

비스-디알킬아미노알킬 포스핀산으로 처리된 목재의 연소특성

진의* · 정영진†

강원대학교 소방방재공학과, *강원대학교 소방방재연구센터

Combustion Characteristics of Wood Treated with Bis-(dialkylaminoalkyl) Phosphinic Acids

Eui Jin* · Yeong-Jin Chung†

Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University, Gangwon-do 245-710, Korea

*Fire & Disaster Prevention Research Center, Kangwon National University, Gangwon-do 245-711, Korea

(Received August 11, 2013; Revised August 26, 2013; Accepted August 26, 2013)

요 약

이 연구에서는 비스-디메틸아미노메틸 포스핀산, 비스-디에틸아미노메틸 포스핀산, 비스-디부틸아미노메틸 포스핀산을 처리한 리기다 소나무의 연소성을 시험하였다. 시험편은 15 wt%의 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 리기다 소나무에 3회 붓칠하여 실온에서 건조시킨 후, 콘칼로리미터(ISO 5660-1)를 이용하여 그의 연소성을 시험하였다. 그 결과, 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산으로 처리한 시험편은 처리하지 않은 시험편에 비하여 그의 연소 억제성을 부분적으로 향상시켰다. 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산으로 처리한 시험편은 무처리한 시험편에 비해 총연기방출률(16.94~18.92 m²/m²)과 CO_{2mean} 발생량(1.98~2.09 kg/kg)을 감소시켰다. 그러나 무처리한 시험편에 비해 최대질량감소율(16.94~18.92 m²/m²)과 1차-연기발생속도(0.0153~0.0167 g/s)를 증가시켰다. 따라서 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산으로 처리한 시험편은 순수 리기다 소나무 시험편에 비하여 부분적으로 낮은 연소성질을 나타내었다.

ABSTRACT

This study was performed to test the combustive properties of *Pinus rigida* plates treated with bis-(dimethylaminomethyl) phosphinic acid (DMDAP), bis-(diethylaminomethyl) phosphinic acid (DEDAP), and bis-(dibutylaminomethyl) phosphinic acid (DBDAP). *Pinus rigida* specimens were painted in three times with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at the room temperature. After drying specimen treated with chemicals, combustive properties were examined by the cone calorimeter (ISO 5660-1). It is supposed that the combustion-retardation properties were improved by the partial due to the treated bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acids in the virgin *Pinus rigida*. Especially, the specimens treated with chemicals showed both the lower total smoke release rate (TSRR) (16.94~18.92 m²/m²) and lower CO_{2mean} production (1.98~2.09 kg/kg) than those of virgin plate. However the specimens treated with chemicals showed both the higher peak mass loss rate (PMLR) (0.1250~0.1297 g/s) and higher 1st-smoke production rate (SPR) (0.0153~0.0167 g/s) than those of virgin plate. Compared with virgin *Pinus rigida* plate, the specimens treated with the bis-dialkylaminoalkyl phosphinic acids showed partially low combustive properties.

Keywords : Bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid, Combustive properties, Total smoke release rate (TSRR), CO_{2mean} production

1. 서 론

건축물에서 이용하고 있는 내장재로는 가연물질인 목질 재료를 많이 사용하고 있고, 건축물 속에서 사용하고 있는 각종 사무용 집기와 가구류 등이 주로 목질재료로 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 목재는 다른 건축자재들에 비해 화재 안전적인 측면에서 많은 단점들을 가지고 있는데, 가

장 대표적인 것이 화재시 발생하는 대류열과 복사열에 의해 가열되면 연소되기 쉽다는 것이다⁽¹⁻³⁾. 따라서 목재는 건축재료로 선택하는데 있어 충분한 검토가 필요하다^(4,5). 이들 목재의 연소성에 대한 문제점을 보완하기 위해서는 목재의 화재 안전성을 개선하여야 하며 주로 사용되는 방법이 난연화 처리이다. 목재의 난연화에 대하여 Lee 등은 내화처리 파티클보오드의 내화도에 미치는 약제의 영향을

†Corresponding Author, E-Mail: yjchung@kangwon.ac.kr
TEL: +82-33-540-3121, FAX: +82-33-540-3129

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.4.21

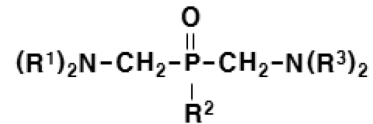
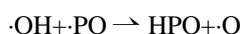
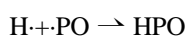
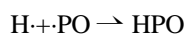
보고한 바 있으며⁽⁶⁾, McKnight는 여러 종류의 암모늄염계 내화제로 처리한 목재의 흡습성에 관하여 연구하였다⁽⁷⁾. Draganov와 Winters Jr.는 목질 제품에 대한 내화제로서 붕소와 다른 무기염들의 특성에 관하여 발표하였고⁽⁸⁾, Goldstein과 Dreher에 의해서 인산 및 dicyandiamide를 혼합한 내화성 수용액이 제조되어 목재를 침적 처리한 후 내수성, 치수 안정성, 강도 및 함수율 등에 관하여 연구되었고⁽⁹⁾, 종래의 암모늄염계 약제에 비하여 흡수율이 30% 정도 감소한다고 보고하였다.

근래에는 난연성 향상을 위해 인화합물계, 질소화합물계, 붕소화합물계 등을 단독 또는 혼합하여 목재 및 목질재료에 주입, 도포, 침지 등의 방법을 이용한다⁽¹⁰⁻¹²⁾.

최근 난연제에 대한 관심은 단순히 난연 효과 뿐만 아니라 저유해성, 저발연성, 저부식성, 그리고 내열성을 모두 만족시키는 쪽으로 관심이 모아지고 있으며⁽¹³⁾, 이 같은 이유로 인해 그 동안 주로 사용되어오던 할로젠 계통의 난연제 중 특히 브롬계통의 난연제가 유해성 문제로 인해 규제를 받고 있다^(14,15).

소재에서의 난연성 평가는 한계산소지수(limited oxygen index, LOI) 및 연소테스트(UL94)에서 매겨진 등급으로 난연성 수준을 평가하기도 하지만, 실제 화재발생 시 가연물의 안정성은 화재조건에 노출되었을 때의 착화성, 열방출률, 화재의 전파 및 연소가스의 유해성 등으로 평가할 수 있다. 이들 중 건자재의 중요한 성질은 연소하는 동안에 발생하는 열방출률(heat release rate)이다. 열방출률은 화재시에 대상 물질의 잠재 위험성을 나타내기 때문에 중요하다. 열방출률을 측정하기 위하여 많은 기술들이 발전되어 왔는데 그 중의 하나가 콘칼로리미터(cone calorimeter)이다⁽¹⁶⁾. 콘칼로리미터에 의한 열방출률 측정은 대부분의 유기재료가 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출되는 산소 소비 원리를 바탕으로 하고 있다⁽¹⁷⁾. 가연물의 안전성은 화재조건에 노출되었을 때의 착화성, 열방출률, 화재의 전파 및 연소가스의 유해성 등으로 평가할 수 있다⁽¹⁸⁾.

본 연구에서는 위와 같은 연구를 수행하기 위해 인-질소(P-N) 구조 형태의 화학 합성물을 첨가제로 택하였다. 인을 포함하는 난연제는 연소시 열분해되어 H_3PO_4 를 생성하여 탈수탄화 작용에 의하여 고체 숯을 생성한다. 이 숯은 산소와 열의 확산을 차단하고, 화염전단으로부터 또는 화염전단에 연소성 분해생성물의 확산을 차단한다⁽²⁾. 또한 H_3PO_4 은 열분해되어 PO 라디칼을 생성하며 연소 중 연쇄 반응을 일으키는 H라디칼 또는 OH라디칼을 안정화시킨다⁽¹⁹⁾.



- 1 $R^1 = CH_3, R^2 = OH, R^3 = CH_3$
- 2 $R^1 = CH_3CH_2, R^2 = OH, R^3 = CH_3CH_2$
- 3 $R^1 = CH_3(CH_2)_3, R^2 = OH, R^3 = CH_3(CH_2)_3$

Scheme 1. Bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid derivatives.

본 실험에서는 기 보고된⁽²⁰⁾ bis-(dimethylaminomethyl) phosphinic acid (DMDAP) 1, bis-(diethylaminomethyl) phosphinic acid (DEDAP) 2, bis-(dibutylaminomethyl) phosphinic acid (DBDAP) 3을(Scheme 1)을 가지고, 목재의 효과적인 활용에 대한 화재 위험성을 개선하기 위하여 전술한 방법 중 리기다 소나무에 화학 합성물을 처리하는 방법을 택하였고, cone calorimeter (ISO 5660-1)를 이용하여 연기관련 지수를 측정하고, 적용된 재료의 연소성을 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 시험편은 리기다 소나무로서 시중에서 일반 건자재용을 구입하였다. 이 시험편은 제재 작업 전 1 yr 동안 자연건조되었다. 첨가제로서 bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid는 기 합성한 것을 사용하였고⁽²⁰⁾, 기타 시약은 Samchun Pure Chemical Co., LTD에서 특급 시약을 구입하여 정제 없이 그대로 사용하였다.

2.2 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리 방법

15 wt% 디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 시험편의 한 면에 붓칠하고 난 뒤 24 h 동안 상온에서 자연 건조시킨 후, 다시 같은 방법으로 2회 더 실시하였다. 이를 오븐에서 55 °C, 23 h 동안 건조시켜 측정 시험편으로 하였다. 화학 합성물의 농도는 모든 시험편에 대하여 15 wt%로 일정하게 조절하였다. 공시험편은 같은 목재를 증류수로 붓칠한 후 위와 같은 방법으로 건조시켜 비교 데이터로 이용하였다.

2.3 콘칼로리미터 시험

연소특성 시험은 ISO 5660-1의 방법에 의해 dual cone calorimeter (Fire Testing Technology)를 이용하여 열 유속(heat flux) 25 kW/m² 조건에서 수행하였다⁽¹⁶⁾. 사용한 시험편의 두께는 10 mm, 크기는 100 mm×100 mm (±0.2)의 규격으로 제작하였으며, 시험조건은 온도 23±2 °C, 상대습도 50±5 %에서 함량이 될 때까지 유지한 다음 알루미늄 호일로 비노출면을 감싼다. 시험에 앞서 콘히터의 열량이

설정값 $\pm 2\%$ 이내, 산소분석기의 산소농도가 $20.95 \pm 0.01\%$ 가 되도록 교정하고 배출유량을 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 설정하였다.

시험편은 단열재인 저밀도 유리섬유를 이용하여 높이를 조절하였으며, 시편 홀더로의 열손실을 감소시키기 위하여 전도도가 낮은 고밀도 세라믹판 재료로 절연시켰다. 시편 홀더는 수평방향으로 위치시켰다. 시편의 체적밀도는 시험하기 전에 부피와 무게를 측정하여 계산하였다. 연소시험은 지속적인 불꽃 연소가 시작된 때부터 30 min 경과 후에 종료하였으며, 추가로 2 min간의 데이터 수집시간을 부여하였다.

본 연구에서 선정된 시험편은 콘칼로리미터에 수평으로 설치하고 외부 점화장치를 부착한 상태로 25 kW/m^2 외부 열 유속에 수십 분 동안 노출시켜 착화되는 시간과 착화된 시료로부터 열방출률 및 연기 관련 지수를 구하였다.

2.4 함수율 측정

함수율은 일정량의 시료를 105°C 의 건조기에서 장시간 건조시키면서 시료의 중량을 4 h 간격으로 더 이상 중량변화가 없을 때까지 측정하고 다음 식을 이용하여 계산하였다⁽²¹⁾.

$$\text{MC}(\%) = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

W_m : 함수율을 구하고자하는 시험편의 중량

W_d : 건조시킨 후의 절대건조 중량

자연 건조된 리기다 소나무의 함수율은 $10.6 \text{ wt}\%$ 였으며, 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리후의 함수율은 별도로 측정하지 않고 리기다소나무를 건조시킨 후 3회 붓칠한 것을 사용하였다. 리기다 소나무 시험편에 Table 1에 나타낸 바와 같이 DMDAP 1, DEDAP 2, DBDAP 3을 처

Table 1. Specification of *Pinus rigida* Plates Painted with 15 wt% Bis-(dialkylaminoalkyl) Phosphinic Acid Solutions

Samples	MC(%)	Mass (g)
Untreated	10.6	32.6
DMDAP, 1	-	35.8
DEDAP, 2	-	36.5
DBDAP, 3	-	37.2

리한 시험편의 무게는 각각 35.8 g, 36.5 g, 37.2 g으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 콘칼로리미터 시험

질량감소율(mass loss rate, MLR)은 화재거동에 대하여 추가적인 정보를 준다⁽²²⁾. Table 2에 나타낸 리기다 소나무에 DMDAP, DEDAP, DBDAP가 처리된 시험편에서 MLR_{peak} 은 각각 0.1250 g/s (at 280 s), 0.1254 g/s (at 275 s), 0.1297 g/s (at 275 s)으로서 무처리한 시험편(0.1100 g/s at 285 s)에 비하여 높았다. 이것은 위 화학 합선물 처리 시험편의 연소억제 효과가 기대에 미치지 못하는 것으로 설명될 수 있다⁽²³⁾. 이에 대하여 MLR (\dot{m})은 다음과 같은 관계식으로 주어진다⁽²⁴⁾.

$$\dot{Q} (\text{HRR}) = \dot{m} \cdot \Delta h_c \quad \text{또는} \quad \dot{m} = \dot{Q} (\text{HRR}) / \Delta h_c \quad (3)$$

여기에서 $\dot{Q} (\text{kW}) = \text{HRR}$; $\dot{m} (\text{kg/s}) = \text{MLR}$; $\Delta h_c (\text{kJ/kg}) = \text{EHC}$ 으로 표시된다.

MLR은 HRR을 유효연소열(effective heat of combustion, EHC)로 나눈 값으로 표시된다.

Table 2 및 Figure 1의 초기 1st-HRR_{peak}은 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리 시험편에 대하여 각각 DMDAP (116.96 kW/m^2 at 55 s), DEDAP (112.04 kW/m^2 at 65 s),

Table 2. Combustive Properties of *Pinus Rigida* Plates Painted with 15 wt% Bis-(dialkylaminoalkyl) Phosphinic Acid Solutions at 25 kW/m^2 External Heat Flux

Samples	$\text{MLR}^a_{\text{peak}} (\text{g/s})$	$1\text{st-HRR}^b_{\text{peak}} (\text{kW/m}^2)$	$2\text{nd-HRR}_{\text{peak}} (\text{kW/m}^2)$	$\text{EHC}^c_{\text{peak}} (\text{MJ/kg})$	$\text{CO}_{\text{mean}} (\text{kg/kg})$
Untreated	0.1100	133.75	170.34	54.73	0.0641
DMDAP	0.1250	116.90	154.20	47.57	0.0770
DEDAP	0.1254	112.04	178.86	50.82	0.0719
DBDAP	0.1297	102.85	186.06	74.64	0.0785
Samples	$\text{CO}_{2\text{mean}} (\text{kg/kg})$	CO/CO_2	$\text{TSRR}^d (\text{m}^2/\text{m}^2)$	$1\text{st-SPR}^e (\text{g/s})$	$2\text{nd-SPR} (\text{g/s})$
Untreated	2.24	0.0286	18.92	0.0137	0.0129
DMDAP	2.09	0.0368	18.26	0.0153	0.0149
DEDAP	1.99	0.0361	15.20	0.0237	0.0080
DBDAP	1.98	0.0396	16.94	0.0167	0.0258

^apeak mass loss rate; ^bpeak heat release rate; ^cpeak effective heat of combustion; ^dtotal smoke release rate; ^esmoke production rate.

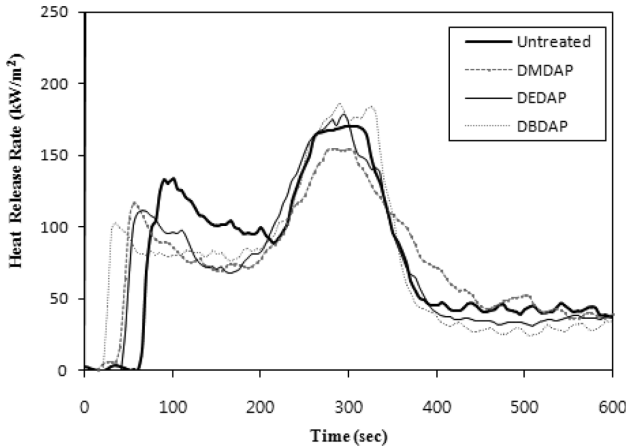


Figure 1. Heat release rate curves of *Pinus rigida* plates painted with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at 25 kW/m² external heat flux.

DBDAP (102.85 kW/m² at 35 s)으로 나타낸 바와 같이 무처리한 시험편(135.75 kW/m² at 100 s)에 비하여 낮았다. 이것은 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리 시험편의 연소억제 효과로 열방출율이 낮아졌음을 의미한다. 그러나 착화시간은 그 반대 현상으로 관찰되었다. 이것은 리기다 소나무 시험편의 휘발성 성분인 다량의 테르펜류 및 휘발성 물질 방출이 일부 비스-디알킬아미노알킬포스핀산과의 상승 작용으로 인하여 착화시간이 짧아지는 것으로 이해된다⁽²⁵⁾. 이와 유사한 예는 내화처리 파티클보오드의 내화도에 미치는 약제의 영향에 대하여 보고된 바 있다⁽⁶⁾. 이것은 연소초기에 화학 합성물의 구조상 유기성분의 연소 용이성 때문으로 설명될 수 있다.

또한 2nd-HRR_{peak}은 DMDAP (154.20 kW/m² at 280 s)를 제외하고 무처리 시험편(170.34 kW/m² at 300 s)보다 DEDAP (178.06 kW/m² at 295 s), DBDAP (186.06 kW/m² at 290 s)에 대하여 각각 높았다. 이것은 시간이 경과함에 따라 연소현상이 확대 성장하여 위 화학 합성물이 시험편의 높은 열축적에 의하여 연소억제 효과가 상당히 크게 감소된 것으로 이해된다.

유효연소열(EHC)은 한 가지의 분해 형태를 갖는 균일한 시험편의 연소시간 동안의 상수로서 이론적인 순연소열의 값보다 적다⁽²⁶⁾. 한 가지 이상의 분해형태를 갖는 재료나 복합재료 또는 비균일한 재료의 유효연소열은 반드시 일정하지는 않다. Table 2에 나타낸 바와 같이 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 붓칠한 시험편은 DBDMAP (EHC_{peak}=74.64 MJ/kg)를 제외하고 무처리한 시험편(54.73 MJ/kg)보다 낮았다. 이것은 연소억제성에 의한 것으로 설명될 수 있으나, DBDAP를 처리한 시험편은 분자구조상 비교적 많은 탄화수소의 함량으로 인하여 유효연소열이 높게 나타났다.

Table 2에 나타낸 바와 같이 리기다 소나무에 디알킬아미노알킬 포스핀산이 처리된 시험편에서 CO_{mean} 발생량은

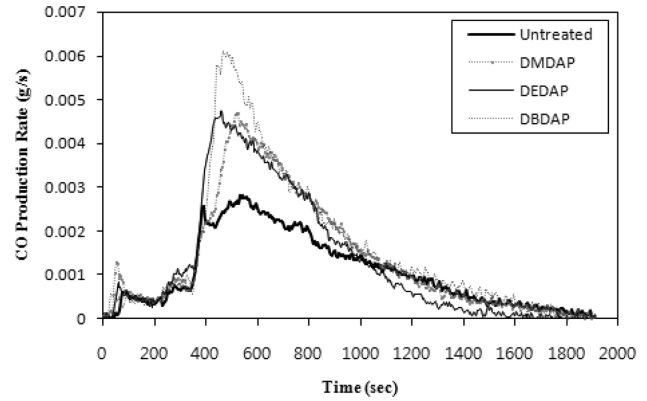


Figure 2. CO production rate curves of *Pinus rigida* plates painted with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at 25 kW/m² external heat flux.

0.0719~0.0785 kg/kg 으로서 무처리한 시험편의 CO_{mean} 발생량(0.0641 kg/kg)에 비하여 높게 나타났다. 또 이것에 대하여 연소시간 측면에서 고려하면 Figure 2에서 보여준 바와 같이 시험편의 착화후 CO_{peak}는 DMDAP (0.047 g/s at 520 s), DEDAP (0.047 at 460 s), DBDAP (0.0690 at 470 s)가 무처리 시험편(0.0028 at 545 s)에 비하여 급격한 CO_{peak} 발생속도를 보였다. 이것은 인을 함유한 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산이 연소시에 CO의 발생으로 말미암아 어느 정도의 독성을 나타내는 것으로 판단되어진다.

CO_{2mean} 발생량은 앞서 설명된 MLR_{peak} 값의 경향과 유사하였다. DMDAP, DEDAP, DBDAP가 처리된 시험편에 대하여, 각각 2.09 kg/kg, 1.99 kg/kg, 1.98 kg/kg으로 측정되었으며 무처리한 시험편의 CO_{2mean} 발생량(2.24 kg/kg)에 비하여 비교적 낮게 나타났다. 또 CO₂ 발생속도 측면에서 고려하면 Figure 3에서 보여준 바와 같이 시험편의 착화 후 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리 시험편의 1st-CO_{2peak} 발생속도는 DMDAP (0.1076 g/s at 50 s),

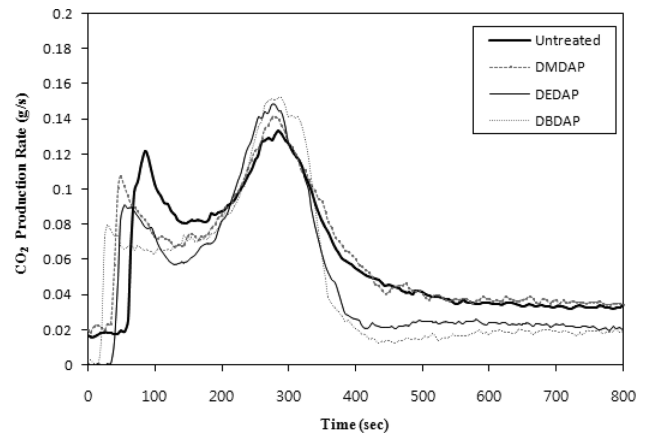


Figure 3. CO₂ production rate curves of *Pinus rigida* plates painted with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at 25 kW/m² external heat flux.

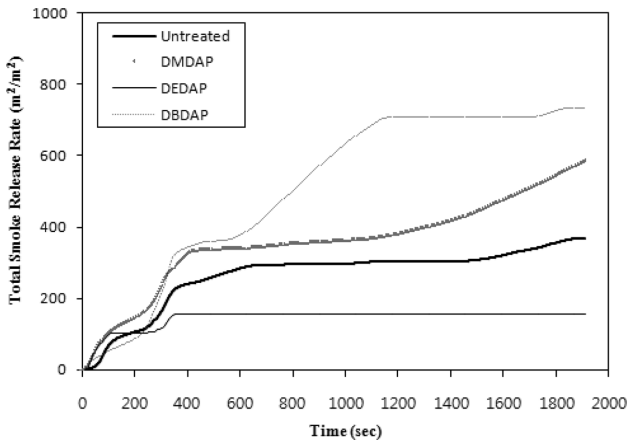


Figure 4. TSR curves of *Pinus rigida* plates painted with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at 25 kW/m² external heat flux.

DEDAP (0.0908 at 55 s), DBDAP (0.0794 at 30 s)에 비하여 무처리한 시험편(0.01219 g/s at 85 s)보다 낮게 나타났다. 이것은 화학 합성물 처리에 의한 연소억제 작용으로 함으로써 CO₂ 발생속도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 시간이 경과함에 따른 연소가 확대되면 시험편의 많은 열에너지 축적으로 상황이 역전되어 연소억제 효과가 감소되는 것으로 이해된다. 또 CO/CO₂비도 화학 합성물로 처리한 시험편은 0.0396~0.0361으로서 무처리한 시험편(0.0286)에 비하여 독성에 영향을 미칠 것이라는 것을 짐작할 수 있었다.

연기방출률에 대하여 Table 2 및 Figure 4에서 보여준 바와 같이 화학 합성물로 처리한 시험편의 총연기방출률은 18.26~15.20 m²/m²으로 무처리한 시험편의 총연기방출률 18.92 m²/m²에 비하여 낮은 수치를 나타내는 것은 연소시 감연작용의 효과가 있는 것으로 이해된다.

Figure 5는 시간에 따른 연기발생 속도를 나타내었다.

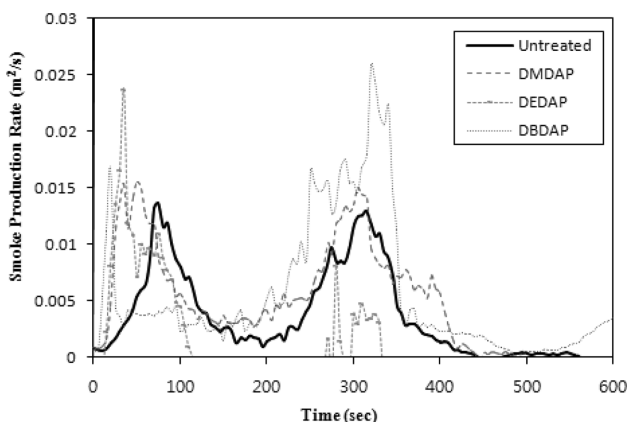


Figure 5. SPR curves of *Pinus rigida* plates painted with 15 wt% bis-(dialkylaminoalkyl) phosphinic acid solutions at 25 kW/m² external heat flux.

시험편의 착화후 1st-SPR은 화학 합성물 처리에 의하여 각각 DMDAP (0.0137 g/s at 35 s), DEDAP (0.0237 g/s at 35 s), DBDAP (0.0167 g/s at 20 s)로 나타났다. 무처리한 시험편은 1st-SPR이 0.0137 g/s (at 75 s)으로 비교적 낮게 나타났다. 또 2nd-SPR에 대하여 DEDAP (0.0080 g/s)를 제외한 무처리 시험편의 0.0129 g/s (at 315 s)에 비하여 높았다. 이것은 화학 합성물 처리 성분의 유기물 구조로 인하여 연소가 더욱 용이하여 연기발생으로 인한 피해가 어느 정도 예상된다. 그러나 DEDAP의 시험편은 연소가 더욱 용이하여 초기에 1-st SPR 피크를 급격하게 보였지만 이후 연소 쇠퇴기에 빠르게 도달하여 2nd-SPR 피크는 무처리한 시험편보다 낮았다.

연기량은 빛 흡수에 의해 콘칼로리미터에서 측정되기 때문에 그것은 액체입자(타르), 증기, 무기입자, 탄소를 포함한 입자들이 나타날 수 있다. 이 연기는 불꽃연소에서 형성되고 목재의 열분해로부터 생성된 가연성가스는 불꽃 영역 내에 숯을 생성하는 다환성 방향족 탄화수소로 구성된다. 그리고 타지 않은 숯은 빛을 냉각시키는 원인이 되며 불꽃 영역으로부터 불완전연소를 만드는 연기로 되어 탈출한다. 무처리한 공시험 및 DMDAP, DEDAP, DBDAP로 처리된 리기다 소나무의 연기 생성 거동은 열방출 영역에서 연기가 생성 되었으며, 열방출율이 높은 곳에서 연기 생성 속도가 초기 연기 생성 속도보다 2~3배 정도 증가하였다.

4. 결 론

3 종의 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산으로 처리한 리기다 소나무 시험편의 연소특성에 관한 실험을 ISO 5660-1 표준에 따른 콘칼로리미터를 이용하여 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 최대질량감소율은 리기다 소나무에 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산을 처리한 경우, $MLR_{peak} = 0.1250 \sim 0.1297$ g/s로서 무처리한 시험편의 최대질량감소율(0.1100 g/s)보다 높게 측정되었다. 이것은 시험편의 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산을 구성하고 있는 유기성 물질들의 연소성이 용이하여 착화시간이 짧아지는 것으로 판단된다.

2) 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 처리한 시험편의 CO_{mean} 은 0.0770~0.0785 kg/kg으로서 무처리한 시험편의 CO_{mean} (0.0641 kg/kg)보다 높게 측정되었다. 이것은 시험편의 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산을 구성하고 있는 유기성 물질들의 연소성이 용이하여 일산화탄소 발생율이 낮아지는 것으로 이해된다.

3) 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 처리한 시험편의 총연기방출은 18.26~16.94 m²/m²으로 측정되었으며, 무처리한 시험편의 총연기방출을 18.92 m²/m²에 비하여 낮은 수치를 나타내었다. 따라서 일부 저발연성 감연제 작용을 하는 것으로 판단된다.

4) 시험편의 착화후 1st-SPR은 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 수용액으로 처리에 의하여 0.0137~0.0237 g/s (at 2035 s)로 나타났다. 무처리한 시험편은 1st-SPR이 0.0137 g/s (at 75 s)으로 비교적 낮게 나타났다. 이후 2nd-SPR에 대하여 DEDAP (0.0080 g/s)를 제외한 무처리 시험편의 0.0129 g/s (at 315 s)보다 높았다. 이것은 비스-디알킬아미노알킬 포스핀산 처리한 성분의 유기물 구조로 인하여 연소가 더욱 용이함에 의한 연기발생이 확대되는 것으로 이해된다. 따라서 목재의 연소 억제성을 향상시키기 위해서는 또 다른 화합물 구조의 설계가 필요하다.

References

1. E. Baysal, M. Altinok, M. Colak, S. K. Ozaki and H. Toker, "Fire Resistance of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) Treated with Borates and Natural Extractives", *Bioresour. Technol.*, Vol. 98, No. 5, pp. 1101-1105 (2007).
2. O. Grexa, E. Horvathova, O. Besinova and P. Lehocky, "Flame Retardant Treated Plywood", *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 64, No. 3, pp. 529-533 (1999).
3. Y. J. Chung, "Comparison of Combustion Properties of Native Wood Species Used for Fire Pots in Korea", *J. Ind. Chem. Eng.*, Vol. 16, No. 1, pp. 15-19 (2010).
4. Article 43 of Building Code, Article 61 of Enforcement Ordinance, "The Internal Finish Material of the Building" (2004).
5. Article 12 of Firefighting Basic Law, Article 20 of Decree, "The Subject Merchandise Flame and Flame Performance Standard" (2005).
6. P. W. Lee and J. H. Kwon, "Effects of the Treated Chemicals on Fire Retardancy of Fire retardant Treated Particleboards", *Mogjae-Gonghak*, Vol. 11, No. 5, pp. 16-22 (1983).
7. T. S. Mcknight, "The Hygroscopicity of Wood Treated with Fire-retarding Compounds", *Fore. Prod. Res. Branch, Dep. of Forestry, Canada. Report No. 190* (1962).
8. S. M. Draganov and F. T. Winters, Jr. "An Evaluation of Borates and other Inorganic Salts as Fire Retardants for Wood Products", *Fore. Prod. J.*, Vol. 15, No. 12, pp. 463-467 (1965).
9. I. S. Goldstein and W. A. Dreher, "A. Non-hygroscopic Fire Retardant Treatment for Wood", *Fore. Prod. J.*, Vol. 11, No. 5, pp. 235-237 (1961).
10. R. Kozlowski and M. Hewig, "1st Int Conf. Progress in Flame Retardancy and Flammability Testing", *Pozman, Poland, Institute of Natural Fibres* (1995).
11. R. Stevens, S. E. Daan, R. Bezemer and A. Kranenbarg, "The Structure-activity Relationship of Retardant Phosphorus Compounds in Wood", *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 91, No. 4, pp. 832-841 (2006).
12. Y. J. Chung, Y. H. Kim and S. B. Kim, "Flame Retardant Properties of Polyurethane Produced by the Addition of Phosphorous Containing Polyurethane Oligomers (II)", *J. Ind. Eng. Chem.*, Vol. 15, No. 6, pp. 888-893 (2009).
13. Y. J. Chung, "Flame Retardancy of Veneers Treated by Ammonium Salts", *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 18, No. 3, pp. 251-255 (2007).
14. M. L. Hardy, "Regulatory Status and Environmental Properties of Brominated Flame Retardants Undergoing Risk Assessment in the EU: DBDPO, OBDPO, PeBDPO and HBCD", *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 64, No. 3, pp. 545-555 (1999).
15. Y. Tanaka, "Epoxy Resin chemistry and Technology", *Marcel Dekker, New York* (1988).
16. V. Babrauskas, "New Technology to Reduce Fire Losses and Costs", eds. S. J. Grayson, D. A. Smith, *Elsevier Applied Science Publisher, London, UK* (1986).
17. ISO 5660-1, "Reaction-to-Fire Tests-Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)", *Genever* (2002).
18. M. M. Hirschler, "Thermal Decomposition and Chemical Composition", 239, *ACS Symposium Series 797* (2001).
19. Cischem com, "Flame Retardants", *Chischem. Com. CO., Ltd.* (2009).
20. Y. J. Chung and E. Jin, "Synthesis of Dialkylaminoalkyl Phosphonic Acid and Bis(dialkylaminoalkyl) Phosphinic Acid Derivatives", *Appl. Chem. Eng.*, Vol. 23, No. 6, pp. 383-387 (2012).
21. W. T. Simpso, "Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes", Chap. 12, pp.1-21, *Wood Handbook-Wood as an Engineering Material, Forest Product Laboratory U.S.D.A., Forest Service Madison, Wisconsin, U.S.A.* (1987).
22. M. Delichatsios, B. Paroz and A. Bhargava, "Flammability Properties for Charring Materials", *Fire Safety J.*, Vol. 38, No. 3, pp. 219-228 (2003).
23. M. J. Spearpoint and J. G. Quintiere, "Predicting the Burning of Wood Using an Integral Model", *Combust. Flame*, Vol. 123, No. 3, pp. 308-324 (2000).
24. V. Babrauskas, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Fourth ed., *National Fire Protection Association, Massachusetts, U.S.A.* (2008).
25. M. Risholm-Sundman, M. Lundgren, E. Vestin and P. Herder, *Holz als Roh-und Werkstoff*, Vol. 56, No. 2, p. 125 (1998).
26. J. G. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", Chap. 5, *Cengage Learning, Delmar, U.S.A.* (1998).