

암모늄염으로 처리된 느티나무의 난연성 시험

정영진[†]

강원대학교 소방방재공학과
(2010년 9월 6일 접수 ; 2010년 11월 9일 채택)

Flame Retardancy of *Zelkova Sarrata* Treated with Ammonium Salts

Yeong-Jin Chung[†]

[†]*Dept. of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National University,
Gangwon-do 245-711, Korea
(Received September 6, 2010 ; Accepted November 9, 2010)*

Abstract : This study was performed to test the flame retardancy of *zelkova sarrata*-based materials by the treatment of ammonium salts. *Zelkova sarrata* plate was soaked by the treatment with three 20 wt% ammonium salt solutions consisting ammonium chloride (AMSL), monoammonium phosphate (MAPP), and diammonium phosphate (DAPP), respectively, at the room temperature. After the drying specimen treated with chemicals, combustion properties were examined by the cone calorimeter (ISO 5660-1). When the ammonium salts were used as the retardant for *zelkova sarrata*, the flame retardancy improved due to the treated ammonium salts in the virgin *zelkova sarrata*. However the specimen shows increasing CO over virgin *zelkova sarrata* and It is supposed that toxicities depend on extents. Also, the specimen with ammonium salts showed the higher total smoke release (TSR) than that of virgin plate. Of specimens treated with ammonium salts the ammonium chloride handled the test side was considered a improved inhibitory effect of combustion.

Keywords : *ammonium salts, flame retardancy, total smoke release (TSR), combustion properties*

1. 서론

천연 고분자 물질인 목질재료의 가장 큰 취약점은 언제나 화재의 위험성을 내포하고 있다 [1]. 그러나 목재는 천연자원 중의 하나로 안락

한 느낌과 따뜻한 질감, 음향 등에 대한 반사나 잔향이 작고 물리적 및 기계적 특성 등이 우수하기 때문에 일반 가정주택에서부터 중형 건축물들의 가구재, 장식재, 구조재 등으로 광범위하게 사용되고 있다. 목질재료의 가연성을 개선하고자 하는 연구는 꾸준히 이어져 왔으며, 주로 난연제(flame retardant agent)를 사용하여

[†]주저자 (E-mail : yjchung@kangwon.ac.kr)

목질재료의 난연성을 향상시키고 있다. 가연성인 목재의 문제점을 보완하기 위해 난연성 물질을 가입식과 침지식의 주입방법과 코팅의 방식으로 난연화 시키고 있다. 난연 처리된 목재는 초기 점화 지연과 점화 후 열방출 속도와 화염 전파 속도 등이 감소하는 경향성을 나타내고 있다[2,3].

난연제는 일반적으로 반응형 및 첨가제로 나누며, 첨가형은 다시 유기계와 무기계로 나뉜다. 반응형 난연제는 난연성분이 고분자에 화학적으로 결합되어 있어 내구성이 좋고 난연 효과도 뛰어나지만[4] 혼성 중합체(copolymer)로 중합하여 사용하기 때문에 비용이 비싸고 제조시간이 많이 드는 단점이 있다. 무기계 첨가형 난연제는 가격이 싸고 할로겐화 유기화합물과 상승작용을 일으키며 충전제로 사용가능하다. 유기계 첨가형 난연제는 고분자와의 혼합이 쉽다는 장점이 있다.

최근 난연제에 대한 관심은 단순히 난연 효과 뿐만 아니라 저유해성, 저발연성, 저부식성, 그리고 내열성을 모두 만족시키는 쪽으로 관심이 모아지고 있으며, 이 같은 이유로 인해 그동안 주로 사용되어오던 할로겐 계통의 난연제 중 특히 브롬계통의 난연제가 유해성 문제로 인해 규제를 받고 있는 실정이다[5,6].

목재의 연소특성에 관한 선행연구로서 Mikkola는 상록교목(spruce)에 대하여 50 kW/m²의 열유속하에서 탄화속도를 측정하였다[7]. Quintiere와 Spearpoint는 연소속도 Data를 이용한 수학적 적분모델과 시간온도 곡선을 이용하여 탄화율과 탄화길이를 측정하였다[8,9]. 이 연구는 발연 착화에 대하여 최소 열유속에 대한 정보를 제공한다. Brenden은 무기염을 사용하여 Douglas-fir 합판에 처리하고, 연소시에 생성되는 연기에 염들이 미치는 영향을 조사하였다[10]. 저자는 베니어에 암모늄염 수용액으로 도포하고 그의 난연성을 보고한 바 있다[11].

화재발생시 목질재료의 안전성은 화재조건에 노출되었을 때의 착화성, 열방출율, 화재의 전파 및 연소가스의 유해성 등으로 평가할 수 있다[12]. 특히 화재에 의한 연기관련 지수는 화재의 전파 및 연소가스의 유해성에 직접적인 영향을 미치고 있어 정확한 연기지수 측정은 화재안전 측면에서 매우 중요한 요소로서 인식되고 있다.

따라서 본 연구에서는 목질재료의 효과적인

활용에 대한 화재 위험성을 개선하기 위하여 진술한 방법중 목질재료의 특성상 난연성을 첨가하는 방법을 택하였고, 열 및 연기관련 지수를 측정하여 난연성을 고찰하였다. 즉, 3종의 암모늄염계인 염화암모늄(ammonium chloride), 제일인산암모늄(monoammonium phosphate), 제이인산암모늄(diammonium phosphate)의 수용액에 자연 건조시킨 느티나무 시험편을 함침시켜 건조시킨 후 cone calorimeter(ISO 5660-1)[13]를 이용하여 열 및 연기관련 지수를 측정하고, 적용된 재료의 연소성을 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 시험편은 느티나무 목재로서, 베어 놓은 후 4 yr 동안 자연건조 시켰다. 화학적 첨가제로서 ammonium chloride [(NH₄Cl), monoammonium phosphate [NH₄H₂PO₄], diammonium phosphate [(NH₄)₂HPO₄]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 자연건조 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 콘칼로리미터 시험(13)

Dual cone calorimeter (Fire Testing Technology)에 의한 열방출률 측정은 대부분의 유기재료가 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출되는 산소소비 원리를 바탕으로 하고 있다[14]. 설정한 복사열에 노출된 시험편이 착화되어 연소될 때의 열방출률은 연소 생성물 흐름속의 산소 농도와 유속으로부터 유도된 산소 소비량을 측정하여 평가하였다. 재료의 연소로 인한 열방출률과 단위면적당 열방출률은 식 (1)과 (2)에 의하여 계산된다.

$$\dot{q}(t) = (\Delta h_c / r_o)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \frac{X^{\circ}O_2 - XO_2}{1.105 - 1.5XO_2} \quad (1)$$

$$q_A(t) = \dot{Q}/A = \dot{q}(t)/A_s \quad (2)$$

이때 $q_A(t)$: 단위면적당 열방출률(kW/m²), $\dot{q}(t)$: 열방출률(열방출속도) (kW), A_s : 실험체의 표면적(m²), Δh_c : 순수연소열(kJ/kg), r_o : 화학양론적 산소 대 연료 질량비, C : 산소소비량 보정상수(m^{1/2}kg^{1/2}K^{1/2}), ΔP : 오리피스스의 압력차(Pa), T_e : 오리피스에서의 기체의 절대온도(K), XO_2 : O₂의 몰분율에 대한 산소분석기 눈금 판독 값, $X^{\circ}O_2$: 산소분석기 눈금의 초기 값이다.

사용한 시험편의 크기는 100 mm x 100 mm x 10 mm(±2 mm)의 규격으로 제작하였으며, 시험조건은 습도 50 %, 온도 23 °C 조건을 유지하였다. 시험편은 단열재인 저밀도 유리섬유를 이용하여 높이를 조절하였으며, 시편 홀더의 열손실을 감소시키기 위하여 전도도가 낮은 고밀도 세라믹판 재료로 절연시켰다. 시편홀더는 수평방향으로 위치시켰다. 시편의 체적밀도는 시험하기 전에 부피와 무게를 측정하여 계산하였다.

설정된 외부 열유속에 노출된 시편이 착화되어 연소될 때의 열방출률은 연소 생성물 흐름 속의 산소 농도와 유속으로부터 유도된 산소 소비량을 측정하여 평가하였다. 연소시험은 지속적인 불꽃 연소가 시작된 때부터 30 min 경과 후에 종료하였으며, 추가로 2 min간의 데이터 수집시간을 부여하였다.

본 연구에서 선정된 시험목은 콘칼로리미터에 수평으로 설치하고 외부 점화장치를 부착한 상태로 50 kW/m² 외부 열유속에 수십분 동안

노출시켜 착화되는 시간과 착화된 시료로부터 열방출률 및 연기 관련 지수를 구하였다.

2.4 함수율 측정

함수율은 일정량의 시료를 105 °C의 건조기에서 장시간 건조시키면서 시료의 중량을 4 h 간격으로 더 이상 중량변화가 없을 때까지 측정하고 다음 식을 이용하여 계산하였다[15].

$$MC(\%) = \frac{Wm - Wd}{Wd} \times 100 \quad (1)$$

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

자연 건조된 느티나무의 함수율은 10.2 wt%였으며, 암모늄염 처리후의 느티나무 시험편의 암모늄염 함침량은 NH₄Cl, NH₄H₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄에 대하여 각각 0.85 g, 0.39 g, 0.31 g으로 나타났다. 이것은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 콘칼로리미터 시험

질량감소율(MLR)은 화재거동에 대하여 추가적인 정보를 준다[16]. 이들 결과는 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. 즉, 느티나무 시험편에 ammonium chloride, monoammonium phosphate, diammonium phosphate가 처리된 시험편에서 평균 MLR_{mean}은 각각 0.029 g/s, 0.032 g/s, 0.027 g/s으로서 무처리한 시험편(0.039 g/s)에 비하여 낮았다. 시험편의 표면에 대한 외부 열유속과 화염으로부터의 열유속은 시험편으로부터 열방출률이 최대로 빨리 다다르게 한 다음 열분해 전단이 이동함에 따라 숲

Table 1. Properties of *Zelkova Sarrata* Plates Treated with 20 wt% Ammonium Salt Solutions

Samples (<i>Zelkova Sarrata</i>)	Chemical content (g)
Untreated	-
Ammonium chloride (NH ₄ Cl)	0.85
Monoammonium phosphate (NH ₄)H ₂ PO ₄	0.39
Diammonium phosphate (NH ₄) ₂ HPO ₄	0.31

Table 2. Combustion Properties of *Zelkova Sarrata* Plates Treated with Ammonium Salt Solutions (Part 1)

Samples (<i>Zelkova Sarrata</i>)	MLR _{mean} (g/s)	HRR _{mean} (kW/m ²)	EHC _{mean} (MJ/kg)
untreated	0.039	71.74	16.34
t-AMCL	0.029	44.44	13.36
t-MAPP	0.032	50.58	14.78
t-DAPP	0.027	45.94	14.1

t, treated; AMCL, ammonium chloride; MAPP, monoammonium phosphate; DAPP, diammonium phosphate; MLR, mass loss rate; HRR; heat release rate; EHC, effective heat of combustion.

층이 점진적으로 생성된다. 이것은 암모늄염 처리 시험편의 숯생성에 의한 연소억제 효과에 의해 질량손실 속도가 감소되는 것으로 설명될 수 있다[8]. 이 숯층은 열유속에 노출된 시험편의 표면과 열분해 전단 사이에 증가되는 열적 저항을 형성한다. 결과적으로 열방출률이 지속적으로 감소된다. 또한 이에 대하여 MLR (\dot{m})은 다음과 같은 관계식으로 주어진다[17].

$$\dot{Q} \text{ (HRR)} = \dot{m} \cdot \Delta h_c$$

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

여기에서 \dot{Q} (kW)= HRR; \dot{m} (kg/s)= MLR; Δh_c (kJ/kg)= EHC으로 표시된다.

MLR (\dot{m})은 HRR을 유효연소열(effective heat of combustion, EHC)로 나눈 값으로 표시된다. HRR은 연소모델링을 위하여 중요한 측정치로서 식 (3)에 나타낸 바와 같이 질량감소율(MLR)과 유효연소열(Δh_c)의 곱으로 표현된다. Table 2의 HRR은 \dot{Q} (kW)를 단위면적(A)으로 나눈 값으로서 암모늄염 처리 시험편에 대하여 각각 ammonium chloride (44.44 kW/m²), monoammonium phosphate (50.58 kW/m²), diammonium phosphate (45.94 kW/m²)으로 나타낸 바와 같이 무처리한 시험편(71.74 kW/m²)에 비하여 낮게 나타났다. 이것은 암모늄염 처리 시험편의 연소억제 효과로 열방출률이 낮아졌음을 의미한다.

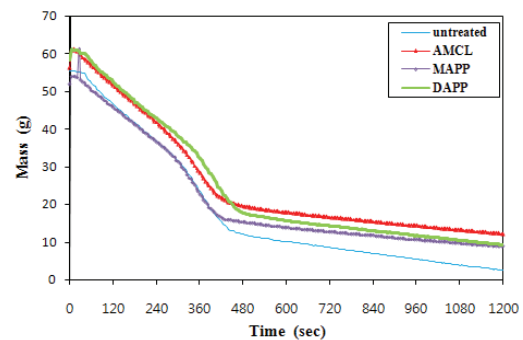


Fig. 1. Mass loss curves of *zelkova sarrata* Plates treated with ammonium salt solutions at 50 kW/m² external heat flux. t, treated; AMCL, ammonium chloride; MAPP, monoammonium phosphate; DAPP, diammonium phosphate.

유효연소열(EHC)은 한 가지의 분해 형태를 갖는 균일한 시험편의 연소시간 동안의 상수로서 이론적인 순연소열의 값보다 적다[17]. 한 가지 이상의 분해형태를 갖는 재료나 복합재료 또는 비균일한 재료의 유효연소열은 반드시 일정하지는 않다. Table 2에 나타낸 바와 같이 암모늄염 처리 시험편에 대하여 각각 ammonium chloride (13.36 MJ/kg), monoammonium phosphate (14.78 MJ/kg), diammonium phosphate (14.1 MJ/kg)으로 나타낸 바와 같이 무처리한 시험편(16.34 MJ/kg)에 비하여 낮았다. 이것은 암모늄염 처리 시험편의 숯생성에 의한 연소억제 효과가 향상되어 유효연소열이 낮아짐을 의미한다.

느티나무 시험편에 ammonium chloride, monoammonium phosphate, diammonium phosphate가 처리된 시험편에서 CO 가스의 평균 발생량은 각각 0.1092 kg/kg, 0.1088 kg/kg, 0.1289 kg/kg으로서 무처리한 시험편의 CO 발생량(0.0676 kg/kg)에 비하여 비교적 높게 나타났다. CO 발생량은 연소조건에 높게 의존된다. 즉, 시험편의 숯생성에 의한 연소억제 효과에 의하여 암모늄염 처리 시험편이 불완전한 연소조건을 조성하기 때문으로 설명된다. 또 이것에 대하여 연소시간 측면에서 고려하면 Fig. 2 에서 보여준 바와 같이 시험편의 착화후 monoammonium phosphate 처리 시험편은 45 s 및 465 s 이후 급격한 상승의 CO 발생속도를 보였으며, diammonium phosphate 처리 시험편은 394 s 이후 급격한 상승의 CO 발생속도를 나타내었다. 일반적으로 CO는 연소가스 중 가장 독성이 큰 것으로 예상된다. 이 연구에서 인을 함유한 암모늄염이 연소시에 CO의 발생으로 말미암아 어느 정도의 독성을 나타내는 것으로 판단되어진다. 그러나 ammonium chloride로 처리된 시험편은 751 s 이후 CO 발생속도가 감소하므로 비교적 적은 독성을 나타낼 것으로 판단되었다.

CO₂ 가스의 평균 발생량은 ammonium chloride, monoammonium phosphate, diammonium phosphate가 처리된 시험편에 대하여 각각 1.66 kg/kg, 1.66 kg/kg, 1.67 kg/kg 으로 무처리한 시험편의 CO₂ 발생량(1.73 kg/kg)에 비하여 비교적 낮게 나타났다. CO₂ 발생량은 질량감소의 단위 질량당 연소의 정도를 나타낸다. 연소의 효율성, 질량감소를 일으키는 주어진 다른 물질의 양 등에 의존된다. 시험편에 존재하는 유기성 물질의 양과 반대로 시험편에 무기성 물질의 첨가는 그의 연소를 억제시키는 것으로 이해된다. 또 이것에 대하여 CO₂ 발생속도 측면에서 고려하면 Fig. 3 에서 보여준 바와 같이 시험편의 착화 후 암모늄염 처리 시험편은 무처리한 시험편보다 최대 CO₂ 발생속도가 낮게 나타났다. 특히 무처리한 시험편의 최대 CO₂ 발생속도가 381 s 부근에서 발생한 것을 감안하면 diammonium phosphate 처리 시험편은 424 s 부근에서부터 발생하였다. 이것은 CO₂ 발생속도, 또는 시간적 측면에서 diammonium phosphate 처리가 시험편의 연소억제 효과가 매우 양호한 것으로 판단된다. 또

CO/CO₂비도 0.771로 ammonium chloride, monoammonium phosphate 처리의 0.065에 비하여 크며, 무처리한 시험편(0.039)에 비하여 독성에 영향을 미칠 것으로 짐작할 수 있었다.

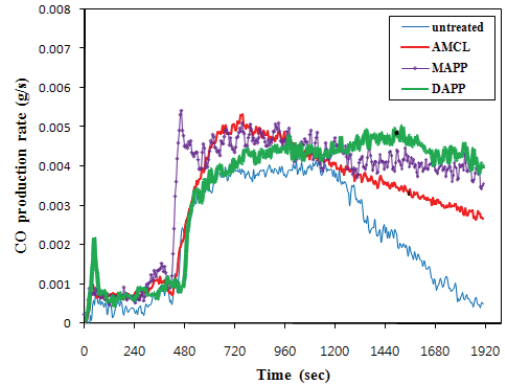


Fig. 2. CO production rate curves of *zelkova sarrata* Plates treated with ammonium salt solutions at 50 kW/m² external heat flux.

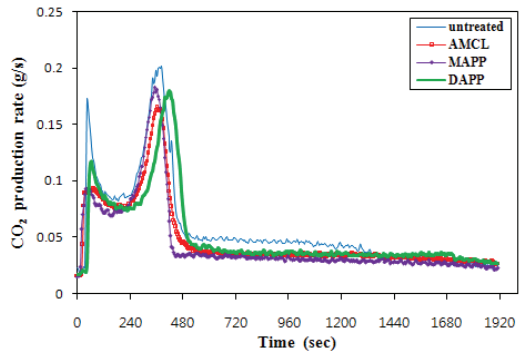


Fig. 3. CO₂ production rate curves of *zelkova sarrata* Plates treated with ammonium salt solutions at 50 kW/m² external heat flux.

Fig. 4는 시험편에 각각 다른 암모늄염 처리 조건 및 미처리 조건의 시간에 따른 연기발생속도를 나타내었다. 암모늄염 처리 시험편은 무처리한 시험편보다 높은 최대 연기발생속도 (SPR)를 나타내었다. 특히 무처리한 시험편의 최대 연기발생속도가 40 s 부근에서 발생하였으며, diammonium phosphate 처리 시험편은

같은 시간대에 매우 강력한 최대의 연기발생속도를 나타내었다. 이것은 diammonium phosphate 처리가 불완전 연소로 인한 시편의 연소억제에 효과가 큰 것으로 판단된다.

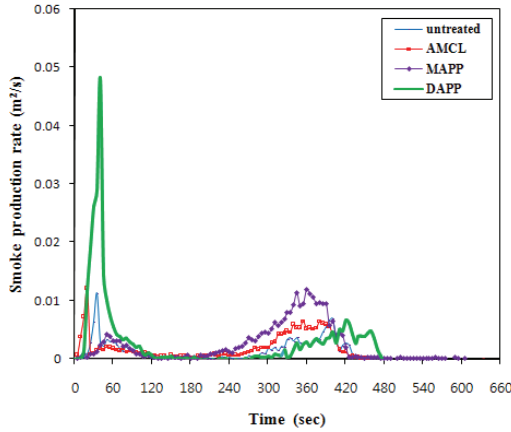


Fig. 4. SPR curves of *zelkova serrata* Plates treated with ammonium salt solutions at 50 kW/m² external heat flux.

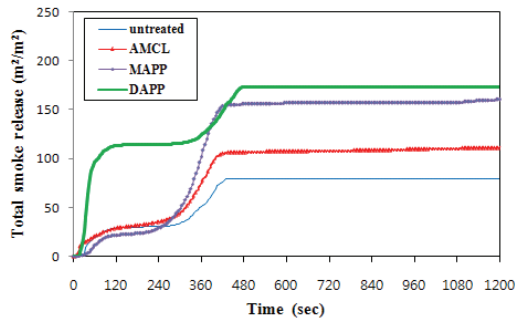


Fig. 5. TSR curves of *zelkova serrata* Plates treated with ammonium salt solutions at 50 kW/m² external heat flux.

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 다환고리 방향족 탄화수소로 구성된다. 그리고 타지 않은 숯은 빛을 반사시키는 원인이 되며 불꽃 영역으로부터 불완전 연소를 만드는 연기로 되어 탈출한다. 무처리한 공시편 및 암모늄염으로 처리된 느티나무 목재의 연기 생성 거동은 열방출 영역에서 연기가 생성 되었으며, 열방출율이 높은 곳에서 연기생성 속도가 초기 연기 생성 속도보다 2~3배정도 증가하였다. ammonium chloride는 연기 생성 속도가 가장 낮아 저발연성 감연제 작용을 하는 것으로 판단된다[10].

연기방출율에 대하여 Table 3 및 Fig. 5에서 보여준 바와 같이 diammonium phosphate로 처리한 시편의 총연기방출율은 160.3 m²/m²으로 무처리한 시편의 총연기방출율 70.3 m²/m²에 비하여 높은 수치를 나타내는 것은 연소억제 효과가 우수하여 많은 연기를 방출하는 것으로 판단된다. 그러나 ammonium chloride 및 monoammonium phosphate의 경우는 각각 102.4 m²/m², 109.7 m²/m²으로 나타났다. 특히 ammonium chloride의 경우는 저발연성 감연제 작용을 하는 것으로 판단된다.

4. 결론

3종의 암모늄염으로 처리된 느티나무 시편에 대하여 목재의 난연성에 관한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 3. Combustion Properties of *Zelkova Sarrata* Plates Treated with Ammonium Salt Solutions (Part 2)

Samples (<i>Zelkova Sarrata</i>)	CO _{mean} (kg/kg)	CO _{2mean} (kg/kg)	CO/CO ₂	TSR (m ² /m ²)
untreaed	0.076	1.73	0.039	70.3
t-AMCL	0.1092	1.66	0.065	102.4
t-MAPP	0.1088	1.66	0.065	109.7
t-DAPP	0.1289	1.67	0.771	160.3

TSR, total smoke release.

1. 유효연소열(EHC) 비교에 의해서 암모늄염 처리 시험편은 13.36 MJ/kg - 14.78 MJ/kg 으로 무처리한 시험편(16.34 MJ/kg)에 비하여 낮게 측정된 것은 암모늄염으로 처리한 것의 연소억제 효과를 보여 주었다.
2. 단위면적에 대한 열방출율(HRR) 측정값도 위와 같은 경향을 나타내며 동일한 의미를 나타낸다. 특히 ammonium chloride로 처리한 시험편은 44.44 kW/m²으로서 무처리한 시험편(71.74 kW/m²)에 비하여 가장 낮은 값을 보였다.
3. 암모늄염 처리한 경우 CO_{mean} 발생량이 무처리한 경우에 비해서 약 1.4-1.7배 정도 많이 발생하여 연소시 독성이 증대되는 것으로 판단된다.
4. Diammonium phosphate로 처리한 시험편의 총연기방출율(TSR)은 160.3 m²/m²으로 무처리한 시험편의 총연기방출율 70.3 m²/m²에 비하여 높은 수치를 나타내었으므로 불완전 연소에 의한 연소억제 효과가 우수한 것으로 판단된다. Ammonium chloride로 처리한 경우는 총연기방출율이 102.4 m²/m²로서 난연성 효과가 존재하는 것은 이들이 저발연성 감연제 작용을 하는 것으로 판단된다.

참고문헌

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.*, **98**, 1101 (2007).
2. S. L. LeVan, "Chemistry of Fire Retardancy", ed. R. Rowell, The Chemistry of Solid Wood, p.531, American Chemical Society, Washington D. C. (1984).
3. R. Kozlowski and M. Helwig, "Progress in Flame Retardancy and Flammability Testing", 1st Int Conf. Progress in Flame Retardancy and Flammability Testing, Institute of Natural Fibres, Poznan, Poland (1995).
4. Y. J. Chung, Fire Retardancy of Recycled Polyurethane Foam Containing Phosphorus Compounds, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **24**(2), 182 (2007).
5. 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.*, **64**, 545 (1999).
6. Y. Tanaka, "Epoxy Resin Chemistry and Technology", Marcel Dekker, Marcel Dekker, New York (1988).
7. E. Mikkola, "Charring of Wood Based Materials", p.547, Proceedings of the Third International Symposium, Elsevier Applied Science, London (1991).
8. J. G. Quintiere, "A Semi-quantitative Model for the Burning Rate of Solid Materials", NISTIR 4840, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, M.D., U.S.A. (1992).
9. M. J. Spearpoint and G.J. Quintiere, "Predicting the Burning of Wood Using an Integral Model", *Combust. Flame*, **123**, 308 (2000).
10. J. J. Brenden, "How nine inorganic salts affected smoke yield from Douglas-fir Plywood", p. 13, U. S. Forest Service, Research Paper FPL-249 (1975).
11. Y. J. Chung, Flame Retardancy of Veneers Treated by Ammonium Salts, *J. Korean Ind. Eng. Chem.* **18**(3), 251 (2007).
12. M. M. Hirschler, Fire Hazard and Toxic Potency of the Smoke from Burning Materias, *Advances in Combustion Toxicology*, **2**, 229 (1990).
13. 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).
14. M. Hirschler, "Thermal Decomposition and Chemical Composition", p.239, American Chemical Society Symposium Series 797 (2001).

15. W. T. Simps, "Wood Handbook-Wood as an Engineering Material", Chap.12, Forest Product Laboratory U.S.D.A., Forest Service Madison, Wisconsin, U.S.A. (1987).
16. M. Delichatsios, B. Paroz and A. Bhargava, Flammability Properties for Charring Materials, *Fire Safety J.*, **38**, 219 (2003).
17. V. Babrauskas, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Fourth ed., National Fire Protection Association, Massachusetts, U.S.A. (2008).
18. J. G. Quintire, "Principles of Fire Behavior", Chap. 5, Cengage Learning, Delmar, U.S.A. (1998).