

민속마을 초가집의 방염에 의한 화재확산방지 Fire Spreading Prevention of Straw-roofing House in Folk Village by Flame Resistant Treatment

박호천* · 김황진** · 이승현** · 이성은*** · 오규형†

Ho-Chun Park* · Hwang-Jin Kim** · Seung-Hyun Lee** ·
Sung-Eun Lee*** · Kyu-Hyung Oh†

*에이스엔지니어링, **호서대학교 소방방재학과 대학원,
***호서대학교 산업안전연구센터, 호서대학교 소방방재학과
(2010. 3. 19. 접수/2010. 6. 11. 채택)

요 약

본 논문에서는 방염에 의한 초가지붕과 목재구조에 대한 화재 예방대책을 고찰하였다. 초가지붕 재료인 벚짚에 함침시간을 달리하여 방염처리를 한 후 물에 침수시켜 세척한 후에도 방염성능을 유지하는지 확인하였다. 목재는 방염처리 방법에 따른 방염효과를 비교분석하기 위하여 상압함침법과 진공가압법, 붓칠 등의 방법으로 방염처리 하였다. 벚짚의 방염성능은 콘 히터를 이용하여 착화지연시간을 측정하였으며 목재의 방염성능은 45도 연소시험과 콘 히터 실험을 통해 실험하였다. 실험 결과 특수 가연물인 벚짚의 경우 방염처리한 벚짚의 착화지연시간이 처리되지 않은 것보다 훨씬 길게 나타났으며 방염처리 후 물에 침수시켜 세척한 경우에도 처리되지 않은 시료에 비하여 착화지연시간이 길게 나타나 방염성능을 유지하는 것으로 나타났다. 목재의 경우 진공가압법으로 방염처리한 시료의 방염효과가 가장 우수하였고 붓칠이나 상압함침한 경우에도 처리하지 않은 것보다 착화지연시간이 길게 나타나 화재 확산 예방에 효과가 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Fire protection countermeasure were considered on the straw thatched roof and wooden structure. For the fire resistant treatment, rice straw was soaked in the fire resistant liquid with different soaking time. After treatment, some rice straw sample was washed with water then the rice straws were tested to check the fire resistance performance. And the wood was soaked in the fire resistant liquid at an atmospheric pressure, vacuum-pressure condition and painted with brush on the surface. To analyse the fire resistant performance of rice straw, ignition delay time was measured under the radiant heat flux of cone heater. And the fire resistant performance of wood samples were tested with 45 degree fire resistant test apparatus and cone heater. Based on the cone heater test, the rice straw which most easily ignitable material shows the longer ignition delay time than not treated ones and even in the water washed straw show a longer ignition delay time than not treated ones. And fire resistant treated woods of vacuum-pressure treated sample showed the most excellent performance on fire resistance. And the fire resistant treated by brush and soaking showed a longer ignition delay time than not treated ones. From this experiment, it was found that a fire resistant treatment of rice straw and wood of the house can be protected from the fire spread.

Key words : Fire resistant treatment, Straw thatched roof, Wooden structure, Folk village

1. 서 론

승레문 화재 이후 문화재 보존과 방재대책의 필요성

이 언론을 통해 이슈화됨에 따라 문화재의 중요성에 대한 의식의 변화가 생겨났다. 문화재청 통계에 의하면 2000년부터 2005년(8월 31일)까지 사찰 및 문화재에서만 모두 324건의 화재가 신고 되었고 해마다 60건 이상 매월 5건 이상의 크고 작은 화재가 발생하고

† E-mail: khoh@hoseo.edu

있다.¹⁾ 문화재 중에서도 화재의 위험이 가장 크게 나타나는 목조문화재는 주요 구조부가 모두 화재에 취약한 목재로 구성되어 있으며 역사가 오래된 문화재일수록 목재고유의 수분함유율이 떨어져 한번 불이 붙으면 쉽게 확대되는 특성을 가지고 있기 때문에 무엇보다도 사전에 화재를 예방해야할 필요성이 크다. 화재에 취약한 목조 문화재에 대한 능동적인 방재대책 중 방염 처리는 초기 착화지연에 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 문화재청 자료 중 중요목조문화재 방연제 도포실적에 따르면 1990년부터 2009년 까지 약 492개의 중요 목조문화재에 방연제를 도포해온 것으로 나타나 있다.²⁾ 이는 모두 목재에 방염처리를 한 것으로 실질적으로 불이 가장 쉽게 착화할 수 있고 또 쉽게 확대될 수 있는 벚짚에는 방염처리를 실시한 적이 없다. 건축물의 역사적 가치로서 초가 건축물은 상대적으로 와가 건축물보다도 오랜 역사를 자랑하며 특히 국내 고유의 문화재적 가치가 있기 때문에 보존할 필요성이 더 크다고 볼 수 있다.

특히 국내 초가 및 와가 건축물의 경우 안동하회마을(중요민속자료 제122호), 성읍민속마을(중요민속자료 제188호), 양동민속마을(중요민속자료 제189호), 외암민속마을(중요민속자료 제236호) 등으로 집단으로 구성되어 있기 때문에 마을 어느 한 곳에서 화재가 발생할 경우 계절풍 등에 의해 마을 전체로 화재가 번져갈 우려가 크다. 따라서 본 연구에서는 목조문화재의 주요 구성 가연물인 목재뿐만 아니라 상대적으로 화재의 위험성이 큰 벚짚의 방염성능에 대하여 알아보고 이를 바탕으로 방염에 의한 민속마을의 화재예방에 관한 효과에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험시료

본 논문에서는 민속마을의 주요 가연물인 목재와 벚짚에 방염처리를 하여 방염처리 효과를 알아보하고자 하였다. 목재의 경우 이미 방염효과가 실험적으로 입증되어 널리 사용되어지고 있지만 여러 가지 방염처리방법에 따라 방염성능이 달라질 수 있기 때문에 효율적인 방염효과를 얻기 위해 방염처리 방법에 따른 방염성능의 차이를 알아보하고자 하였고 벚짚의 경우에는 방염효과에 대해서는 실험적으로 얻은 결론이 전무한 상태이기 때문에 방염처리를 하였을 경우 뚜렷한 방염성능을 나타내는지에 대하여 알아보하고자 하였다.

시료는 목재의 경우 미송을 선택하였으며 벚짚의 경우 실제 초가지붕으로 엮기 위해 건조시켜놓은 벚짚을

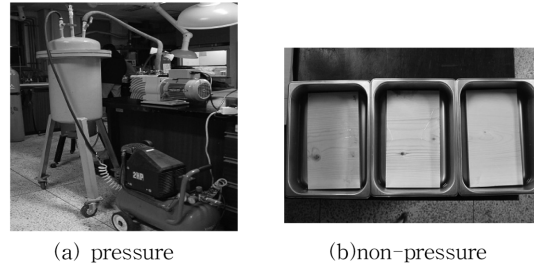


Figure 1. Flame resistance treatment method of wood.

사용하였다.

다음 Figure 1은 각 목재(미송)의 방염처리 방법 중 진공가압법과 상압함침법을 이용하여 방염 처리하는 과정이다.

위의 두 가지 방염처리 방법 외에 가장 보편적으로 사용하는 붓칠을 이용하여 시료에 방염처리를 하였으며 다음 Table 1은 실험에 사용한 시료의 조건을 나타낸 표이다.

실험에 사용한 방염액은 A사(수용성 인계화합물), B사(인산염 화합물)의 두 가지 방염액으로 본 실험의 목적상 방염액의 성능비교를 위한 것이 아니라 처리 방법에 따른 방염성능을 알아보기 위하여 실험하였다.

Table 1과 같이 목재 표면에 붓칠 횟수에 따라 방염성능의 변화를 알아보기 위해 각각 4회, 5회 씩 붓칠을 하여 비교하였고 함침시간에 따른 방염성능을 알아보기 위해 6시간, 12시간씩 방염액에 함침시켜 실험하였다. 또한 방염액에 목재를 함침시킨 후 압력을 가하였을 때와 비압력 상황일때의 방염성능변화를 확인하기 위해서 가압함침법을 사용하여 상압함침법과 가압함침법을 사용하였을 때의 방염성능의 차이를 비교하였다.

Table 1. Test Specimens and Treatment Method of Wood

Specimen	Treatment Method
X	방염처리하지 않은 목재
A	A사 방염액을 사용 4회 붓칠
A-1	A사 방염액을 사용 5회 붓칠
A-2	A사 방염액 사용 6시간 상압함침
A-3	A사 방염액 사용 12시간 상압함침
B	B사 방염액을 사용 4회 붓칠
B-1	B사 방염액을 사용 5회 붓칠
B-2	B사 방염액 사용 6시간 상압함침
B-3	B사 방염액 사용 12시간 상압함침
C	A사 방염액을 이용하여 진공가압

Table 2. Test Specimens and Treatment Method of Rice Straw

Specimen	Characteristic of Specimen
X	방염처리하지 않은 일반 볏짚
A	3시간 방염
A-1	3시간 방염 후 침수 6시간
A-2	3시간 방염 후 침수 12시간
B	6시간 방염
B-1	6시간 방염 후 침수 6시간
B-2	6시간 방염 후 침수 12시간
C	12시간 방염
C-1	12시간 방염 후 침수 6시간
C-2	12시간 방염 후 침수 12시간
D	24시간 방염
D-1	24시간 방염 후 침수 6시간
D-2	24시간 방염 후 침수 12시간

실험 조건 별로 각각 10개의 시료를 만들어 실험하였으며 탄화면적 및 착화지연시간의 평균값을 결과값으로 사용하였다.

볏짚의 경우에도 목재와 마찬가지로 여러 가지 방염 처리방법에 따라 방염성능의 변화가 있을 수 있지만 본 연구에서는 우선 볏짚이 방염성능을 가질 수 있는지에 대하여 기초실험을 하고자 하였으므로 상압함침법만을 사용하여 방염처리를 하였다. 각각의 시료를 방염액에 (3, 6, 9, 12)시간씩 함침한 후 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 항온건조기 안에서 24시간 건조시켜 실험에 사용하였으며 침수시킨 후에도 방염성능을 유지하는지 알아보기 위하여 다음 Table 2와 같은 조건으로 각각의 시료를 6시간, 12시간씩 물에 침수시킨 후 완전히 건조시켜 실험에 사용하였다.

본 실험을 통해 볏짚이 방염성능을 갖는지를 확인하여 초가지붕 재료의 방염효과를 알아보기 위하여 실험하였다.

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 45도 연소실험(목재)

목재 시료의 방염성능을 측정하기 위해 ‘방염성능의 기준’(KOFIS 1001)에 따라 45도 연소시험기를 이용하여 방염성능시험을 하였다.

방염처리한 시료는 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 항온건조기 안에서 24시간 건조시킨 후 실험 바로 전에 실리카겔을 넣은 데시케이터 안에서 2시간 동안 넣어둔 후 실험에 사용하였다.

LPG를 연료로 하여 맥켈버너를 이용하여 불꽃길이

**Figure 2.** Photograph of combustion test by cone heater.

65mm 조절하였으며 시료에 2분간 접염하여 잔염, 잔신 시간을 측정하였으며 프라니메타를 사용하여 시료의 탄화면적을 측정하였고 자를 이용하여 탄화길이를 측정하였다.³⁾

2.2.2 Cone heater 실험(목재, 볏짚)

Cone heater 복사열을 이용한 착화 실험을 실시함으로써 방염액을 처리한 목재 및 볏짚의 착화지연효과를 측정하였다.

복사열의 크기에 따른 시료의 연소특성 및 착화시간을 측정하기 위해 15kW/m^2 , 20kW/m^2 , 25kW/m^2 , 30kW/m^2 의 복사열유속을 가하여 실험하였다. 시료의 크기는 콘 칼로리미터 실험기준에 따라 목재(미송)와 볏짚을 각각 가로·세로 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 로 하였으며 건조시킨 시료를 홀더에 놓고 복사열을 가하여 착화 또는 적열되는 시간을 측정하고 그 외에 연소특성을 알아보기 위해 시료의 탄화시점, 연기발생 시점 등을 관찰하였다.

다음 Figure 2는 Cone heater에 의한 볏짚의 착화실험과정이다. 실험에 사용할 볏짚의 밀도를 고르게 하기 위하여 건조시킨 볏짚을 용기에 20g씩 고르게 담아 실험하였으며 복사열을 가하고 10분 동안 연소특성 및 착화시간을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 목재의 방염성능

3.1.1 45도 연소실험 결과

45도 연소실험을 통하여 방염처리 방법에 따른 목재의 방염성능을 분석한 결과 탄화면적(cm^2)에 대한 결과는 다음 Figure 3과 같은 결과가 나타났다.

그래프에서 보이는 바와 같이 방염처리한 시료들은 규정에는 만족하는 결과를 보였으나 진공가압한 시료의 탄화면적이 가장 작게 나타났기 때문에 세 가지 방법 중 가장 방염효과가 우수한 것으로 판단되며 상압함침법은 상대적으로 방염 처리하는 과정이 가장 간단하지만 붓칠한 시료와 가압함침한 시료보다 탄화면적이 가장 크게 나타났기 때문에 방염효과는 가장 떨어

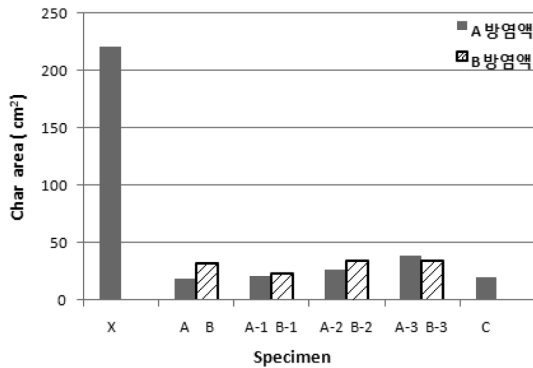


Figure 3. Flame resistance performance according to treatment method.

지는 것으로 판단된다.

본 실험에서는 도장 횟수에 따라 방염성능이 좋아지는지에 대하여 알아보기 위해 각각 4회와 5회씩 붓칠을 하여 연소실험을 실시한 결과 도장 횟수의 증가에 따라 방염성능의 차이가 확실히 구분될 만큼은 나타나지 않았다. 이는 방염도료의 경우 목재에 붓으로 칠을 하면 목재 표면에 도료피막을 형성시켜 도장횟수를 증가 시킬수록 피막의 두께가 두꺼워지기 때문에 방염성능이 좋아지는데 비하여 방염액의 경우는 목재 내부로 방염액이 침투하면서 표면에 방염액의 도막 형성도 도료에 비하여 약하기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 방염액에 목재를 담그는 상압함침법으로 각각 6시간, 12시간 씩 함침시간을 달리하여 만든 시료의 방염성능 실험을 한 결과에서는 방염성능의 차이가 거의 없는 것으로 보아 목재의 경우 상압함침 시간의 증가로는 방염액이 목재의 내부로 침투가 잘되지 않으며 도료와 같은 피막형성이 아니라 방염 성능을 향상시키기 어려운 것으로 판단된다.

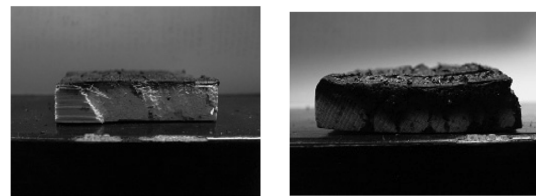
3.1.2 Cone heater 실험결과

복사열 유속에 따른 목재의 착화지연효과를 알아보기 위하여 Cone heater 실험을 실시한 결과 적열 착화 되는데 까지 걸리는 시간이 다음 Table 3과 같이 나타났다.

예비실험 결과 20kW/m² 이하의 복사열 유속에서는 적열이 발생하지 않아 25kW/m²부터 실험을 실시하였다. 10분 동안 복사열을 가하여 착화지연 시간을 관찰한 결과 방염처리하지 않은 일반 목재를 포함한 모든 시료에서 적열 착화만 일어났다. 복사열 유속의 증가에 따라 착화시간은 짧아지는 경향을 보이지만 30kW/m² 이상에서도 어느 정도 화재지연 효과를 유지하는 것으로 나타났다. 기존에 실행되었던 관련 연구에 의

Table 3. Flame Resistance Performance of Cone Heater Test Specimen

시료	Cone heater 실험		
	25kw/m ²	30kw/m ²	35kw/m ²
X	5분 39초	3분 28초	1분 59초
A	탄화	탄화	8분 17초
A-1	탄화	탄화	9분 18초
A-2	8분 54초	7분 08초	4분 46초
A-3	8분 58초	5분 38초	5분 02초
B	8분 50초	8분 57초	6분 34초
B-1	탄화	8분 20초	7분 59초
B-2	9분 05초	5분 28초	4분 37초
B-3	8분 08초	5분 33초	5분 06초
C	탄화	탄화	9분 10초



(a) 25 kW/m² (b) 35 kW/m²

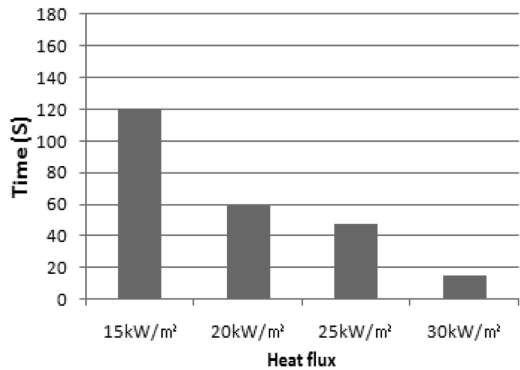
Figure 4. Combustion phenomenon of specimen A at given heat flux.

하면 방염도료를 처리한 합판의 경우 30kW/m² 이상의 복사열유속에서는 방염효과를 기대할 수 없었지만 방염액의 경우에 방염성능을 유지하고 있는 것은 고체의 연소메커니즘에 따른 것으로 판단된다.^{4,5)} 다음 Figure 4와 같이 복사열이 증가하면 탄화층이 깊어지고 깊어진 탄화층에 의해 목재내부에서 발생한 가연성증기가 외부로 분출이 어려워지기 때문에 유염착화가 일어나지 않는 것으로 판단된다.⁶⁾

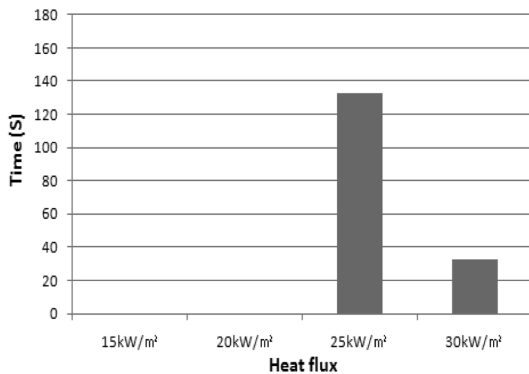
3.2 벗짚의 방염성능

목재 및 합판의 경우 45도 연소실험을 통하여 방염성능을 확인하도록 방염성능기준이 제시되어 있지만 벗짚의 경우에는 시료의 특성상 45도 연소실험을 하기에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 착화지연 시간을 측정함으로써 복사열 크기의 변화에 따른 벗짚의 방염처리효과를 알아보았다.

방염처리하지 않은 일반 건조한 벗짚에 복사열을 가하여 실험한 결과 다음 Figure 5와 같은 결과가 나타났다.



(a) Glowing ignition



(b) Flaming ignition

Figure 5. Time to glowing ignition and flaming ignition of rice straw (non-fire resistant treatment).

15kW/m²의 복사열 유속에서 적열착화가 일어나기 시작하였으며 25kW/m²의 복사열 유속에서는 유염착화가 일어나기 시작하였다. Figure 5(a)에서와 같이 복사열 유속의 증가에 따라 적열착화시간이 점차 짧아지는 것을 알 수 있었다.

다음 Figure 6은 볏짚의 적열착화와 유염착화현상을 나타낸 그림이다. 20kW/m²의 복사열까지는 Figure 6(a)

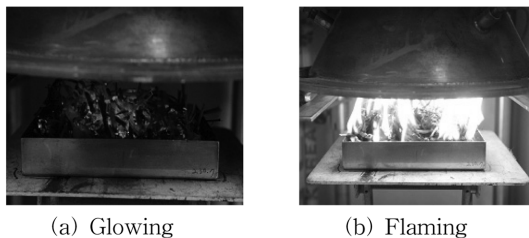


Figure 6. Combustion phenomenon of rice straw specimen.

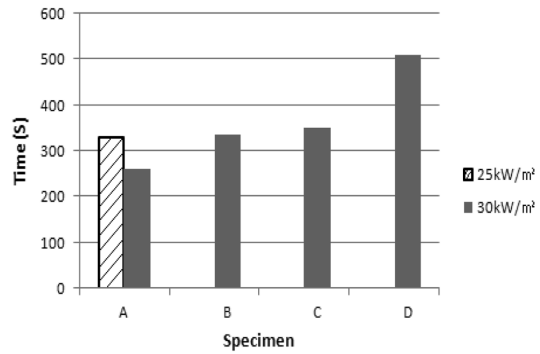


Figure 7. Time to glowing ignition of specimen according to putting in flame resistance liquid time.

와 같이 적열착화만 일어나다 25kW/m² 이상에서는 적열착화가 일어난 후 Figure 6(b)와 같이 유염착화가 발생하였다.

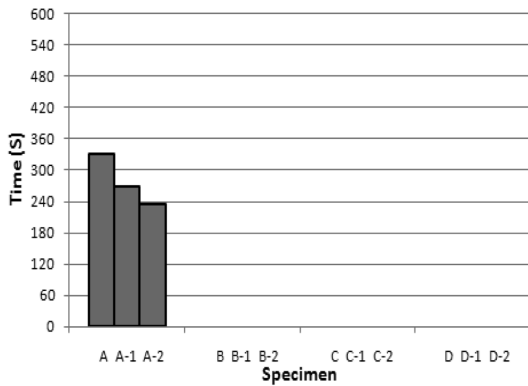
방염처리한 볏짚은 모두 25kW/m² 이상의 복사열에서만 적열착화가 일어났으며 유염착화는 일어나지 않았다.

함침시간의 변화에 따른 방염성능의 변화를 분석한 결과 Figure 7과 같은 결과가 나타났다. 방염처리한 시료는 25kW/m² 이상의 복사열에서만 적열착화가 일어났으며 6시간, 12시간, 24시간 함침한 시료는 25kW/m²에서는 착화가 일어나지 않고 표면만 검게 탄화가 되었으며 30kW/m²에서만 적열 착화가 일어났다.

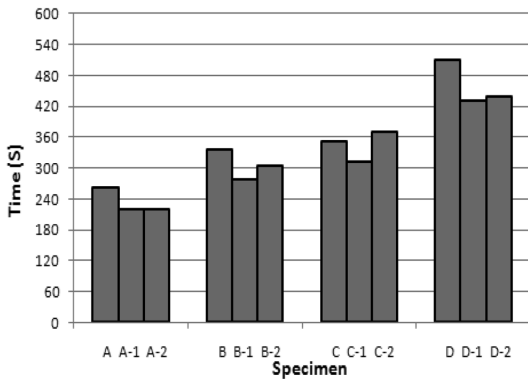
실험 결과에서 보여지 듯 함침시간이 길어질수록 착화시간이 늦어져 방염효과와 그에 따른 화재 지연효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

다음 Figure 8은 방염처리 한 시료를 6시간, 12시간 씩 침수시킨 후에 Cone heater 실험을 한 결과이다. 그래프(a)에서 보이는 바와 같이 25kW/m²에서는 침수시킨 시료의 방염성능이 조금씩 감소하는 경향을 보이고 있었으나 방염처리 하지 않은 볏짚의 착화시간과 비교하였을 때 방염성능을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 방염처리하지 않은 볏짚의 경우 25kW/m²에서 48초 만에 적열 착화가 일어났으나 12시간 침수시킨 시료에서는 3분 56초 만에 적열 착화가 일어났다. 30kW/m²의 경우 그래프 (b)에서와 같이 조금씩 착화지연시간이 감소하는 경향을 보이고는 있으나 방염성능은 유지되고 있는 것을 확인 할 수 있다.

방염의 효과에 대한 기존 연구 문헌들을 살펴보면 통상적으로 복사열 유속 30kW/m² 이상에서는 착화지연효과가 현저하게 감소해 방염효과가 없어지는 것으로 알려져 있지만 볏짚의 경우에는 30kW/m²에서도 방염처리하지 않은 일반 볏짚과 비교하였을 때 방염성능



(a) Glowing ignition at 25 kW/m²



(b) Glowing ignition at 30 kW/m²

Figure 8. Time to glowing ignition of specimen (flooded specimen).

을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

초가와 와가로 구성된 민속마을의 주요 가연물인 목재와 볏짚에 방염처리를 하여 45도 연소시험과 Cone heater 실험을 통해 방염효과에 대해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 미송에 붓칠, 상압합침법, 진공가압법을 사용하여 방염처리 후 45도 연소실험을 통하여 탄화면적을 비교 분석한 결과 진공가압법을 사용한 시료의 방염성능이 우수한 것으로 나타났으며 Cone heater 실험을 통해 시료의 착화지연효과를 분석한 결과에서도 진공가압법을 사용하여 방염처리한 시료의 착화지연효과가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

2. 초가 건축물의 주요 가연물인 볏짚에 방염처리를

한 후 복사열 변화에 따른 Cone heater 실험결과 방염 처리 한 볏짚은 방염처리하지 않은 볏짚에 비해 우수한 방염효과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

3. 침수에 따른 방염성능의 변화를 확인하기 위하여 6시간, 12시간씩 볏짚을 침수시킨 후 건조시켜 실험한 결과 착화지연효과가 조금씩 감소하기는 하였으나 방염성능은 유지 되는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 문헌 상 목재 및 합판의 경우는 30kW/m² 이상의 복사열에서는 방염효과를 기대할 수 없는 것으로 나타났으나 볏짚의 경우에는 본 연구에서 30kW/m²의 복사열에서도 방염성능을 유지하는 것으로 나타났다.

초가와 와가로 구성되어진 민속마을의 경우 가옥들이 밀집되어 있기 때문에 화재가 발생하면 대형화재로 번질 우려가 매우 크다. 따라서 화재를 사전에 방지할 수 있는 대책이 절실히 필요하다.

가연물에 방염처리를 하는 것이 절대적으로 화재를 방지할 수 있는 대책은 아니지만 실험 결과 방염처리하지 않은 가연물보다 우수한 착화지연효과를 얻을 수 있기 때문에 화재를 예방하는 주요한 방법이 될 수 있을 것으로 판단되며 특히 화재 위험성이 높은 초가건축물의 방화대책의 일환으로 볏짚에 방염처리를 하는 것을 고려할 수 있게 되었다.

감사의 글

본 논문은 호서대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이재원, “문화재 방재대책에 관한 연구”, 호서대학교 대학원 석사학위논문(2007).
2. 문화재청, “중요 목조 문화재 방염제 도포실적통계자료”(2009).
3. 한국소방산업기술연구원, “방염성능의 기준 및 시험세척”, KOFES 1001.
4. 김황진, “방염도료의 방염성능에 관한 연구”, 호서대학교 대학원 석사학위논문(2008).
5. 한국화재소방학회, “방염업무개선을 위한 연구”, 연구보고서(2008).
6. Richard Horrocks, Dennis Price, “Fire Retardant Materials”, CRC Press(2001).
7. Quintere, “Principle of Fire Behavior”, Delmar (2003).
8. 박형주, 김홍, 오규형, “난연처리된 Douglas Fir의 탄화특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.19, No.2, pp.105-110(2005).