

## 난연처리된 육송과 잣나무의 연소특성 평가연구

최정민

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원

### A Study on Combustion Characteristics of Fire Retardant Treated Pinus Densiflora and Pinus Koraiensis

Choi, Jung Min

Fire Insurers Laboratories of Korea

#### 요 약

본 연구에서는 육송과 잣나무에 대한 연소특성을 비교 연구하였다. 두 수종은 한옥의 부재로 널리 사용되고 있으며, 그 체적밀도는 육송이 잣나무에 비하여 상대적으로 큰 값을 가지고 있다. 목재의 연소특성은 해당 수종의 체적밀도와 밀접한 관계를 갖고 있는데 본 연구에서 방염성능에 있어서는 뚜렷한 차이를 확인하기는 어려웠지만 콘칼로리미터 시험방법에 있어서는 총 방출열량, 평균 열방출률, 평균 질량손실률, 총 산소 소요량 비교를 통하여 목재 수종의 체적밀도의 상관성을 확인하였다.

#### 1. 서 론

목재는 그 심미적인 아름다움과 뛰어난 기계적 강도 등의 이유로 오래동안 건축재료로 사용되어져 왔다. 최근 우리의 우수한 전통문화에 대한 관심과, 친환경성이 사회적 이슈로 떠오르면서 주거공간으로서의 한옥이 각광받고 있으며 각 지자체가 주관하여 한옥 마을의 조성에 앞장서고 있다. 그러나 목재는 일반적으로 셀룰로오스 43%, 헤미셀룰로오스 28~35%, 리그닌 22~29%로 이루어진 유기물질로<sup>1)</sup>, 화재에 매우 취약한 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 한옥 부재로 널리 쓰이고 있는 육송(Pinus Densiflora)과, 그 연한 붉은 색의 아름다움으로 창호의 재료로 종종 쓰이는 잣나무(Pinus Koraiensis)에 대하여 목재용 수용성 난연제를 함침시켜 난연처리한 후, 각 시험체의 연소특성을 평가하였다.

#### 2. 재료 및 방법

재료의 연소 특성은 여러 가지 방법으로 평가할 수 있다. 불꽃에 의한 저항성을 알아보기 위한 45° 방염성능 시험방법, 재료가 화재의 상황에서 일정한 복사열을 받았을 때의 연소 거동과 질량손실 등을 평가할 수 있는 콘칼로리미터를 이용한 열방출률 시험방법,

발생하는 연소가스의 유해성을 알아보는 가스유해성 시험방법이 그것이다. 또한 현재 육상용 건축물 내장재에서는 의무화되어 있지 않으나 선박용 내장재의 유해성 평가기준인 IMO FTP code part 2의 연기밀도 및 독성 시험방법 또한 재료의 화재안전성을 평가하는 주요한 방법 중의 하나이다. 본 연구에서는 이들 시험방법 중, 45° 방염성능 시험방법과 열방출률 시험방법을 이용하여 육송과 잣나무의 연소특성을 비교 분석하였다.

## 2.1 공시재료

적용할 열방출률 시험방법과 연기밀도 및 독성 시험방법에 적합한 크기의 육송과 잣나무를 각 3개씩 준비한 후 항온조 내에서 45 °C의 조건으로 건조하였으며, 함수율 측정을 통해 약 8.0 % 이하의 함수율이 얻어질 때까지 지속하였다. 건조된 시험체들은 목재용 수용성 난연제에 72 h 동안 함침시켰으며, 함침 후에는 모두 55 °C의 건조기에서 168 h 동안 건조하여 시험에 사용하였으며, 난연처리한 시험체와의 비교를 위해 난연 미처리 시험체에 대하여는 난연 약제 대신 증류수를 이용하여 동일한 방법으로 처리하였다. 각 시험에 대한 시험체의 크기 및 약제 처리 후의 겉보기 밀도 평균은 표 1과 같다. 처리 후 목재는 후각 확인 결과 냄새는 없었으나 목재 표면의 색은 옅은 황색을 띠었다. 사용한 난연 약제의 조성은 Ammophos 20%, Alkylphosphinic acids 15%, Carbide 5%, Phosphoric acids 3%, 기타 Functional additives 0.3% 로 이루어져 있다.

표 1. 시험체의 크기와 체적밀도

시험 항목	육송(Pinus Densiflora)		잣나무(Pinus Koraiensis)	
	Dimension (mm)	density (kg/m <sup>3</sup> )	Dimension (mm)	density (kg/m <sup>3</sup> )
방염성능 시험	189×291×13	510.9	189×291×13	511.7
열방출률 시험	98×101×50	542.1	98×101×50	483.6

## 2.2 45° 방염성능 시험방법

목재의 방염성능시험은 소방기본법 제12조 시행령 제20조, “방염대상물품 및 방염성능 기준(2005)에서 정한 합판의 방염성능시험 방법을 적용하였다.”<sup>2)</sup> 사용한 시험편의 크기는 190 mm × 290 mm 의 규격과는 약 ± 1 mm의 오차가 있었으며, 시험 조건은 상대습도 48 %, 주변온도 20 °C 조건을 유지하였다. 버어너는 맥켈버너어를 사용하고 불꽃의 길이를 65 mm 로 조정하였다. 불꽃의 선단이 시험체 중앙 하단에 접하도록 버어너를 설치하고 2 min 간 접연을 유지한 후 종료하였다. 시험체의 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하였다.

## 2.3 열방출률 시험방법

열방출률 시험의 시험조건은 KS F ISO 5660-1에 의하여 실시하였다.<sup>3)</sup> 대부분의 유기 재료가 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출되는 산소소비 원리를 바탕으로 하고 있다.<sup>5)</sup> 열방출률은 선정된 실험체를 콘칼로리미터 시험기를 이용하여 콘히터의 복사열을 (50+1) kW/m<sup>2</sup>, 배출유량을 (0.024+0.002) m<sup>3</sup>/s 로 설정하고 유지시켰으며, 복사열에 노출된 시험체가 착화되어 연소될 때의 열방출률은 연소 생성물 가스가 덕트를

통과하면서 측정된 산소의 농도와 유속으로부터 유도된 산소 소비량을 측정하여 계산되었다. 시험체와 시험체 홀더를 질량측정 장치 위에 놓고 복사열 차단 장치를 제거하여 시험을 시작, 10분간 가열하여 최대열방출률과 총방출열량 및 착화시간 등을 데이터 수집장치로 자동측정 하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 45° 방염성능 시험방법

시험 결과를 표 2에 나타내었다. 육송의 경우 시험 결과, 증류수로 처리한 시험체에 비하여 난연처리 시험체의 성능이 양호한 것으로 나왔다. 난연 미처리 시험체의 방염성능은 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이 및 탄화면적에서 육송과 잣나무 중 잣나무가 우수한 것으로 나왔다.

표 2. 방염성능시험의 결과

측정 항목	육송(Pinus Densiflora)		잣나무(Pinus Koraiensis)	
	Water-treated	Fire retardant treated	Water-treated	Fire retardant treated
Aafterflame(s)	7.2	0	4.3	0
Afterglow(s)	11.4	0	1.0	0
Charred length(cm)	15.7	10.5	13.4	11.0
Charred area(cm <sup>2</sup> )	88.7	47.5	83.25	43.28

#### 3.2 열방출률 시험

콘칼로리미터에 의한 열방출률시험의 주요 시험결과를 Table. 3에 나타내었다. 최대 열방출률(heat release rate, HRR)은 육송과 잣나무 각각 난연 처리를 통해서 30%, 25%가 감소하는 효과를 나타냈다. 10분간 총방출열량(Total heat release, THR) 및 평균 열방출률(Mean heat release rate, MHRR)도 평균 83%가 감소하는 경향을 보였다. 난연 미처리된 육송과 잣나무의 최대 열방출률은 각각 184.73 kW/m<sup>2</sup>과 182.67 kW/m<sup>2</sup>로, 육송이 근소한 차이로 높게 나타났으나, 뚜렷한 연소특성 상의 차이를 확인하기는 어려웠다. 총 방출열량은 육송이 잣나무에 비하여 크게 나타났으며, 이는 체적밀도의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.<sup>4)</sup> 착화까지의 시간(Time to ignition, TII)은 난연 미처리과 난연 처리 시험체 순으로 육송의 경우 11 s와 18 s, 잣나무의 경우 9 s와 15 s가 나와 난연 처리에 의한 착화 지연 결과를 확인할 수 있었다. 착화시간은 다음 식에 의해 계산될 수 있는데, 다른 변수를 제외하고 생각하면 체적밀도( $\rho$ )에 비례한다.<sup>5)</sup> 본 연구에서 평가한 육송의 체적밀도(542.1 kg/m<sup>3</sup>)가 잣나무의 체적밀도(483.6 kg/m<sup>3</sup>)보다 크므로 이러한 결과가 설명된다.

$$t_{ig} = C(k\rho c) \left[ \frac{T_{ig} - T_s}{q''} \right]^2$$

여기서,  $t_{ig}(s)$  : 착화시간,  $C$  : 상수,  $k(kW/m^{\circ}C)$  : 열전도도,  $\rho(kg/m^3)$  : 연료의 밀도,  $c(kJ/kg^{\circ}C)$  : 연료의 비열,  $T_{ig}(^{\circ}C)$  : 착화온도,  $q''(kW/m^2)$  : 열유속,  $T_s(^{\circ}C)$  : 불꽃으로부터 직접 영향이 미치지 않는 불꽃 앞쪽 연료의 온도이다.

연소의 속도를 비교해볼 수 있는 결과는 총 산소 소요량(Total oxygen consumed)과 평균 질량손실률(Average specific mass loss rate)이다. 육송과 잣나무 모두 난연 처리에 의해 총 산소 소요량과 평균 질량 손실률이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 난연 처리에 의한 효과로 보인다. 증류수로 처리한 육송의 총 산소 소요량과 평균 질량손실률이 잣나무의 그것보다 크게 나타난 것도 체적밀도에서 기인한 연소특성으로 보인다.

**표 3. 열방출률 시험의 결과**

측정 항목	육송(Pinus Densiflora)		잣나무(Pinus Koraiensis)	
	Water-treated	Fire retardant-treated	Water-treated	Fire retardant-treated
Time to ignition(s)	11	18	9	15
Max. heat release rate(kW/m <sup>2</sup> )	184.73	129.43	182.67	136.93
Total heat release(MJ/m <sup>2</sup> )	51.8	42.9	43.5	35.8
Mean. heat release rate(kW/m <sup>2</sup> )	88.39	73.94	74.98	62.29
Average specific mass loss rate(g/m <sup>2</sup> ·s)	7.78	6.52	7.43	5.00
Total oxygen consumed(g)	35.3	28.5	29.8	24.5

### 3. 결 론

본 연구에서는 육송과 잣나무에 대한 연소특성을 비교 연구하였다. 난연 처리에 의하여 방염성능 및 난연성능이 개선되는 공통적인 결과를 얻었다. 난연 처리하지 않은 육송과 잣나무의 방염성능은 뚜렷한 차이를 알기 어려웠으며, 열방출률 시험으로부터 얻어진 착화시간, 총 방출열량, 평균 질량손실률 및 총 산소 소요량의 지수에서 체적밀도의 차이에서 기인한 육송과 잣나무의 연소 특성의 차이를 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(10첨단도시 B01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. F. Shafizadeh and W.F. DeGroot, "Combustion Characteristics of Cellulosic Fuels" In:Tillman, Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins, Academic Press, New York, U.S.A.(1976)
2. 소방기본법 제12조 시행령 제20조, "방염대상물품 및 방염성능기준(2005)
3. ISO 5660-1, "Reaction-to-Fire Tests Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)"(2002)
4. H.C. Tran and R.H. White, "Burning Rate of Solid Wood Measured in a Heat Release Calorimeter", Fire and materials, Vol.16, pp.197-206(1992)
5. J.G. Quintire, "Principles of Fire Behavior", Chap.5, Cengage Learning, Delmar, U.S.A.(1998)