

한국에서 자란 목재(리기다 소나무, 밤나무, 굴참나무, 느티나무)의 연소특성에 관한 연구

시남* · 진 의** · 오정규** · 정영진†

*강원대학교 산업과학대학원 , **강원대학교 소방방재연구센터,

†강원대학교 소방방재공학과

Study on combustion characteristics of the Wood
(*Pinus rigida*, *Castanea sativa*, *Quercus variabilis*
and *Zelkova serrata*) grew up in Korea

Nan Shi* · Eui Jin** · Jung Kyoo Oh** · Yeong-Jin Chung†

*Graduate School of Industry & Science, Kangwon National University

**fire & Disaster prevention Research Center, Kangwon National University

†Department of fire & Disaster Prevention, Kangwon National University

요 약

건자재로서 나무 결합중의 하나는 화재에 대한 취약성이다. 본 연구의 목적은 한국에서 자란 리기다 소나무, 밤나무, 굴참나무, 느티나무의 연소성질을 시험하는 것과 건자재로서의 사용에 대한 바람직한 특성을 알아내는 것이며 연소억제를 위해 실온에서 3종류의 암모늄염 즉, ammonium sulfate, monoammonium phosphate, 그리고 diammonium phosphate를 20 wt% 수용액에 각각 리기다 소나무를 함침시켜 건조시킨 후 재료의 난연성을 시험하였다. 콘칼로리미터(ISO 5660-1)를 이용하였고 분석 결과로는 열방출량을 비롯하여, 가스방출량, 발화점 등을 측정하여 비교분석하였다.

1. 서 론

다양한 목질재료들은 일반적으로 불에 쉽게 타는 단점을 가지고 있다. 이것은 목질재료의 가장 큰 취약점이며, 언제나 화재의 위험성을 내포하고 있다는 것을 말한다. 화재발생시 목질재료의 안전성은 화재조건에 노출되었을 때의 착화성, 열방출율, 화재의 전파 및 연소가스의 유해성 등으로 평가할 수 있다.¹⁾ 특히 화재에 의한 연기관련지수는 화재의 전파 및 연소가스의 유해성에 직접적인 영향을 미치고 있어 정확한 연기지수 측정은 화재안전 측면에서 매우 중요한 요소로 인식되고 있다.

본 연구의 목적은 한 한국에서 자란 리기다 소나무, 밤나무, 굴참나무, 느티나무의 연

소성질을 시험함으로써 건자재로서의 사용에 대한 바람직한 특성을 알아내는 것이며 연소 억제제를 위해 실온에서 3종류의 암모늄염 즉, ammonium sulfate, monoammonium phosphate, 그리고 diammonium phosphate를 20 wt% 수용액으로 만들어 각각 리기다 소나무를 함침 시킨 후 건조시켜 재료의 난연성을 측정하였다. 콘칼로리미터(ISO 5660-1)를 이용하였으며 분석 결과로는 열방출량을 비롯하여, 가스방출량, 착화점 등을 측정하여 비교분석하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 시험편은 경기도 용인 소재 지역 농가에서 직접 얻었다. 이들 시험편은 베어 놓은 후 굴참나무는 2년, 리기다 소나무, 밤나무, 느티나무는 3년 동안 자연 건조 시켰고 난연 처리용 리기다 소나무는 3.5년 자연 건조시킨 것을 사용하였다. 화학적 첨가제로서 ammonium sulfate $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, monoammonium phosphate $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4]$, diammonium phosphate $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ 는 Samchun Pure Chemical Co., LTD에서 extra pure급을 구입하여 정제 없이 그대로 사용하였다.

2.2 암모늄염 처리 방법

제조된 암모늄염 수용액에 시험편을 상온에서 48 h 함침 시킨 후 24 h 동안 상온에서 자연 건조 시켰다. 55 °C에서 23 h 건조 시킨 후 측정 시험편으로 하였다. 난연제의 농도는 20 wt%로 일정하게 조정하였다. 공시험편은 같은 목재를 증류수에 침지시킨 후 위와 같은 방법으로 건조시켜 비교 데이터로 이용하였다.

2.3 함수율 및 함침량 측정

함수율은 일정량의 시료를 105 °C의 건조기에서 장시간 건조시키면서 시료의 중량을 4 h 간격으로 더 이상 중량변화가 없을 때까지 측정하고 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{MC}(\%) = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100$$

Wm: 함수율을 구하고자하는 시험편의 중량
Wd: 건조시킨 후의 절대건조 중량

2.4 콘칼로리미터 시험

연소특성 시험은 ISO 5660-1의 방법에 의해 dual cone calorimeter (Fire Testing Technology)를 이용하여 열유속 50 kW/m² 조건에서 수행 하였다. 사용한 시험편의 크기는 100 mm x 100 mm x 10 mm(±2 mm)의 규격으로 제작하였으며, 시험조건은 습도 50%, 온도 23 °C 조건을 유지하였다.

표 1. 함수율 및 함침량

Samples	Moisture content (%)	Chemical content (g)
Pinus rigida	12.91	-
Castanea sativa	13.11	-
Quercus variabilis	12.14	-
Zelkova serrata	16.34	-
t-AMSF (NH ₄) ₂ SO ₄	-	1.21
t-MAPP(NH ₄)H ₂ PO ₄	-	1.21
t-DAPP(NH ₄) ₂ HPO ₄	-	3.74

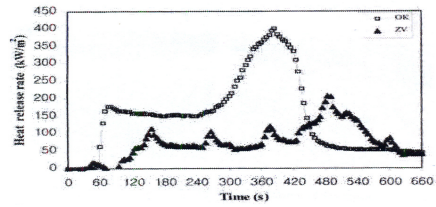


그림 1. 굴참나무와 느티나무의 열방출율

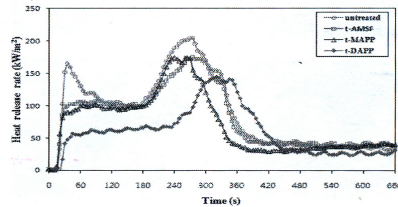


그림 2. 난연 처리된 목재 열방출율

3. 결과 및 고찰

3.1 열방출율

그림 1에서 보여주는 바와 같이 굴참나무와 느티나무의 HRR곡선은 상이한 경향을 보여준다. 또한 표 2에 실험재료 연소시 최대 열방출률 및 평균 열방출률 나타내었다. 느티나무의 평균 열방출률은 13.06 kW/m² 로써 다른 목종의 평균열방출 보다 상당히 낮게 나타났고 HRR_{peak}에 도달된 시간이 느티나무 480 s와 굴참나무 370 s로 나타났다. 이것은 느티나무가 강한 난연성을 가지므로 연소지연 효과를 나타내는 것으로 설명된다.

그림 2 암모늄염 처리 시험편의 HRR 커브는 암모늄염의 종류에 따라 값의 차이는 있지만 처리하지 않은 리기다 소나무 시험편에서 나타난 1차 HRR커브가 사라졌으며, HRR 커브에서 보이는 봉우리의 모양은 비슷한 경향성을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 암모늄염 처리 시험편의 숯 생성에 의한 연소억제효과에 의해 질량 감소율이 낮아지는 것으로 설명될 수 있다. 그리고 diammonium phosphate로 처리한 리기다 소나무의 HRR_{mean}는 47.22 kW/m²으로서 처리하지 않은 시험편보다 낮게 나타났다. 최대 열방출률은 ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate로 처리한 시험편에 대하여 각각 189.59 kW/m²(297s), 188.43 kW/m²(262s), 144.34 kW/m²(320s)으로 나타났다. 이것은 처리하지 않은 시험편의 HRR_{peak}, 217.18 kW/m²(290s)와 비교하여 HRR_{peak}가 낮게 측정되었다.

3.2 연기와 탄소 산화물 방출

물질에 관련된 연소의 이해를 돕는 또 다른 중요한 파라미터는 연기와 CO가스의 방출이다. 일반적으로 나무의 연소가스 생성물의 독성은 CO₂를 동반하는 CO의 방출에 의하여

표 2. 목재의 연소특성

Samples (Pinus rigida)	TTI (s)	HRR _{mean} (kW/m ²)	HRR _{peak} (kW/m ²)	SEA _{mean} (m ² /kg)	CO _{mean} (kg/kg)	CO _{2mean} (kg/kg)	TSR (m ² /m ²)
Pinus rigida	15	68.5	235.47	46.8	0.0575	1.69	232.5
Castanea sativa	34	70.4	411.05	38.0	0.0882	1.64	292.6
Quercus variabilis	51	77.94	432.07	41.1	0.0829	-	394.1
Zelkova serrata	29	13.06	208.62	9.2	0.0818	-	72.3
Untreated	15	66.83	217.18	77.25	0.0506	1.68	358.7
t-AMSF (NH ₄) ₂ SO ₄	13	61.95	189.59	50.20	0.0677	1.64	236.1
t-MAPP(NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	11	58.97	188.43	77.30	0.1567	1.57	346.3
t-DAPP(NH ₄) ₂ HPO ₄	28	47.22	144.34	90.48	0.1554	1.35	387.7

결정되어진다. 시료에 대한 측정 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2의 총 연기방출율(total smoke release; TSR)은 리기다 소나무, 밤나무, 굴참나무와 느티나무 가 각각 232.5 m²/m², 296.6 m²/m², 140.20 m²/m², 85.75m²/m²였다. 밤나무의 단위면적당 연기방출량이 높은 것으로 보이나 이들 값의 차이로는 어떠한 연기방출 특성을 설명하기에는 부족하다. diammonium phosphate로 처리한 시험편의 총 연기방출율은 387.7 m²/m²으로 무처리한 시험편의 총연기방출율 358.7 m²/m²에 비하여 높은 수치를 나타냈고 Table 1에서 보여주는 바와 같이 CO₂ 가스의 평균 발생량은 ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate가 처리된 시험편에 대하여 각각 1.64 kg/kg, 1.57 kg/kg, 1.35 kg/kg으로 무처리한 시험편의 CO₂ 발생량(1.68 kg/kg)에 비하여 비교적 낮게 나타는 것은 연소억제 효과가 우수하여 많은 연기를 방출하는 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 자연 건조된 느티나무의 최대 열방출률 값은 13.06kw/m² 로써 다른 목재의 최대 열방출률 보다 상당히 낮게 나타났고 HRR_{peak}에 도달된 시간이 리기다 소나무 320 s, 밤나무 342 s, 느티나무 480 s와 굴참나무 370 s로 나타났다. 이것은 느티나무가 강한 난연성을 가지므로 연소지연 효과를 나타내는 것으로 설명된다.
- 2) 최대 열방출률은 암모늄염으로 처리한 리기다 소나무시험편은 처리하지 않은 리기다 소나무 시험편과 비교하여 HRR_{peak}가 작은 값으로서 암모늄염의 숯 생성으로 인한 연소억제효과가 우수하게 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

1. M. J. Spearpoint and G.J. Quintiere, "Predicting the Burning of Wood Using an Integral Model", Combustion and Flame, Vol. 123, pp. 308-324(2000).