

붕사, 붕산 및 인산암모늄을 가압 함침한 편백 루버의 연소특성

박형주

호원대학교 소방안전관리학과

Combustion Characteristics of Hinoki Cypress Louver after Pressure Impregnation with Boric Acid, Borax and Ammonium Phosphate

Hyung-Ju Park

Dept. of Firefighting & Safety Management, Howon University

(Received June 16, 2015; Revised September 23, 2015; Accepted November 18, 2015)

요 약

본 논문은 편백 루버에 붕산, 붕사 및 인산암모늄 수용액을 가압함침 후 외부 복사열원(25, 30 및 50 kW/m²)에 따른 착화시간, 임계 열유속 및 질량감소속도 등의 연소특성을 측정하였다. 실험에 사용된 시료의 크기는 100 × 100 × 10 mm이며, 각 외부 복사열원에서 5분간 변화를 3회 반복 측정하였다. 연구결과, 25 kW/m²의 외부 복사열원에 있어서 착화시간은 Type C-H를 제외하고는 17.4~21.3%의 지연효과를 나타낸 반면 35 및 50 kW/m²에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었으며, 평균질량감소속도는 Type A-H와 Type D-H에서 Type N-H보다 낮게 측정되었다. 또한, 외부 복사열원에 따른 착화시간으로부터 임계 열유속은 14.79~17.17 kW/m²로 10.7 kW/m²인 Type N-H보다 38.22~60.46% 높게 예측됨에 따라 초기 화재시 화재확대에 대한 지연효과가 있을 것으로 예상된다.

ABSTRACT

In this study, the combustion characteristics of Hinoki Cypress Louver were measured after performing pressure impregnation with aqueous solution of boric acid, borax, and ammonium phosphate. The characteristics measured include ignition time, critical heat flux, and mass loss rate by incident heat flux (25, 30 and 50 kW/m²). The samples used for the test were 100 × 100 × 10 mm, and the 5 min variation for each incident heat flux was measured 3 times. The results show that the ignition time for incident heat flux of 25 kW/m² showed a delay effect of 17.4 to 21.3% except for Type C-H. There was no significant difference at 35 and 50 kW/m² in the average mass loss rate in Types A-H and D-H, which had lower rates than Type N-H, which was predicted to be higher than that of Type N-H (10.7 kW/m²) by 38.22 to 60.46%. It is thus expected that at the time of initial primary fire, there would be a delay effect against fire spread.

Keywords : Boric acid, Borax, Ammonium phosphate, Pressure impregnation, Combustion characteristics

1. 서 론

목재는 물리·화학적 특성이 우수하기 때문에 일반 가정주택에서부터 주거용 중형 건축물에 이르기까지 건축물의 내·외장재로 널리 사용되고 있다. 그러나 목재는 다른 건축 재료들에 비해 화재시 열과 고온의 공기에 노출되었을 때 연소되기 쉬움으로써 화재안전적 측면에서 많은 취약성을 가지고 있으며, 목조 건축물의 경우 화재시 붕괴 및 도괴 등의 위험성을 항상 내포하고 있다. 따라서 이와 같은 목재의 단점을 보완하기 위해 다양한 난연처리 방법들이 연구되어 왔다⁽¹⁾. 목재의 난연처리는 가압주입, 침지 방법 등을 이용하며, 사용되는 약제는 붕소화합물계, 인화

합물계, 질소화합물계 등이 주로 사용되고 있다⁽²⁻⁸⁾. 이들 난연제들은 가격이 저렴하여 경제적이며, 취급하기가 쉽고 저독성이며 환경적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있다. 또한 물에 용해시켜 사용하기 때문에 다양한 처리방법으로 사용할 수 있다⁽²⁾.

박형주 등은 수용성 난연제로 처리한 소나무와 잣나무에 대한 외부복사열원의 변화에 따른 탄화분율, 연소속도, 탄화속도와 탄화깊이를 시험하고 연소속도 등의 연소특성을 비교 연구하였다⁽⁹⁾. 최정민 등은 체적밀도의 차이에 기인한 소나무와 잣나무의 연소특성의 차이를 확인하기 위해 난연처리하지 않은 소나무와 잣나무의 열방출을 시험을 통해 착화시간, 총발열량, 평균질량감소율 및 총산소소

Table 1. Composition of Water-soluble Flame Retardants

Type		Boric acid	Borax	Ammonium phosphate	Water
N-FRW	N-H	-	-	-	30.0 kg
FRW	A-H	0.90 kg	-	-	30.0 kg
	B-H	-	1.05 kg	-	30.0 kg
	C-H	-	-	1.05 kg	30.0 kg
	D-H	0.30 kg	0.35 kg	0.35 kg	30.0 kg

요량 등을 측정하였다⁽¹⁰⁾. 또한, 박형주는 물유리와 이산화탄소로 가압함침 한 가문비나무의 연소특성을 측정하여 Pre-Flashover 단계에서의 복사열원에서 난연성능이 있음을 확인하였다⁽¹¹⁾.

본 연구에서는 붕사, 붕산 및 인산암모늄 수용액을 건축물의 내장재로 주로 사용되고 있는 편백 루버에 가압 함침 후 Mass loss calorimeter를 이용하여 외부 복사열원에 따라 점화시간, 질량감소속도, 임계열유속 등을 측정하고 난연목재로서의 초기 화재시 화재확대 방지에 효과가 있는지를 확인하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시료

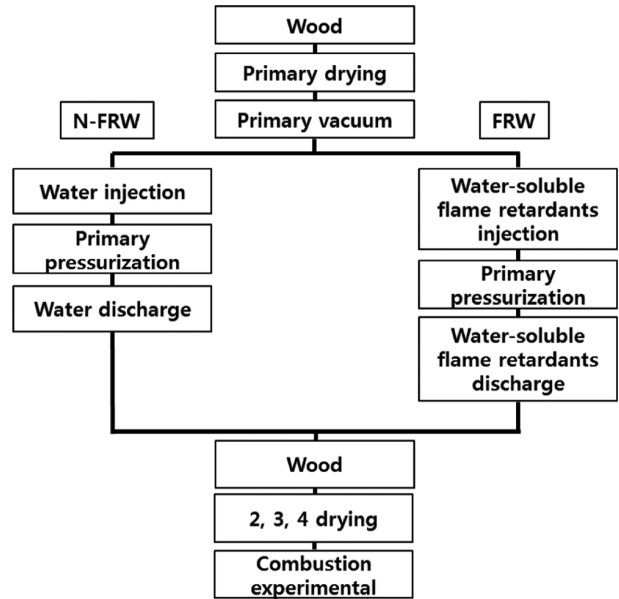
본 연구에서 사용된 실험재료는 상록침엽교목으로 연질 목재인 편백나무 루버를 100 × 100 × 10 mm의 크기로 절단 후 사용하였으며, 가압함침 약제는 SAMCHUN PURE CHEMICAL Co., Ltd. (Republic of Korea)의 Boric acid (H₃BO₃), Borax (Na₂B₄O₇ · 10H₂O), Ammonium phosphate (NH₄H₂PO₄)을 별도의 정제과정 없이 Table 1과 같이 혼합한 수용액을 사용하였다.

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치는 점화시간, 질량감소속도를 측정할 수 있는 ISO 13927 Mass loss calorimeter (FESTEC Co., Ltd., Republic of Korea)와 압력범위 -0.1~1.5 Mpa, 온도범위 Max. 100 °C를 만족하는 F340 mm × 412 mm

Table 2. Conditions for Experimental Procedure

Steps of experimental procedure	Conditions
Wood samples	100 × 100 × 10 mm
Primary, Secondary, Quartic drying	25 °C, 24 hr
Primary vacuum	5 × 10 ⁻⁴ torr, 1 hr
Water-soluble flame retardants	Water, Table 1 (A, B, C, D)
Primary pressurization	Nitrogen, 0.98 Mpa, 24 hr
Tertiary drying	55 °C, 168 hr
Combustion experimental	Heat flux: 25, 35 and 50 kW/m ²

**Figure 1.** Experimental procedure.

(H) 크기의 가압함침챔버를 사용하였다. 편백 루버에 대한 가압은 Vacuum pump를 이용하였으며, 약제의 가압함침은 질소가스(0.98 Mpa)를 이용하였다.

2.1항의 실험재료를 이용한 난연목재의 제조과정과 연소 특성 실험은 Figure 1의 절차에 따라 실시하였으며, 각 단계별 온도, 압력, 시간 조건은 Table 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 무게 변화(Variation of weight)

2.2의 실험방법에 의한 가압함침 전후의 무게 변화는 Table 3에 나타내었다. 가압함침 전후의 무게 변화는 Type C-H, Type D-H, Type B-H, Type A-H의 순으로 높게 나타났다.

3.2 점화시간(Ignition time)

2.2의 실험방법에 의해 제조된 편백 루버를 Mass loss calorimeter를 이용하여 외부복사열원에서 5분간 노출시켰

을 때의 점화시간은 Table 4와 Figure 2에 나타내었다. 외부복사열원은 목재의 착화에 필요한 복사열원인 16 kW/

Table 3. Variation of Weight in Before and After Impregnation

Specimen	Impregnation		Variation [g (%)]
	Before [g]	After [g]	
Type A-H	121.3	125.5	4.26 (3.56)
Type B-H	114.8	120.5	5.72 (5.00)
Type C-H	120.2	128.1	7.90 (6.64)
Type D-H	126.1	131.9	5.76 (4.60)

Table 4. Ignition Time and 1/sqrt(t_{ig}) of Hinoki Cypress

Specimen	Heat flux [kW/m ²]	Ignition time [sec]	1/sqrt(t_{ig})
Type N-H	25	203.98	0.0700
	35	34.95	0.1692
	50	19.63	0.2240
Type A-H	25	239.40	0.0646
	35	56.92	0.1325
	50	15.01	0.2581
Type B-H	25	247.51	0.0636
	35	43.80	0.1511
	50	14.99	0.2583
Type C-H	25	140.73	0.0843
	35	22.48	0.2109
	50	8.82	0.3368
Type D-H	25	241.14	0.0644
	35	32.60	0.1751
	50	15.10	0.2574

m²에서 난연성 평가의 기준 복사열원인 50 kW/m²의 범위 내에서 25, 35 및 50 kW/m²으로 선정하여 실험에 적용하였다. 점화시간은 각 외부 복사열원의 단계에서 점화 스퀘어 크에 의해 시료의 표면에 유염착화가 발생할 때까지의 시간으로 3회의 측정 결과에 대한 평균값을 사용하였다. Table 4에서 알 수 있듯이 25 kW/m²의 외부 복사열원에 있어서는 착화시간은 Type C-H를 제외하고는 모두 Type N-H 보다 Type A-H 17.4%, Type B-H 21.3%, Type D-H 18.2%의 지연효과를 나타낸 반면 35 및 50 kW/m²에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

3.3 임계열유속(Critical heat flux)

Figure 2는 외부복사열원의 변화와 측정된 점화시간과의 관계를 타나낸 그래프로 점화시간은 외부 복사열원이 임계열유속에 가까워질수록 무한대로 접근하고, 외부 복사열원이 임계열유속보다 무한이 커질 경우 0으로 접근함을 알 수 있다.

임계열유속은 외부 복사열원에 노출된 시료가 유염착화 하는데 필요한 최소의 복사열을 의미하며, 착화될 때의 가장 낮은 복사열과 착화되지 않는 가장 높은 복사열에 따른 점화시간의 그래프에서 직선의 절편으로부터 예측할 수도 있다. 결국, 본 연구에서는 임계열유속을 식(1)로부터 유도된 식(4)와 점화시간으로부터 예측하였다⁽¹⁾.

Figure 3은 모든 외부복사열원을 통한 직선의 회귀선을 갖는 시료들에 대한 외부복사열원의 변화에 따른 1/ t_{ig} 을 나타낸 것으로 각 직선의 절편 즉, 직선과 x축이 만나는 점이 각 시료에 있어서의 임계열유속이 된다. 식(4)와 Figure 3로부터 예측된 임계열유속은 Table 5에 나타내었다.

$$t_{ig} = \frac{4}{3} \kappa \rho c \left[\frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] \frac{(T_{ig} - T_0)^2}{[\dot{q}''(t_{ig})]^2} \tag{1}$$

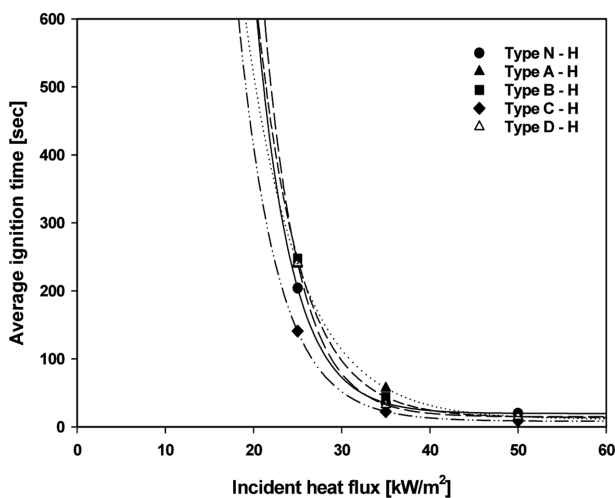


Figure 2. Average ignition time vs. incident heat flux for Hinoki Cypress.

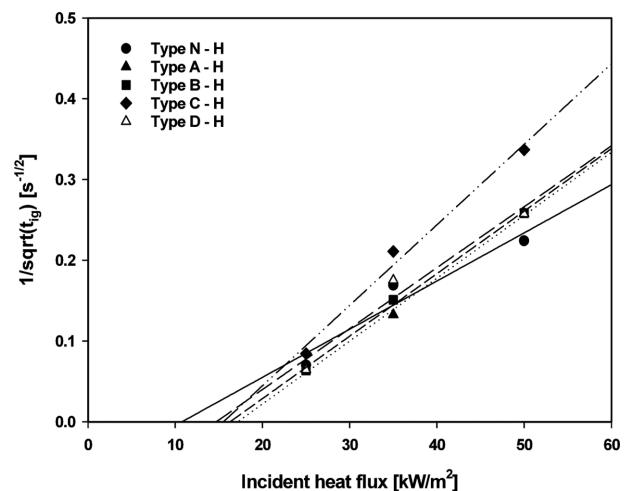
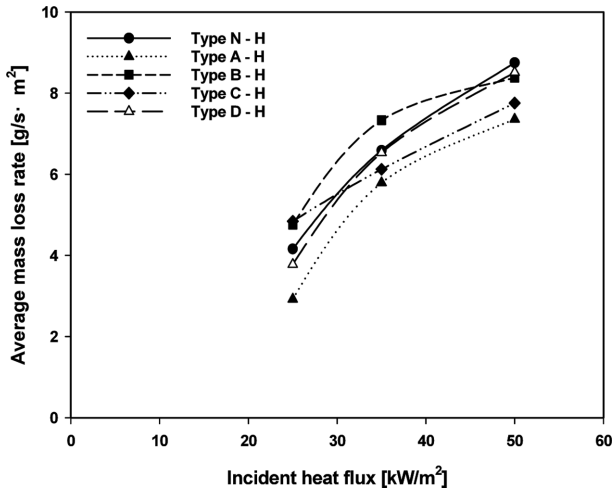


Figure 3. Linear regression analysis of ignition time according to incident heat flux.

Table 5. Critical Heat Flux of Hinoki Cypress

Specimen	Critical heat flux [kW/m ²]	Equation	R	Rsqr
Type N-H	10.70	$Y = 0.0060x - 0.0642$	0.9612	0.9239
Type A-H	17.17	$Y = 0.0078x - 0.1339$	0.9985	0.9969
Type B-H	16.36	$Y = 0.0077x - 0.1260$	0.9984	0.9968
Type C-H	15.47	$Y = 0.0100x - 0.1547$	0.9932	0.9865
Type D-H	14.79	$Y = 0.0075x - 0.1109$	0.9801	0.9605

**Figure 4.** Average mass loss rate vs. incident heat flux for Hinoki Cypress.

$$\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}} = (\dot{q}_i'' - \dot{q}_{cr}'') \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3}\kappa\rho c} \left[\frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] (T_{ig} - T_0)} \quad (2)$$

$$\text{slop} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3}\kappa\rho c} \left[\frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] (T_{ig} - T_0)} \quad (3)$$

$$\text{Intercept} = - \text{slop}(\dot{q}_{cr}'') \quad (4)$$

여기서,

t_{ig} : Ignition time [s]

κ : Thermal conductivity [W/mK]

ρ : Density [kg/m³]

c : Specific heat [J/kg · °C]

β : Ratio of convective grain and radiative loss with incident heat flux [-]

\dot{q}_i'' : Incident heat flux [W/m²]

\dot{q}_{cr}'' : Critical heat flux [W/m²]

T_{ig} : Ignition temperature [°C]

T_0 : Ambient temperature [°C]

3.4 질량감소속도(Mass loss rate)

ISO 13927 mass loss calorimeter를 이용하여 25, 35 및

Table 6. Average Mass Loss Rate and Rate of Weight Change for Hinoki Cypress

Specimen	Heat flux [kW/m ²]	Average mass loss rate [g/s · m ²]	Rate of weight change [%]
Type N-H	25	4.16	32.27
	35	6.59	51.93
	50	8.75	68.34
Type A-H	25	2.92	20.88
	35	5.79	42.10
	50	7.36	52.81
Type B-H	25	4.76	34.76
	35	7.33	55.25
	50	8.38	63.59
Type C-H	25	4.84	31.48
	35	6.12	43.95
	50	7.76	57.82
Type D-H	25	3.78	27.41
	35	6.53	45.04
	50	8.51	57.08

50 kW/m²의 외부 복사열원에서 300초 동안 노출시켰을 때 실험 전후의 무게변화 측정을 통해 평균질량감소속도를 계산하였다. Figure 4와 Table 6은 외부 복사열원에 따른 편백 루버의 평균질량감소속도를 나타낸 것으로 Type A-H와 Type D-H에서 Type N-H보다 낮은 질량감소속도를, Type B-H와 Type C-H는 외부 복사열원의 변화에 따라 증가하거나 감소함을 알 수 있었다.

4. 결 론

붕산, 붕사 및 인산암모늄 수용액으로 가압함침한 편백 루버에 대한 점화시간, 임계열유속 및 질량감소속도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 25 kW/m²의 외부 복사열원에 있어서 착화시간은 Type C-H를 제외하고는 모두 Type N-H 보다 17.4~21.3%의 지연효과를 나타낸 반면 35 및 50 kW/m²에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

2) 외부복사열원에 따른 편백 루버의 평균질량감소속도

를 측정 한 결과 Type A-H와 Type D-H에서 Type N-H 보다 낮은 질량감소속도를, Type B-H와 Type C-H는 외부복사열원의 변화에 따라 증가하거나 감소함을 알 수 있었다.

3) 외부복사열원에 따른 착화시간으로부터 임계열유속은 14.79~17.17 kW/m²로 10.7 kW/m²인 Type N-H보다 38.22~60.46% 정도 높게 예측되었다.

4) 본 실험결과, 붕산, 붕사 수용액으로 가압함침한 Type A-H와 Type B-H의 경우에 상대적으로 낮은 외부복사열원에서 비처리된 편백 루버인 Type N-H보다 점화시간 및 예측된 임계열유속 등에서 난연성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 가압함침한 모든 시료들에서 예측된 임계열유속이 비처리된 시료보다 높게 나타남에 따라 초기화재시 화재확대에 대한 지연효과가 있을 것으로 예상된다.

5) 향후 실내 내장재로 널리 사용되고 있는 루버에 대해 각 수용액별로 화재확대 지연 효과 등 연소특성에 있어 가장 효과가 좋은 배합비율을 선정하는데 필요한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단됩니다.

후 기

본 연구는 2015년도 호원대학교 교내학술연구비지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 관계제위에 감사드립니다.

References

1. H. J. Park and S. M. Lee, "Combustion Characteristics of Spruce Wood by Pressure Impregnation with Waterglass and Carbon Dioxide", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 26, No. 44, pp. 18-23 (2012).
2. H. J. Park, K. H. Oh, E. S. Kim and H. Kim, "A Study on Char Characteristics of Fire Retardant Treated Douglas Fir", J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 19, No. 2, pp. 105-110 (2005).
3. H. J. Park, M. Wen, S. H. Cheon, J. W. Hwang, and S. W. Oh, "Flame Retardant Performance of Wood Treated with Flame Retardant Chemicals", J. of the Korean Wood Science and Technology, Vol. 40, No. 5, pp. 311-318 (2012).
4. D. W. Son, M. R. Kang, J. I. Kim and S. B. Park, "Fire Performance of the Wood Treated with Inorganic Fire Retardants", J. of the Korean Wood Science and Technology, Vol. 40, No. 5, pp. 335-342 (2012).
5. J. Z. Xu, M. Gao, H. Z. Guo, X. I. Liu, Z. Li, H. Wang and C. M. Tian, "Study on the Thermal Degradation of Celluloseic Fiber Treated with Flame Retardants", J. Fire Sciences, Vol. 20, pp. 227-235 (2002).
6. O. Grexa and H. Lubke, "Flammability Parameters of Wood Tested on a Cone Calorimeter", Polymer Degradation and Stability, Vol. 74, pp. 427-432 (2001).
7. B. Garba, "Effects of Zinc Borate as Flame Retardant Formulation on Some Tropical Woods", Polymer Degradation and Stability, Vol. 64, pp. 517-522 (1999).
8. D. S. Baker, "Wood in Fire, Flame Spread and Flame Retardant Treatments", Chemistry and Industry, Vol. 18, pp. 485-490 (1981).
9. H. J. Park, "A Study on the Burning Rate of Fire Retardant Treated Wood", J. of the KOSOS, Vol. 22, No. 6, pp. 46-54 (2007).
10. J. M. Choi, "A Study on Combustion Characteristics of Fire Retardant Treated Pinus Densiflora and Pinus Koraiensis", J. of the Korean Wood Science and Technology, Vol. 39, No. 3, pp. 244-251 (2011).