성능을 평가하였다. 연구 대상으로는 난연종이로 제작된 허니컴과 실험실에서 제작된 방염 필름을 부착한 허니컴, 난연제 함침을 통해 제작된 허니컴, 난연제 함침 후 방염 필름을 부착한 허니컴을 포함해 총 4종에 관한 난연 성능을 비교하였다. 그 결과, 난연제를 함침한 허니컴 종이 가장 우수한 난연 능력을 보여주었으며, 방염 필름은 착화 시간 지연에는 효과가 있었으나 열방출률 및 연기발생률에 부정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

Honeycomb core structure with its excellent stiffness and strength is being utilized in many fields such as interior building material. Because it is inexpensive and renewable, honeycomb paper production is economically and environmentally helpful. However, the paper needs to be fireproofed because it is vulnerable to fire. In this study, we have undergone the performance evaluation process of the honeycomb paper which is widely used as interior material of a fire door and packing material. Four kinds of honeycomb (a honeycomb made of flame-resistant paper; a honeycomb attached with conventional flame-resistant film made in the laboratory; honeycomb impregnated with flame retardant; a honeycomb attached with flame-resistant film after impregnating fire retardant) were used in the study to compare the fire retardant performance. As a result, the honeycomb with impregnated flame retardant showed the highest performance. The flame-resistant film was effective in delaying the igniting time but had a negative effect on the rate of heat and smoke production.

Key words : Honeycomb core, Fire retardant, Fire prevention capability, Cone calorimeter.

1. 서 론

도시의 고도화로 인해 건물의 고층화 및 밀집화로 인하여 화재발생시 열이나 연기의 급속한 확산으로 인해 인명 및 재산의 피해가 급격히 증가하고 있는 실정이다. 이로 인해 국내에서는 건축물의 화재발생시 방화 및 피난에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{1,2)} 이러한 추세와 더불어 건축물의 내화성능에 대한 규제

가 제정되어 고층건물 및 다세대 주택을 중심으로 건축물의 설계단계부터 시공까지 재실자의 대피를 고려하여 건축이 이루어지고 있다.

이 중 방화문은 방화구획을 연결하는 통로에 설치되어 화재 발생 시 화염과 연기의 전파를 차단하는 중요한 역할을 한다. 현재 주로 사용되는 방화문은 철재방화문으로 외관, 감축 및 결로현상 등의 문제점을 나타내는 바, 이를 대체할 수 있는 목재방화문의 도입이 추진되어 실내 방화구획을 설정하는 부분에 사용되고 있는 추세이다.²⁾ 하지만 목재방화문 역시 불연 패널 사

† E-mail: riedh@incheon.ac.kr

용으로 인해 상당한 증량이 나가는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 목재의 미관적 특성을 최대한 유지하면서 증량감을 해결하기 위한 방법으로 강성과 강도가 좋아 인장 및 압축응력에 대한 내구성이 뛰어나 항공기의 기체, KTX의 충격흡수장치, 건축물의 내장재 등 많은 분야에서 활용되고 있는³⁾ 허니컴(Honeycomb) 구조를 사용하여 친환경 초경량의 목재 방화문 내장재를 개발하고자 한다. 이를 위해 종이 허니컴을 활용한 경량화를 도모하였으며, 난연 처리를 통해 화재에 취약한 종이의 특성을 개선하고자 난연 처리 방법에 따른 착화 시간, 열방출률 및 연기발생률을 비교 분석하여 초경량 목재방화문의 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 인계 난연제의 특성

환경 규제 강화 및 저독성에 대한 요구가 증가함에 따라 할로젠 난연제의 사용이 제한 받고 있다. 이를 대체할 난연제로 인계 난연제를 주목하고 있다. 인계 난연제는 저독성, 고성능의 장점을 지니고 있으며, 화재 발생 시 연기 안정성 측면도 큰 편이다.

응축상(Condensed-phase) 난연제인 인이 첨가된 인계 난연제는 열분해할 때 탄소성 차(Char)를 생성한다. 이 탄소성 차의 생성으로 연소가 가능한 물질이 감소하게 되며, 연소되는 분자의 표면에 두꺼운 막을 형성하여 열을 차단함으로써 불이 붙지 않는 불연성을 나타내게 된다. 이러한 인계 난연제의 원리는 연소할 때 인 화합물은 열분해에 의해 폴리메타인산을 생성하고 이것이 보호층을 형성하는 방법과 폴리메타인산이 생성 될 때의 탈수작용에 의해서 생성되는 탄소피막이 산소를 차단하여 연소를 막는 방법이 있다.⁴⁾

Table 1은 본 실험에서 사용한 인계 난연제의 성상을 나타낸다.

Table 1. Test Clause of Phosphate Flame Retardant

Test Clause	Outcome
Appearance	Clear Liquid
Bromine Content	Min 12.0% (w/w)
Nitrogen Content	Min 5.0% (w/w)
Phosphorous Content	Min 1.50% (w/w)
pH	6.5~7.5 (10% Water Suspension)
Density	1.25 (g/ml, at 25°C)
Solid Matter (%)	48.5%

2.2 시험 재료 제작

난연 성능 평가를 위해 사용된 허니컴 종이로는 철재방화문 내장재로 사용되는 K2 재생지, YK 재생지 및 일본에서 수입되고 있는 난연 허니컴 종이를 사용하여 샌드위치 구조재로 제작하였으며, 난연 성능 간섭을 최소화 하고자 난연성 접착제를 사용하여 패널을 접착하였다. 난연 처리에 따른 열방출률을 분석하기 위해 시험편을 100 mm×100mm의 크기로 제작하였다.

또한 허니컴에 부착시킨 방염필름은 PVC를 원 소재로 PVC원료의 졸 상태에서 방염 파우더를 첨가하여 200 μ 두께의 필름으로 제조된 제품이다. 방염필름의 구성은 인쇄 층, 필름 층, 접착제 층의 3개 층으로 구성되어 있다.

본 실험에서는 난연종이로 제작된 허니컴과 실험실에서 제작된 방염 필름을 부착한 허니컴, 난연제 함침을 통해 제작된 허니컴, 난연제 함침 후 방염 필름을 부착한 허니컴을 포함해 총 4종에 관한 열방출률 및 착화시간, 총 열방출량 및 연기발생률 비교를 통한 난연 성능을 시험하였다.

2.3 콘칼로리미터 분석

본 실험은 난연 처리에 따른 종이 허니컴의 열방출률을 분석하기 위해 ISO 5660-1:2003 시험방법을 기준으로 제작된 콘칼로리미터(Cone Calorimeter 2006, Festec International Co., Ltd.)를 사용하였다. 난연 처리 방법에 따른 시험편의 열방출률, 착화시간, 연소된 가스 생성량의 측정을 통해 초경량 방화문의 내장재로 활용 가능한 허니컴의 난연 성능을 비교 분석하여 최적의 조건을 도출하고자 한다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 허니컴 종이의 함수율

허니컴의 난연성능을 확보하기 위해서 인계 난연제를 함침하였으며, 기초 실험을 통해 난연제 함침 시간을 달리하여 적정 함침시간을 도출하였다. 그 결과 2sec

Table 2. Measuring the Water Content

Test Piece	Times			Avr
	1	2	3	
180 : 200 g/m ² K2	44.15	34.85	40.44	39.82
200 g/m ² K2	39.83	42.08	39.32	40.41
210 g/m ² YK	41.92	37.05	43.36	40.78

이후 열방출률 억제 효과가 상승하지 않는 것을 확인하여, 본 실험에서 사용된 함침 시간은 2sec로 설정하였다.

난연제 함침량을 정량적으로 측정하기 위해 함침 전·후의 질량을 기록하여 함수율을 구하였다. Table 2에 난연제 함침시 허니컴 종이의 함수율을 나타낸다.

3.2 착화시간 및 열방출률

난연 성능 평가를 위해 제작된 허니컴에 대한 콘칼로리미터 연소 실험 후의 시험편을 Table 3에 나타내었다.

Case A는 실험실에서 제작된 허니컴이며, Case B는 방염 필름을 부착한 허니컴, Case C는 난연제를 함침한 허니컴 Case D는 난연제 함침 후 방염필름을 부착한 허니컴이며 Case E는 난연종이로 제작된 허니컴으로 4가지 제작된 시험편 및 1개의 대조군에 대해 분석하였다.

착화시간 및 열방출률을 측정하기 위해 제작된 시험편을 난연 성능 평가 기준인 50kW/m²의 복사열을 가한 후 시간에 따른 열방출률을 Figure 1, 2, 3에 나타낸다.

Figure 1에서 나타난 바와 같이 Case A는 11sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 74.64kW/m²로 나타났다. 최대치는 35sec에 150.29kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 150sec에 소화되었다.

Case B는 14sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 75.09kW/m²로 나타났다. 최대치는 45sec에 163.19kW/

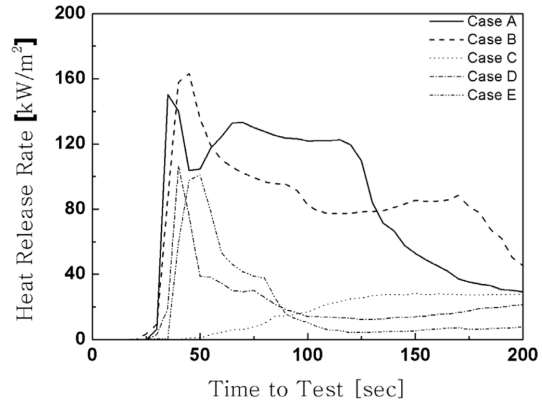


Figure 1. Heat release rate (180 : 200 g/m² K2 recycle paper).

m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 220sec에 소화되었다.


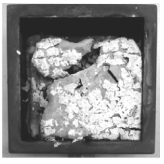


Case C는 착화되지 않았고, 열방출률은 평균 15.34kW/m²로 나타났다. 최대치는 150sec에 28.23kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 실험 이후에도 열방출률은 지속되었다.

Case D는 17sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 19.84kW/m²로 나타났다. 최대치는 40sec에 106.56kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 37sec에 소화되었다.

Case E는 17sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 17.97kW/m²로 나타났다. 최대치는 50sec에 101.08kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 42sec에 소화되었다.

이러한 결과는 일반 시험편에 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 착화시간이 함침 유무에 상관없이 지연되는 것을 확인하였으며, 함침한 시험편은 착화가 되지 않는 것을 확인하였다. 또한 방염필름이 착화시간 지연성능을 가지고 있지만, 착화 전 짧은 주기로 화염

Table 3. Piece Combustion (200 g/m² K2 Recycle Paper)

Case A	Case B
Honeycomb Paper	Honeycomb Paper Attached with Flame-resistant Film
	
Case C	Case D
Honeycomb Paper with Flame Retardant Impregnated	Honeycomb Paper Attached with a Flame-resistant Film After Impregnating Flame Retardants
	

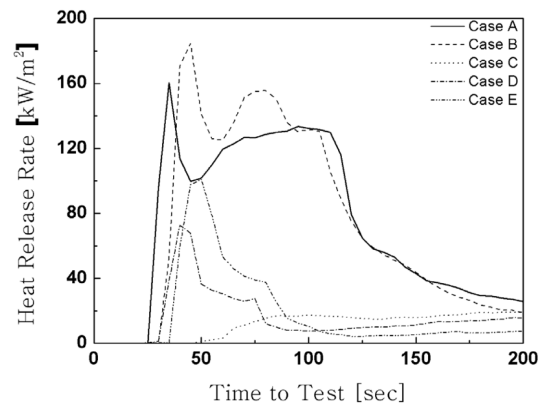


Figure 2. Heat release rate (200 g/m² K2 recycle paper).

이 발생하기도 하여 초기 열방출률을 상승시키는 역할을 하였고, 일정 시간 이후 착화 되 최대 열방출률을 증가시키는 요인이 되었다. 특히 함침한 시험편에 부착할 경우 착화의 원인이 되었으며, 최대 열방출률을 약 3.8배 상승시켰다. 난연종이로 제작된 Case 5와 난연제 함침 후 방염필름을 부착한 Case 4는 착화 및 열방출률 성향에서 상당히 유사한 경향을 보였다.

Figure 2는 200g/m² K2 재생지의 각 시험편에 50kW/m²의 복사열을 가할 때 시간에 따른 열방출률을 나타낸 그래프이다.

Case A는 8sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 72.37kW/m²로 나타났다. 최대치는 35sec에 160.38kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 133sec에 소화되었다.

Case B는 14sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 71.56kW/m²로 나타났다. 최대치는 45sec에 184.59kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 98sec에 소화 되었다.

Case C는 착화되지 않았고, 열방출률은 평균 11.30kW/m²로 나타났다. 최대치는 200sec에 19.41kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 실험 이후에도 열방출률은 지속되었다.

Case D는 12sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 15.71kW/m²로 나타났다. 최대치는 40sec에 72.78kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 21sec에 소화되었다.

실험결과 180 : 200g/m² K2 허니컴의 결과와 동일하게 일반 시험편 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 착화시간이 함침 유무에 상관없이 지연되는 것을 확인하였으며, 함침한 시험편은 착화가 되지 않았다.

또한 방염필름의 착화시간 지연성능을 확인하였으며, 일정 시간 이후 착화되 함침한 시험편에 부착할 경우 최대 열방출률을 약 3.5배 상승 시켰다.

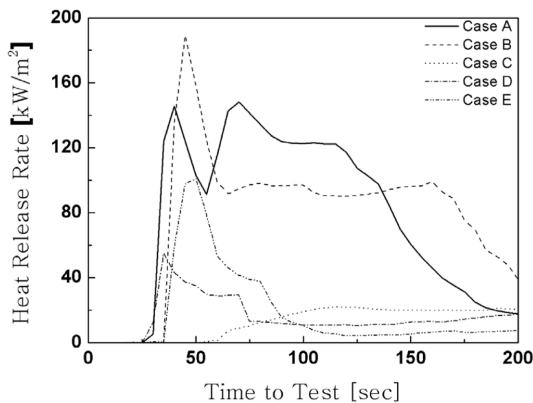


Figure 3. Heat release rate (210 g/m² YK recycle paper).

Figure 3은 210g/m² YK 재생지의 각 시험편에 50kW/m²의 복사열을 가할 때 시간에 따른 열방출률을 나타낸 그래프이다.

Case A는 9sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 75.28kW/m²로 나타났다. 최대치는 70sec에 148.14kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 164sec에 소화 되었다.

Case B는 14sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 76.02kW/m²로 나타났다. 최대치는 45sec에 188.89kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 232sec에 소화되었다.

Case C는 착화되지 않았고, 열방출률은 평균 12.63kW/m²로 나타났다. 최대치는 115sec에 21.86kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 실험 이후에도 열방출률은 지속되었다.

Case D는 13sec에 착화되었고, 열방출률은 평균 15.42kW/m²로 나타났다. 최대치는 35sec에 54.96kW/m²가 발생하는 것으로 분석되었고, 26sec에 소화되었다.

실험결과 일반 시험편 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 착화시간이 함침 유무에 상관없이 지연되는 것을 확인하였으며, 함침한 시험편은 착화가 되지 않는 것을 확인하였다.

또한 방염필름이 착화시간 지연성능을 가지고 있지만, 일정 시간 이후 착화되 최대 열방출률을 증가시키

Table 4. Ignition Time & Peak Heat Release Rate of Honeycomb Paper

Test Piece		TTI	Peak HRR
180 : 200 g/m ² K2	Case A	11	150.29
	Case B	14	163.19
	Case C	None	28.23
	Case D	17	106.56
	Case E	17	101.08
200 g/m ² K2	Case A	8	160.38
	Case B	14	184.59
	Case C	None	19.41
	Case D	12	72.78
	Case E	17	101.08
210 g/m ² YK	Case A	9	148.14
	Case B	14	188.89
	Case C	None	21.86
	Case D	13	54.96
	Case E	17	101.08

*TTI: Time To Ignition [sec]
HRR: Heat Release Rate [kW/m²]

는 요인이 되었다. 특히 함침한 시험편에 부착할 경우 착화의 원인이 되었으며, 최대 열방출률을 약 3.5배 상승시켰다.

Table 4는 시험편의 착화시간 및 열방출률을 나타낸 표로 난연제를 함침한 시험편은 모두 착화되지 않았으며, 최대 열방출률 또한 가장 낮은 값을 나타내었다.

3.3 시험편의 연기 발생률

Figure 4, 5, 6은 시험편에 50kW/m²의 복사열을 가할 때 시간에 따른 연기발생률을 나타낸 그래프이다.

Figure 4에서 Case A의 연기발생률은 평균 0.27m²/m²로 나타났고, 최대치는 45sec에 0.81m²/m²가 발생하였으며, Case B의 연기발생률은 평균 0.93m²/m²로 나타났고, 최대치는 40sec에 8.8m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

Case C의 연기발생률은 평균 3.08m²/m²로 나타났고, 최대치는 45sec에 5.75m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었고 또한 Case D의 연기발생률은 평균 3.18m²/m²로 나타났고, 최대치는 50sec에 13.7m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

Case E의 연기발생률은 평균 0.32m²/m²로 나타났고, 최대치는 50sec에 1.9m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

실험결과 일반 시험편 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 연기발생률의 최대치가 10.86배 높았으며, 함침유무에 상관없이 상당히 높게 나타났다. 함침한 시험편은 일반 시험편인 Case A에 비해 최대치가 2.35배 높게 나타났다.

Figure 5는 200g/m² K2 재생지의 각 시험편에 50kW/

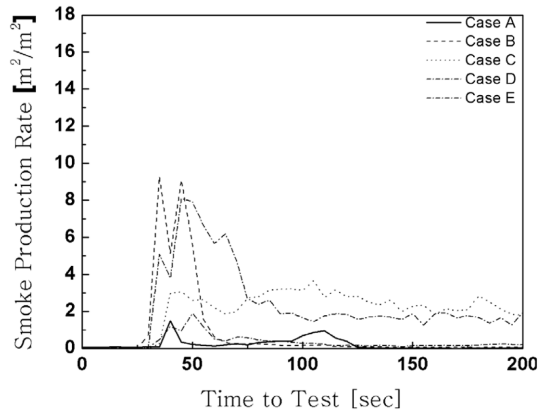


Figure 5. Smoke production rate (200 g/m² K2 recycle paper).

m²의 복사열을 가할 때 시간에 따른 연기발생률을 나타낸 그래프이다.

Case A의 연기발생률은 평균 0.21m²/m²로 나타났고, 최대치는 40sec에 1.49m²/m²가 발생되었고 Case B의 연기발생률은 평균 0.86m²/m²로 나타났고, 최대치는 35sec에 9.26m²/m²가 발생하였다. Case C의 연기발생률은 평균 2.05m²/m²로 나타났고, 최대치는 105sec에 3.65m²/m²가 발생하였으며, Case D의 연기발생률은 평균 2.32m²/m²로 나타났고, 최대치는 45sec에 8.09m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

실험결과 일반 시험편 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 연기발생률의 최대치가 6.21배 높았으며, 함침유무에 상관없이 상당히 높게 나타났다. 함침한 시험

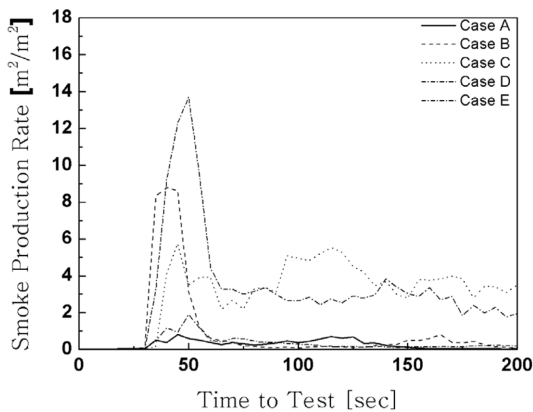


Figure 4. Smoke production rate (180 : 200 g/m² K2 recycle paper).

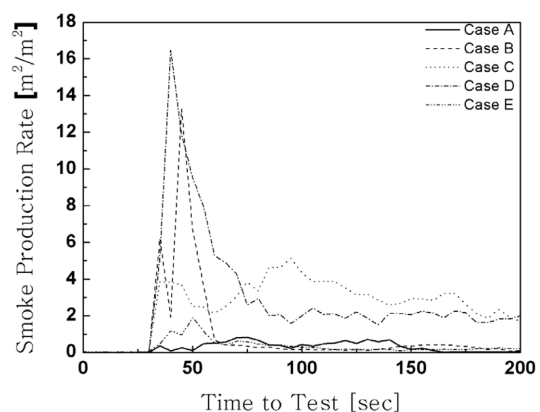


Figure 6. Smoke production rate (200 g/m² K2 recycle paper).

Table 4. The Total Heat Release Rate of Test Piece

Test Piece [Recycle Paper]	THR [MJ/m ²]				
	Case A	Case B	Case C	Case D	Case E
180 : 200 g/m ² K2	15.24	15.38	3.13	4.03	3.19
200 g/m ² K2	14.54	14.56	2.30	3.30	3.19
210 g/m ² YK	15.38	15.54	2.49	3.12	3.19

*THR: Total Heat Release

편은 일반 시험편인 Case A에 비해 최대치가 1.50배 높게 나타났다.

Figure 6는 200g/m² K2 재생지의 각 시험편에 50kW/m²의 복사열을 가할 때 시간에 따른 연기발생률을 나타낸 그래프이다.

Case A의 연기발생률은 평균 0.28m²/m²로 나타났고, 최대치는 75sec에 0.82m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다. Case B의 연기발생률은 평균 0.95m²/m²로 나타났고, 최대치는 45sec에 13.72m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

Case C의 연기발생률은 평균 2.61m²/m²로 나타났고, 최대치는 95sec에 5.14m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다. Case D의 연기발생률은 평균 2.89m²/m²로 나타났고, 최대치는 40sec에 16.47m²/m²가 발생하는 것으로 분석되었다.

실험결과 일반 시험편 비해 방염 필름을 부착한 시험편의 연기발생률의 최대치가 6.21배 높았으며, 합침 유무에 상관없이 상당히 높게 나타났다. 합침한 시험편은 일반 시험편인 Case A에 비해 최대치가 1.50배 높게 나타났다.

3.4 시험편의 총 열방출량

난연 처리에 따른 성능평가를 위해 시험편에 의 총 열방출량을 Table 4에 나타내었다. 총 열방출량은 각 시험편에 50kW/m²의 복사열을 가할 때 200sec 동안의 측정값으로 산출하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 허니컴 종이의 난연 처리 방법에 따른 난연 성능을 정량적으로 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 착화시간을 비교한 결과 방염 필름은 착화시간을 50% 지연시켜 주었으며 난연 종이로 제작된 허니컴은

80%의 지연 효과를 확인하였다. 난연제를 함침한 시험편은 모두 착화되지 않았으나 난연제 함침 후 방염필름을 부착한 경우 평균 14sec 동안 화염이 발생하였다.

② 난연 처리에 따른 총열방출량은 방염 필름의 경우 일반 허니컴에 0.7% 증가, 난연제를 함침 처리한 경우 82.5% 감소하였으며, 난연제 함침 후 방염필름을 부착한 경우, 난연제 함침 허니컴에 비해 총열방출량이 1.1% 높게 나왔으며, 난연종이로 제작된 허니컴은 78.8% 감소하였다. 이를 통해 방염필름은 50kW/m²의 복사열 적용 시 방염필름의 연소로 인해 난연 성능에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

③ 연기발생률은 일반 허니컴에 비해 방염필름을 부착한 경우 1020% 증가, 난연제 함침은 362% 난연 종이 제작 허니컴은 126% 증가하였다. 이를 통해 난연 처리가 연기발생률을 높이는 요인이 되고 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해 방화문에 내장된 허니컴의 난연 성능을 얻기 위해서는 허니컴 종이에 난연제를 함침 하는 것이 적절하며, 방염 필름은 열방출률 및 연기발생률에 부정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. 이동호, 박중승, 조준성, 김정엽, “건축물 화재에 따른 근중 피난 시뮬레이션 시스템 개발”, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, pp.304-309 (2008).
2. 여인환, 강성훈, 안재홍, 인기호, “목재방화문의 에너지·화재성능평가연구”, 한국건설기술연구원(2009).
3. 이재락, 김영근, 장행종, 박수진, 서민강, 김택진, 진중성, 김현철, 김정순, 장유신, 신유식, 서동일, “초경량 보강 허니컴 샌드위치 구조재 개발”, 과학기술부 (2000).
4. 고병열, 김은선, 박영서, “난연제”, 한국과학기술정보연구원(2002).
5. 한국소방검정공사, “방염제도에 관한 연구”, 연구논문·기술자료집(2001).
6. 안재홍, 여인환, 인기호, 민병렬, “목재방화문의 내화 성능에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, pp.58-62(2007).
7. Philip J. DiNunno, P.E., Dougal Drysdale, PhD., Craig L. Beyler, PhD., W. Douglas Walton, P.E., Richard L.P. Custer, John R. Hall, Jr., PhD., John M. Watts, Jr., PhD., “SFPE 방화공학 핸드북 제3판”, 한국화재보험협회(2005).