

## Wood-Plastic Composite의 연소특성 비교

송영호 · 신백우\* · 이동호\*\* · 정국삼\*\*\*

혜천대학 소방안전관리과 · \*한국항공우주연구원 ·

\*\*인천대학교 안전공학과 · \*\*\*충북대학교 안전공학과

### Comparison with Combustion Properties of Wood-Plastic Composites

Young-Ho Song · Baek-Woo Shin\* · Dong-Ho Lee\*\* · Kook-Sam Chung\*\*\*

Dept. of Fire Safety Management, Hyecheon University

\*Korea Aerospace Research Institute

\*\*Dept. of Safety Engineering, Incheon University

\*\*\*Dept. of Safety Engineering, Chungbuk National University

#### 요 약

주거 건축 및 가구산업의 자재로써 합성목재(Wood-Plastic Composites)는 점차 각광받고 있다. 본 연구에서는 합성목재의 연소특성을 살펴보기 위하여 한계산소지수 측정(ASTM D 2863) 및 콘칼로리미터 시험(ISO 5660-1)을 실시하였으며 또한 일반목재인 적송(red pine)과 방부 처리를 한 방부목에 대하여도 동일한 시험을 통하여 합성목재와 연소특성을 비교·검토하였다. 한계산소지수 측정결과 합성목재가 적송 및 방부목에 비해 가장 낮게 측정되었다. 콘칼로리미터 시험결과 합성목재의 열방출률값이 가장 빨리 피크치에 도달하였고 점차적으로 감소하였다. 합성목재의 최대 열방출률 값 및 평균 열방출률 값은 적송 및 방부목에 비해 가장 높게 나타났으며 총 방출열량 또한 가장 높게 나타났다.

#### 1. 서 론

최근 플라스틱의 사용량이 증가함에 따라 폐플라스틱의 발생량이 급증하고 있으며 목재 자원의 무분별한 사용으로 인해 자원의 고갈 및 목재수급에 큰 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 일반목재를 대체하며 조경 및 건축자재로써 목분과 합성수지를 혼합 및 압출 성형하여 제조한 합성목재(Wood-Plastic Composites)를 사용하는 경우가 많아지고 있다. 이런 합성목재의 원료로 쓰이는 목분과 합성수지는 모두 재료 특성상 화재에 매우 취약하며 합성수지는 탄화수소계 유기화합물로서 연소하기 쉬운 성질을 지니고 있으므로 합성목재에서 여전히 해결되지 않는 문제로 남아 있다.

따라서 본 연구에서는 ASTM 2863<sup>1)</sup> 규격에 의거하여 한계산소지수(limiting oxygen index; LOI) 측정 및 콘칼로리미터 시험(ISO 5660-1)<sup>2)</sup>을 통한 열적 특성의 측정을 통해 합성목재의 연소특성을 살펴보았다. 또한 마루 등 바닥재로 많이 사용되는 일반 목재인 적송(red pine)과 방부 처리를 한 방부목에 대하여도 동일한 시험을 통하여 합성목재와 연소특성을 비교·검토하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 합성목재는 국내 합성목재 업체(총 4개 업체)에서 시판되고 있는 제품을 그대로 사용하였으며, 별도의 가공 처리는 전혀 하지 않았다. 다만 실험 규격의 시편 크기에 맞게 제품의 일부를 절단하여 실험하였다. 또한 일반목재 및 방부목과의 연소특성을 비교·분석하기 위하여 적송(red wood) 및 방부목(treated wood) 시편도 함께 실험하였다.

### 2.2 한계산소지수 시험

실험방법은 직경 75mm의 유리관 내에 산소 및 질소의 혼합가스의 유량을 40mm/sec의 속도로 흐르게 설정하여 기체 흐름이 각 시험편의 점화 전 최소 30초간 유리관을 흘러가도록 하고 각 시험편의 점화 및 연소시 속도 변화가 없도록 흐름을 유지했다. 시험편은 지지대(sample holder)에 위치하며 시험편 점화시에는 점화기가 시험편의 위쪽 끝부분에 매 5초 마다 불꽃을 주기적으로 제거하면서 최대 30초 동안 시험편 상부면에 닿게 하는데 이 방법은 시험편의 온도 상승에 따라 산소지수가 낮춰지는 것을 막기 위한 절차이다. 점화기를 제거하였을 때 시험편의 상부면 전체에서 불꽃이 붙은 것이 확인되면 연소 시간 및 연소된 길이를 측정하고 연소거동을 관찰하였다. 연소시간 3분 이상 또는 연소 길이가 상부면으로부터 5cm 이상 연소할 때의 산소 및 질소의 유량을 측정하여 식 (1)을 이용하여 산소지수를 계산한 후 가장 낮은 산소지수를 LOI로 결정하였다.

$$\text{O.I.}[\%] = \frac{\text{O}_2[\text{l}/\text{min}]}{\text{O}_2[\text{l}/\text{min}] + \text{N}_2[\text{l}/\text{min}]} \times 100 \quad (1)$$

### 2.3 콘칼로리미터 시험

본 실험은 ISO 5660-1 시험방법을 기준으로 국내 FESTECC 사에서 제작한 콘칼로리미터(Cone Calorimeter 2006)를 사용하여 실험재료의 착화시간(time to ignition) 및 평균 열방출률(mean heat release rate), 최대 열방출률(peak heat release rate), 총 방출열량(total heat release)등의 화재변수들을 측정하였다.

본 실험에 사용된 시편을 100mm×100mm 크기로 콘 칼로리미터 실험 기준에 따라 준비하였고, 각각의 재료에 대한 세부사항은 Table 1에 제시하였다. 시편을 알루미늄 포일의 중앙에 놓고 바닥면과 측면들을 감싸고 콘히터(cone heater)와 시편 사이의 거리는 25mm,

배출유량(exhaust flow)을 24 l/s로 고정하였다. 실험을 하는 동안 가스의 유량이나 농도를 계속 확인하여 초기 조건이 유지되도록 하였다. 또한 열유속(heat flux)은 50kW/m<sup>2</sup>, 가열방향은 일반적인 수평방향을 사용하였으며 연소실험은 착화시부터 모든 연소가 종료될 때까지 실시하였다.

Table 1. Descriptions of Material for Cone Calorimeter

Materials	Thickness [mm]	Weight [g]	Abbreviation
WPC-A	9.3	113.7	WA
WPC-B	11	121.1	WB
WPC-C	13	91.3	WC
WPC-D	10	122.8	WD
Treated Wood	9.0	86.4	TW
Red Wood	11	59.7	RW

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 한계산소지수

한계산소지수는 고분자 재료의 연소성 및 난연성을 평가하는 지수로서 재료가 연소를 지속하는데 필요한 최저의 산소의 양을 말하며 일반적으로 한계산소지수는 고분자 물질의 난연성을 평가하는데 반드시 측정해야 할 파라미터 중 하나로써 많이 사용되고 있다.<sup>3)</sup> 또한 문헌에서는 고분자 재료의 LOI가 30 이상의 값을 가질 경우 그 재료는 난연성을 갖는다고 제시하고 있으며 LOI가 클수록 재료의 난연특성은 우수하다.<sup>4,5)</sup>

LOI 측정 결과 값들을 아래 Fig. 1과 같이 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 합성목재의 LOI 값은 모두 동일하게 20.5%로 산출되었다. 이러한 결과를 나타낸 이유는 일반적으로 합성목재의 원료 혼합비율은 목분(60%)과 합성수지(35%), 첨가제(5%)이고 목재의 LOI 값은 22.1 ~ 24.6%이며 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE)등 합성수지의 LOI 값은 17.8 ~ 18.0%이기 때문에 이들을 혼합 성형하여 생산한 합성목재의 LOI 값의 경우 그 중간 값으로 나타난 것으로 사료되며 이러한 결과는 합성목재 또한 일반적인 합성수지와 마찬가지로 화재에 취약성을 갖고 있다고 판단할 수 있다.<sup>4)</sup>

또한 적송의 LOI 값은 21.5%로 측정되어 합성목재의 LOI 값과 큰 차이가 나지 않았으나 방부목의 LOI 값은 24%로 합성목재보다 높게 측정되었다. 이는 방부목이 주로 실외용으로 사용하기 위하여 생산된 제품으로써 제작시 목재에 가압 침투시킨 처리액이 목재 안에서 화학반응을 일으켜 착화 지연 효과를 발생한 것으로 사료된다. 본 실험결과 합성목재의 한계산소지수가 가장 낮음을 알 수 있었다.

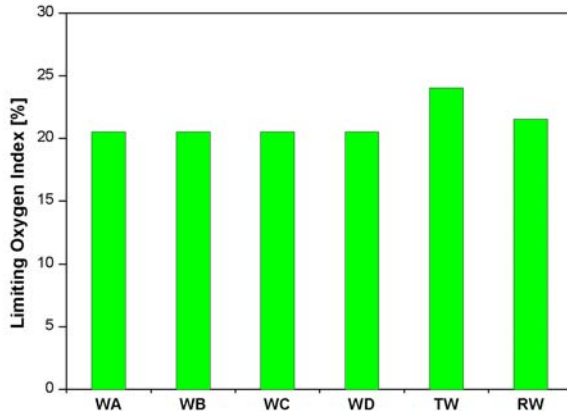


Fig. 1. Results of Limiting Oxygen Index Test

## 3.2 콘칼로리미터 시험

### 3.2.1 착화시간

착화시간은 재료의 연소성능 및 특성을 나타내는 주요인자로 사용될 수 있다고 판단된다. 본 실험에서의 착화시간은 시편의 표면에서 지속적인 불꽃 연소가 시작되는 시간을 실험자가 육안으로 확인하여 기록하였으며 실험결과는 Fig. 2에 나타내었다.

각각의 실험재료를  $50\text{kW/m}^2$ 의 복사열에 노출시켜 대기조건에서 연소시킨 결과, 합성목재 WB 제품은 착화시간이 12초로써 가장 빨리 착화가 되었고 이를 제외한 합성목재의 착화시간은 32 ~ 39초로 나타났다. 이와 같이 합성목재 제품별로 착화시간의 차이가 있는 것은 제품별로 표면처리방식이 다르며 재료면 위에 복사열 노출시 제품마다 열분해 속도의 차이에 따라 착화시간의 차이도 발생한 것으로 사료된다.

또한 적송의 착화시간은 20초로 나타났으며, 방부목은 50초로 나타나 실험재료들 중 가장 길었다. 이를 통해 합성목재의 착화시간은 적송에 비해 길었지만 방부목에 비해서는 짧은 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2.2 열방출률

본 실험에서는 합성목재와 적송 및 방부목을 대상으로 실시한 열방출률 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다. 결과를 살펴보면 합성목재들은 착화 후 초기에 열방출률이 급격히 상승하여 착화 후 1 ~ 2분 이내에 최대값을 나타내고 적송 및 방부목은 착화 후 435 ~ 505초에 최대값을 나타내고 감소하였다.

또한 Fig. 4에 실험재료 연소시 최대 열방출률 및 평균 열방출률, 총 방출열량을 나타내었다. 합성목재의 최대 열방출률 값은  $270.03 \sim 339.43\text{kW/m}^2$ 로써 적송 및 방부목의 최대 열방출률 값인  $165.66 \sim 167.01\text{kW/m}^2$  보다 상당히 높게 나타났으며 이로써 합성목재의 화재위험성이 적송이나 방부목보다 상대적으로 높다는 것을 알 수 있었다. 특히 착화시간이 가장 짧았던 합성목재 WB제품의 최대 열방출률 값이 착화시간 60초일 때  $339.43$

kW/m<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났으며 평균 열방출률 및 총 방출열량 또한 다른 제품에 비해 가장 높게 나타났다. 또한 적송과 방부목의 최대 열방출률 및 평균 열방출률 값은 거의 유사하였고 총 방출열량은 적송은 69.3MJ/m<sup>2</sup>, 방부목은 82.0MJ/m<sup>2</sup>로써 방부목이 다소 높게 나타났다.

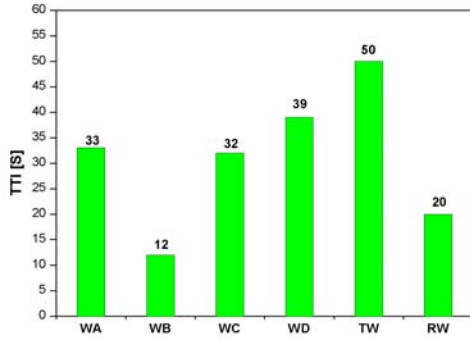


Fig. 2. Time to Ignition

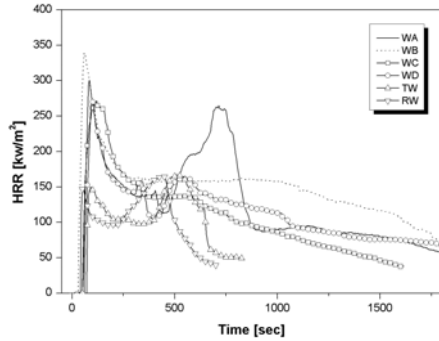


Fig. 3. Heat Release Rate

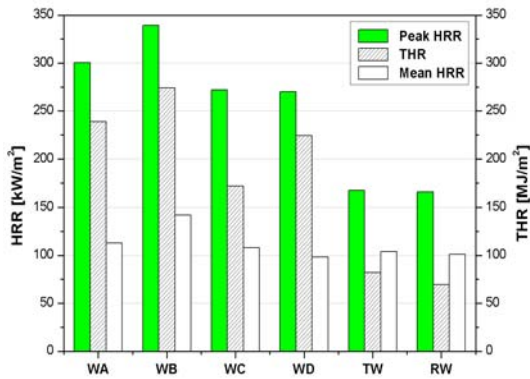


Fig. 4. Peak and Mean HRR, THR

#### 4. 결론

본 연구에서는 합성목재의 화재성능을 평가하는데 기초자료로써 이용하고자 한계산소지수 측정 및 콘칼로리미터 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 합성목재의 LOI는 20.5%로 측정되었으며 이는 일반적인 합성수지의 LOI가 17.8 ~ 18%인 것을 감안하면 합성목재 또한 화재에 대한 취약성을 갖고 있다고 판단할 수 있다.
- 2) 방부목의 대체 재료로 사용되는 합성목재는 시편의 착화시간이 방부목에 비해 약 1.2 ~ 1.5배 정도 짧은 것을 확인할 수 있었으며 이로써 화재 발생시 쉽게 착화가 일어난다.

것을 알게 되었다.

- 3) 합성목재의 열방출률 및 총 방출열량이 적송 및 방부목에 비해 2 ~ 3배 높은 것으로 나타났다.

### 참고문헌

- 1) ASTM D 2863-77, "Standard Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-like Combustion of Plastics"(2000).
- 2) ISO 5660-1, "Reaction to fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate-part 1 : Heat release rate(cone calorimeter method)"
- 3) Y. H. Song, K. S. Chung " Improvement the Flame Retardancy of Epoxy Resin by the Addition of Montmorillonite" J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng, Vol. 22, No. 3(2008).
- 4) C.J. Hilado, Flammability Handbook for Plastics, Technomic, pp. 38-47(1982).
- 5) R. Friedman, Principles of Fire Protection Chemistry and Physics, 3rd ed, NFPA(1998).