

# 난연처리된 소나무와 잣나무의 연소특성 연구\*<sup>1</sup>

최 정 민\*<sup>2†</sup>

## A Study on Combustion Characteristics of Fire Retardant Treated Pinus Densiflora and Pinus Koraiensis\*<sup>1</sup>

Jung-Min Choi\*<sup>2†</sup>

### 요 약

본 연구에서는 소나무(Pinus Densiflora)와 잣나무(Pinus Koraensis)에 대한 연소특성을 비교 평가하였다. 두 수종은 한옥의 부재로 널리 사용되고 있으며, 그 체적밀도는 소나무가 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 비교를 통하여 목재 수종의 체적밀도의 상관성을 확인하였다. CO/CO<sub>2</sub>의 비로부터 알 수 있는 연소가스의 유해성은 난연처리에 의해 높아진 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

The combustion characteristics were evaluated for Japanese Red Pine (Pinus Densiflora) and Korean Pine (Pinus Koraensis). These two species are widely used as building member of Korea-style house and volume density of Japanese Red Pine is relatively higher than that of Korean Pine. The combustion characteristics are closely connected with volume density. The differences of two species in both total heat release (THR) and average heat release rate (HRR) seemed to be resulted from the volume density. Toxicity of smoke from the specimens was increased because of fire-retardant treatment.

**Keywords:** heat release rate, incombustibility, Japanese Red Pine, Korean Pine, toxicity, fire-retardant treatment

\*<sup>1</sup> 접수 2011년 4월 4일, 채택 2011년 5월 6일

\*<sup>2</sup> 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원. Fire Insurers Laboratories of Korea, Icheon 469-881, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 최정민(e-mail: jmchoi@kfpa.or.kr)

## 1. 서 론

목재는 그 심미적인 아름다움과 뛰어난 기계적 강도 등의 이유로 오랫동안 건축재료로 사용되어져 왔다. 최근 우리의 우수한 전통문화에 대한 관심과 친환경성, 그리고 전원주택에 대한 수요가 복합되어 주거공간으로서의 한옥이 각광받고 있으며 각 지자체가 주관하여 한옥 마을의 조성에 앞장서고 있다. 그 형태는 기존의 '흙고 불편한' 한옥의 단점을 현대의 건축기술을 접목하여 한옥의 맛을 살리면서도 단점을 개선 보완하는 형태로서 디자인적인 발전과 더불어 창호, 벽체, 지붕 등의 성능을 개선하는 방향으로 진행되고 있다. 동시에 한옥의 주된 재료로 사용되는 목재는 일반적으로 셀룰로오스 43%, 헤미셀룰로오스 28~35%, 리그닌 22~29%로 이루어져 있으며 [1], 이러한 유기물질로 인해 근본적으로 화재에 매우 취약한 특성을 가지고 있다. 화재 발생 시 복사열과 대류열에 의해 가열되면 매우 빠른 속도로 화염이 전파되기 때문에 [2] 일반 소방기구로도 진화가 어려운 상태이다. 더구나 현재 그 수요가 급증하고 있는 주거용 한옥은 어떤 형태를 띠던 간에 생활가전과 조명 등을 위한 전기설비, 난방을 위한 가스·기름보일러 설비, 입식부엌에서의 취사를 위한 설비 등을 갖추고 있어 화재의 위험성이 상존하고 있다고 할 수 있다. 이러한 주거공간의 화재안전성을 높이기 위해서는 여러 가지 화재공학적 방법이 있는데 대표적으로 재료 자체의 난연성을 높이는 방법, 감지기와 같은 화재경보설비를 갖추는 방법 그리고 스프링클러와 같은 화재진압 혹은 억제설비를 갖추는 방법 등이 있으며 이들 방법은 화재의 성장을 지연시켜 탈출가능시간을 늘리거나, 최소한 소방대가 출동할 때까지 화재를 억제하는 각각의 목적에 맞게 적용되고 있다.

일반적으로 화재 시 화재의 성장 단계는 제1성장기 - 제2성장기 - 최성기 - 감쇠기의 과정을 거치며, 이때 주거인이 피난 할 수 있는 시점은 급격한 연소의 확대가 일어나는 플래시오버 이전까지이며, 이 시간은 내장재 등이 준불연재료일 경우 7~8분, 목재와 같은 가연재료일 경우 3~4분에 불과하다고 알려져 있다[3]. 목재를 포함한 일반 가연재료의 방염화

는 초기 화재 발화원에 대한 저항성을 부여하며, 난연화는 제2성장기의 플래시오버 시점을 지연시키는 탁월한 효과를 가지고 있음이 일반적으로 알려져 있다. 목재의 방염화는 착화지연 효과를 가진 약제를 목재에 주입, 도포, 또는 침지 등의 방법을 이용하여 처리하여(J. Z. Xu 등, 2002; Ondrej Grexa 등, 2001), 불꽃에 대한 착화지연성과 착화가 되더라도 스스로 연소가 중단되는 자기연소성을 부여하는 방법이다. 목재의 난연화는 약제를 목재 내부에 더욱 깊숙이 침투시키기 위해 가압챔버를 사용하여 강한 복사열에 노출되었을 때 재료가 갖는 열방출 특성을 저감시키는 방법이다. 본 연구에서는 한옥 부재로 널리 쓰이고 있는 소나무(*Pinus densiflora*)와, 그 연한 붉은 색의 아름다움으로 창호의 재료로 종종 쓰이는 잣나무(*Pinus koraiensis*)에 대하여 여러 처리방법 중 목재용 수용성 난연제를 함침시켜 처리한 후, 각 시험체의 연소특성을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

적용할 방염성능 시험방법과 콘칼로리미터 시험방법에 적합한 크기의 소나무와 잣나무를 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 시험체에 대한 시험체의 크기 및 약제 처리 전의 겉보기 밀도 평균은 Table 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%, 나머지는 물로 이루어져 있다.

Table 1. Dimensions of the specimens and density

Test name	Japanese Red Pine		Korean Pine	
	Dimension (mm)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Dimension (mm)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Incombustibility test	189 × 291 × 13	510.9	189 × 291 × 13	511.7
Cone calorimeter test	98 × 101 × 50	542.1	99 × 100 × 50	483.6

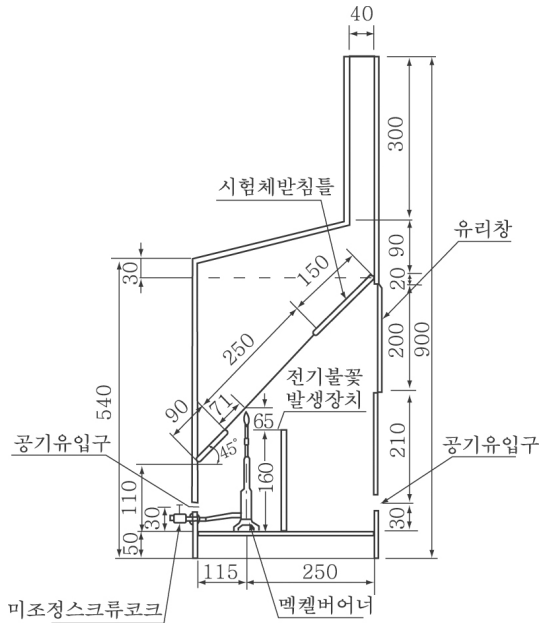


Fig. 1. Schematic apparatus of incombustibility tester.

## 2.2. 시험방법

재료의 연소 특성은 여러 가지 방법으로 평가할 수 있다. 불꽃에 의한 저항성을 알아보기 위한 45° 방염 성능 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 평가

하는 주요한 방법 중의 하나이다. 본 연구에서는 이들 시험방법 중, 45° 방염성능 시험방법과 열방출률 시험방법을 이용하여 소나무와 잣나무의 연소특성을 비교 분석하였다.

## 2.3. 45° 방염성능 시험방법

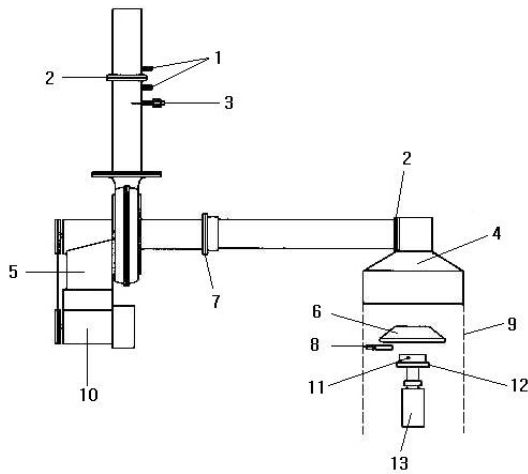
목재의 방염성능시험은 소방기본법 제12조 시행령 제20조, “방염대상물품 및 방염성능기준”(2005)에서 정한 합판의 방염성능시험 방법을 적용하였다[4]. 사용한 시험편의 크기는 190 mm × 290 mm의 규격과는 ± 1 mm의 오차가 있었으며, 시험 조건은 상대습도 48%, 주변온도 20°C 조건을 유지하였다. 버어너는 맥켈버너를 사용하고 불꽃의 길이를 65 mm로 조정하였다. 불꽃의 선단이 시험체 중앙 하단에 접하도록 버어너를 설치하고 2 min간 접염을 유지한 후 종료하였다. 시험체의 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하였다. 시험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

## 2.4. 콘칼로리미터 시험방법

콘칼로리미터 시험의 시험조건은 KS F ISO 5660-1에 의하여 실시하였다[5]. 대부분의 유기재료가 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출되는 산소소비 원리를 바탕으로 하고 있다[6]. 시험 조건은 상대습도 50%, 온도 23°C 조건을 유지하였다. 열방출률은 선정된 실험체를 콘칼로리미터 시험기를 이용하여 콘히터의 복사열을 (50 + 0.5) kW/m<sup>2</sup>, 배출유량을 (0.024 + 0.002) m<sup>3</sup>/s로 설정하고 유지시켰으며, 복사열에 수평 방향으로 노출된 시험체가 착화되어 연소될 때의 열방출률은 연소 생성

Table 2. The result of incombustibility test

Measured item	Requirements	Japanese Red Pine		Korean Pine	
		Water-treated	Fire retardant-treated	Water-treated	Fire retardant-treated
Afterflame (s)	≤ 10	7.2	0	43	0
Afterglow (s)	≤ 30	11.4	0	10	0
Charred length (cm)	≤ 20	15.7	10.5	13.4	11.0
Charred area (cm <sup>2</sup> )	≤ 50	88.7	47.5	83.3	43.3



- 1. 압력포트
- 2. 오리피스관
- 3. 열전대(굴뚝 중앙에 위치)
- 4. 후드
- 5. 송풍기
- 6. 히터
- 7. 가스 샘플링 환형 검침기
- 8. 점화장치
- 9. 추가적인 스크린
- 10. 송풍기 모터
- 11. 고정틀과 시편
- 12. 시편홀더
- 13. 질량측정장치

Fig. 2. Schematic apparatus of cone calorimeter.

물 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, 10 분간 가열하여 최대열방출률과 총방출열량 및 착화 시간 등을 데이터 수집장치로 자동측정 하였다. 이때 산출되는 열방출률의 계산식은 다음 식과 같다.

$$\dot{q}(t) = (\Delta h_c / r_o)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}} \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}}$$

이때  $\dot{q}$  : 열방출속도(열방출량)(kW),  $\Delta h_c$  : 순연소열, kJg-1,  $r_o$  : 양론적 산소/연료 질량비, C : 오리피스 유량계 교정상수,  $m^3 \cdot g^{-1} \cdot k^{-1}$ ,  $\Delta p$  : 오리피스미터 압력차(Pa),  $T_e$  : 오리피스미터 내에서 가스 절대온도(K),  $X_{O_2}^0$  : 산소분석기 눈금의 초기값,  $X_{O_2}$  : 산소분석기 실측값이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 45° 방염성능 시험결과

시험 결과를 Table 2에 나타내었다. 소나무의 경우 시험 결과, 증류수로 처리한 시험체에 비하여 난연처리 시험체의 성능이 양호하고, 소방법에서 정한 방염 성능의 기준도 만족한 것으로 나왔으나, 성능기준 중 탄화면적 항목에 대해서는 기준값인 50 cm<sup>2</sup>에 근접한 결과가 나와 선택한 약제가 우수한 성능을 갖고 있지는 않다고 생각된다. 난연 미처리와 난연처리 시험체 모두 잔염시간, 잔신시간 및 탄화면적에서 소나무와 잣나무 중 잣나무가 우수한 것으로 나왔다. 이는 동일한 방법으로 난연처리 하였으므로 약제에 의한 차이라기 보다는 잣나무와 소나무 두 수종의 목질의 상이함에서 기인한 것이라 판단된다.

#### 3.2. 콘칼로리미터 시험결과

콘칼로리미터에 의한 열방출률시험의 주요 시험결

Table 3. The result of cone calorimeter test

Measured item	Japanese Red Pine		Korean Pine	
	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)	353	285	29.8	24.5
Mean CO yield (kg/kg)	0.0089	0.0186	0.0103	0.0147
Mean CO <sub>2</sub> yield (kg/kg)	1.3897	1.2956	1.3363	1.6547

과를 Table 3에 나타내었다. 평균 열방출률(Mean heat release rate, MHRR)은 소나무와 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 17%가 감소하는 경향을 보였다. 난연 미처리된 소나무와 잣나무의 최대 열방출률은 각각 184.73 kW/m<sup>2</sup>과 182.67 kW/m<sup>2</sup>로, 소나무가 근소한 차이로 높게 나타났으나, 뚜렷한 연소특성 상의 차이를 확인하기는 어려웠다. 총 방출열량은 소나무가 잣나무에 비하여 크게 나타났으며, 이는 체적밀도의 차이에서 기인한 것으로 판단된다[7]. 착화까지의 시간(Time to ignition, TTI)은 난연 미처리와 난연처리 시험체 순으로 소나무의 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 체적 밀도( $\rho$ )에 비례한다[8]. 본 연구에서 평가한 소나무의 체적밀도(542.1 kg/m<sup>3</sup>)가 잣나무의 체적밀도(483.6 kg/m<sup>3</sup>)보다 크므로 이러한 결과가 설명된다.

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

이때,  $t_{ig}$  (s) : 착화시간, C : 상수, k : 열전도도 (kW/m°C),  $\rho$  : 연료의 밀도(kg/m<sup>3</sup>), c : 연료의 비열 (kJ/kg°C),  $T_{ig}$  : 착화온도(°C),  $\dot{q}''$  : 열유속(kW/m<sup>2</sup>),

$T_s$  : 불꽃으로부터 직접 영향이 미치지 않는 불꽃 앞쪽 연료의 온도(°C)이다.

연소의 속도를 비교해볼 수 있는 결과는 총 산소 소요량(Total oxygen consumed)과 평균 질량손실률(Average specific mass loss rate)이다. 소나무와 잣나무 모두 난연 처리에 의해 총 산소 소요량과 평균 질량 손실률이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 난연 처리에 의한 효과로 보인다. 증류수로 처리한 소나무와 난연처리한 소나무 모두 총 산소 소요량과 평균 질량손실률이 증류수로 처리 및 난연처리한 잣나무의 그것보다 크게 나타났다. 실온에서 건조된 리기다 소나무와 밤나무에 대하여 체적 밀도의 차이에서 오는 연소특성의 차이가 실험적으로 연구된바 있는데[9], 상대적으로 체적밀도가 큰 밤나무의 연소 시 총 산소 소요량이 리기다 소나무의 그것보다 크게 나타났다. 이와 유사한 경향이라고 판단된다. 즉, 체적밀도가 상대적으로 큰 소나무의 연소 시 잣나무보다 더 많은 산소가 소요되는 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4에 각각 소나무와 잣나무의 시간에 따른 열방출률을 나타내었다. 가열 초기에 목재 표면에서 착화가 일어난 후 최대열방출률을 나타내는 시간에 이르기까지 열방출률이 가파르게 증가하다가 이후 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 소나무와 잣나무 모두 난연처리에 의해 열방출률의 크기가 감소하였다. Fig. 3의 소나무의 경우 난연 처리에 의해 최대열방출률이 감소하였고 최대열방출률에 도달하는 시간은 증가하였으나, Fig. 4의 잣나

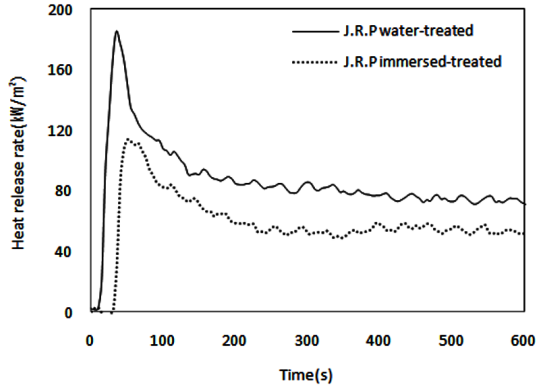


Fig. 3. Heat release rate of Japanese Red Pine.

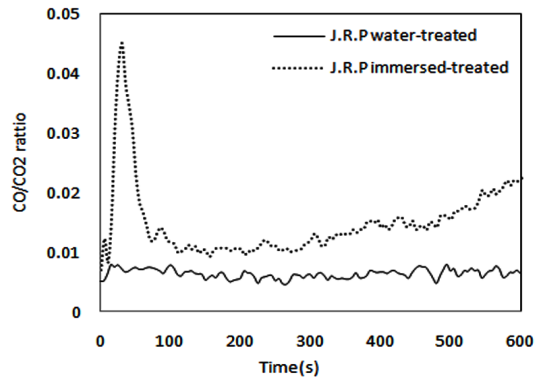


Fig. 5. CO/CO<sub>2</sub> ratio of Japanese Red Pine.

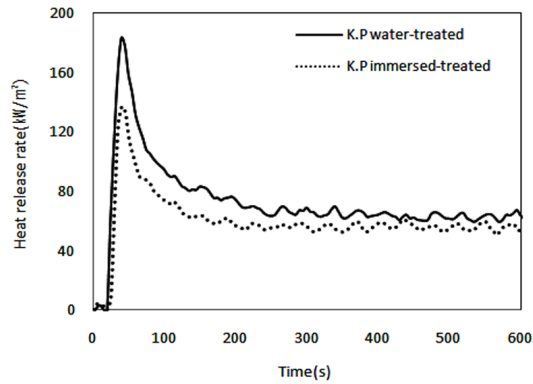


Fig. 4. Heat release rate of Korean Pine.

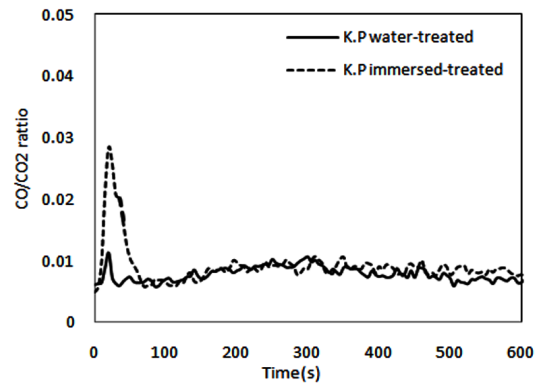


Fig. 6. CO/CO<sub>2</sub> ratio of Korean Pine.

무의 경우에는 난연처리에 의해 최대열방출률은 감소하였으나, 최대열방출률에 도달하는 시간은 동일하였다.

재료의 연소 양상은 CO<sub>2</sub>와 CO 가스의 발생률(g/s)의 추이에서도 확인할 수 있다[10]. Fig. 5는 소나무의 CO/CO<sub>2</sub> 비를, Fig. 6은 잣나무의 CO/CO<sub>2</sub> 비를 나타내었다. 서로 다른 연소 속도를 보이는 소나무와 잣나무에 대하여 상대적인 유해성을 비교하기 위해 동일한 양의 CO<sub>2</sub>가 발생할 때 함께 생성되는 CO의 양을 비교한 인자가 CO/CO<sub>2</sub> 비이다. 소나무와 잣나무 모두 난연처리에 의해 CO/CO<sub>2</sub> 비가 미처리 시 시험체의 그것에 비해 높은 값을 나타내었으며, 복사열 노출 초기에 급격히 증가하는 동일한 경향을 보였다. CO<sub>2</sub>의 발생은 자연스러운 연소 생성물에 해당하며,

CO의 생성은 목재 표면 탄화층에 의해 산소의 접촉이 제한되기 때문에 발생한다고 보여지는데, 소나무의 CO/CO<sub>2</sub> 비는 약 200 s 이후 점진 증가하면서 상대적인 독성이 증가하지만, 잣나무의 경우 연소 초기 증가 이후에는 일정한 수준을 유지한다. CO 가스는 체내에 흡입되어 COHb로 전환되는 헤모글로빈의 양에 직접적인 영향을 준다. 사람의 경우 CO 200 ppm의 환경에 2~3시간 노출되면 가벼운 두통을 일으키지만, 이 농도가 1,600 ppm으로 짊어지면 2시간 안에 죽음에 이를 수 있다고 알려져 있다[11]. 목재의 경우 합성수지류와 같은 고분자물질의 연소에서 발생하는 HCl 등과 같은 유해가스는 거의 발생되지 않기 때문에 목재 연소가스의 독성은 CO<sub>2</sub>를 동반하는 CO의 방출에 의해 결정된다. 복사열에 노출되는 총

10분의 시간 동안 발생한 평균 CO 수율(Mean CO yield, kg/kg)은 난연 미처리 시험체의 경우에는 잣나무가 더 높지만, 난연처리 시험체의 경우에는 소나무가 더 높게 나타나, 난연처리에 의해 CO 가스의 발생 양상이 변화하였다. 난연 미처리 시험체의 경우 잣나무로부터의 CO 수율(0.0103 kg/kg)도 소나무의 그것(0.0089 kg/kg)보다 더 높았으며, CO<sub>2</sub> 수율 대비 CO 수율을 비교해 보아도 잣나무로부터의 연기 유해성이 더 높다고 볼 수 있다. 이는 Fig. 6에서 난연 미처리 잣나무의 CO/CO<sub>2</sub> ratio가 초반에 급격히 증가한 것에서 기인한다. 난연처리 시험체의 경우 소나무로부터의 CO 수율(0.0186 kg/kg)은 잣나무의 그것(0.0147 kg/kg)보다 높았으며 각 CO<sub>2</sub> 수율과 비교해 보아도 소나무의 연기 유해성이 더 높게 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소나무와 잣나무에 대한 연소특성을 비교 연구하였다. 난연 처리에 의하여 방염성능 및 난연성능이 개선되는 공통적인 결과를 얻었다. 난연 처리하지 않은 소나무와 잣나무의 방염성능은 뚜렷한 차이를 알기 어려웠으며, 열방출률 시험으로부터 얻어진 착화시간, 총 방출열량, 평균 질량손실률 및 총 산소 소요량의 지수에서 체적밀도의 차이에서 기인한 소나무와 잣나무의 연소 특성의 차이를 확인하였다. CO/CO<sub>2</sub>의 비로부터 얻은 연기 유해성은 소나무와 잣나무 모두 난연처리에 의해 유해성이 증가하였다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

1. Shafizadeh, F. and W. F. DeGroot. 1976. Combustion Characteristics of Cellulosic Fuels In: Tillman, Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins, Academic Press. New York. U.S.A.

2. Baysal, E., M. Altinok, M. Colak, S. K. Ozaki, and H. Toker. 2007. Fire Resistance of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) Treated with Borates and Natural Extractives. *Bioresour. Technol.* 98: 1101~1105.
3. 하동명. 2004. 건축 내장재의 Flashover 시간 및 열방출량 예측에 관한 연구. 한국화재소방학회 논문지 18(3).
4. 소방기본법 제12조 시행령 제20조, 방염대상물품 및 방염성능기준. 2005.
5. ISO 5660-1. Reaction-to-Fire Tests Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method). 2002.
6. Hirschler, M. 2001. Thermal Decomposition and Chemical Composition. *American Chemical Society Symposium Series 797*: 239~300.
7. Tran, H. C. and R. H. White. 1992. Burning Rate of Solid Wood Measured in a Heat Release Calorimeter. *Fire and materials* 16: 197~206.
8. Quintire, J. G. 1998. Principles of Fire Behavior. Chap. 5 Cengage Learning, Delmar, U.S.A.
9. 정영진, 진의. 2010. 실온에서 건조된 리기다 소나무와 밤나무의 연소특성. 한국화재소방학회 논문지 24(3).
10. Hull, T. R. and K. T. Paul. 2007. Bench-scale Assessment of Combustion Toxicity-A Critical Analysis of Current Protocols. *Fire Safety Journal* 42: 340~365.
11. Pearce, F. M., Y. P. Khanna, and D. Raucher. 1981. Thermal Characterization of Polymeric Materials. Chap. 8, Academic Press. New York. U.S.A.
12. 박형주, 강영구, 김홍. 2005. 난연처리된 목재의 연소특성에 관한 연구. *목재공학* 33(4).
13. 김종인, 박종영, 공영토, 이병후, 김현중, 노정관. 2002. 목재 및 목질재료용 난연성 폴리우레탄수지 도막의 난연성능. *목재공학* 30(2).
14. 이장원, 이봉우, 권성필, 이병호, 김희수, 김현중. 2008. 콘 칼로리미터를 이용한 건축 바닥재의 연소거동과 가스유해성 평가. *목재공학* 36(1).
15. Smulski, S. 오세창 역. 2001. 구조용 공학목재 Chapter 7. 선진문화사.
16. Dinwoodie, J. M. 2000. Timber: Its nature and behavior. Chapter 8, 9. Spon Press.
17. 오규형, 김황진, 이성은. 2009. 방염 처리에 따른 화재 지연 효과 연구. 한국화재소방학회논문지 2(2).
18. 박형주, 오규형, 김응식, 김홍. 2005. 난연처리된

- Douglas Fir의 탄화특성에 관한 연구. 한국화재소방학회논문지 19(2).
19. 신백우, 송영호, 이동호, 정국삼. 2010. 합성목재의 연소 특성에 관한 연구. 한국화재소방학회논문지 24(6).
20. 정영진, 진의. 2010. 실온에서 건조된 리기다 소나무와 밤나무의 연소특성. 24(3).
21. 김인범, 현성호. 2009. 방염도료처리 목재의 방염효과연구. 한국화재소방학회논문지 23(5).