

목재 및 목질재료용 난연성 폴리우레탄수지 도막의 난연성능*1

김종인*2† · 박종영*2 · 공영토*2 · 이병후*3 · 김현중*3 · 노정관*4

Performance on Flame-Retardant Polyurethane Coatings for Wood and Wood-based Materials*1

Jong-In Kim*2 · Jong-Young Park*2 · Young-To Kong*2 · Byoung-Hoo Lee*3
Hyun-Joong Kim*3 · Jeang-Kwan Roh*4

요 약

본 연구에서는 MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 난연 효과에 대해 고찰하였다. 무처리 MDF와 잣나무판재에 대한 $td\theta$ 는 각각 279.5, 182.5로 나타났으나 난연침지 처리된 무늬단판을 오버레이한 MDF를 난연도장 처리 한 경우 높은 난연성능을 나타냈다. 난연처리한 잣나무판재에 난연도장 처리를 할 경우 $td\theta$ 가 90으로 나타났고, 난연침지 처리 된 무늬단판이 오버레이 된 MDF에 난연도장처리한 경우에는 $td\theta$ 가 0으로 나타난 가장 뛰어난 난연성능을 나타냈다. 전체적으로 난연처리 및 난연도장처리를 한 경우 $td\theta$ 가 감소하는 것으로 나타나 난연성능이 개선되는 것으로 나타났다. 또한 연소도 시험결과 시험편의 중량감소율은 난연처리와 난연도장처리에 의해 감소함으로써 난연성능이 개선되는 것으로 나타났다. 또한 착화 시간과 잔염시간의 측정결과도 유사하게 나타났으며 난연침지 처리 된 무늬단판이 오버레이 된 MDF 및 난연처리된 잣나무판재에 난연도장 처리한 경우 무처리된 경우에 비해 착화시간은 증가되고, 잔염시간은 감소하는 것으로 나타났다.

*1 접수일 2002년 5월 16일, 채택일 2002년 5월 29일.

*2 임업연구원 임산공학과, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

*3 서울대학교 임산공학과, School of Biological Resources & Materials Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

*4 진주산업대학교 임산공학과, Chinju National University, Chinju 660-758, Korea

† 주저자(corresponding author) : Jong-In Kim (e-mail: jikim99@foa.go.kr)

ABSTRACT

In this study, two materials treated with a flame retardant were examined for their fire resistance. The first, MDF (medium density fiberboard) was overlaid by an oak sliced veneer, which was either treated by soaking in a 6wt.% solution of flame retardant chemicals (pentabromine-chlorinated paraffin) or non-treated and then was coated with either a flame retardant polyurethane coating or with a common polyurethane coating. The second material, Pinus koraiensis penal was either treated by a spray treatment using a flame retardant solution or non-treated and then was coated with either a flame retardant polyurethane coating or with a common polyurethane coating. Pentabromine-chlorinated paraffin chemicals were added (6 part of urethane resin) as the flame retardant chemicals in the polyurethane coatings

In the fire resistance test, the $td\theta$ ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}$) decreased with the flame retardant treatment or/and the flame retardant coatings, compared to the untreated sample. Weight loss (%) decreased with the flame retardant treatment or/and the flame retardant coatings.

The ignition time (sec.) increased and the residual flame time (sec.) decreased with the flame retardant treatment or/and flame retardant coatings. Therefore, the flame retardant treatment or/and flame retardant polyurethane coatings have excellent incombustibility.

Keywords: flame retardant, polyurethane coatings, incombustibility

1. 서 론

일반적으로 가연성의 유기질 재료는 300°C 이하에서 탄화, 연소, 용융 등의 변질을 일으키며 무기질 재료와 비교해서 열적 안정성이 약한 것으로 알려져 있다. 또한 목재, 종이, 천(布), 플라스틱 등의 유기재료의 연소는 소위 분해 연소형태를 나타낸다고 알려져 있다. 즉 가열에 의해 이들 재료는 열분해를 일으키고 분해성 가스 속에 CO , H_2 , C_nH_m 등의 가연성 가스와 분해탄소 또는 공기 중의 O_2 와 화합해서 연소한다고 알려지고 있다(차, 1998).

목재는 예전부터 가볍고 비교적 강도가 크며, 열전도율이 적고 가공하기 편리함 등으로 중요한 건축내·외장재로 이용되어져 왔지만 대표적인 가연성 재료로 연소하기 쉽다는 결점을 함께 가지고 있다.

목재의 연소(combustibility)란 목재가 공기 중의 산소와 화학 반응하여 열과 빛을 내고 타는 산화현상을 말하며 목재를 공기 중에서 가열하면 180°C 전후에서 분해가 시작되고 분해가 진행됨에 따라 CO , H_2 , CH_4 등의 가연성 가스가 발생한다고 보고되고 있다.

또한 목재가 연소하는 위험온도를 260°C 로 정하고 이 온도를 목재방화의 기준온도로 정의하고 있다(이 등, 1991, 차, 1998).

이러한 가연성 재료인 목재의 연소를 억제하기 위한 방법으로 방화약제처리 방법(이 등, 1982, 김 등, 1984, 권 등, 1985, 김, 1986, 손 등, 1999)과 난연도료(이 등, 1991, 이 등, 1989)가 주로 이용되고 있으며 전자는 목재내부에 방화효과가 있는 약액(붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 인산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) 등)을 주입시켜 연소를 억제시키는 방법이며 후자는 연소성 및 불꽃의 퍼짐을 지연시키는 방화도료(fire-retardant coatings)와 물체의 표면이 불꽃에 견디는 내화도료(fire-resistance coatings)를 이용해 연소를 억제하는 방법이다. 그러나 현재 국내에서는 건축법 및 소방법에 따라 적용 도료 용도별로 KS M 5328, KS F 2271 및 KS F 2257에 방화, 난연, 내화 및 방염도료로 구분하고 있다(남, 1978, 차, 1998, 김, 1999, 황, 2000).

난연도료의 난연성분으로는 인, 안티몬 이외에도 브롬, 염소 등의 할로겐 원소들이 많이 사용되고 있는

데 그 중에서도 브롬은 기체상태에서 난연효과가 좋기 때문에 연소시에 일어나는 화학반응을 역행시키거나 완료시키며 브롬을 함유하는 무거운 기체를 발생시켜 산소의 접근과 열전달을 방지하는 과정을 통해 열분해 과정보다는 점화나 연소과정에서 난연효과가 훨씬 좋아진다고 보고되고 있다(박 등, 2001).

또한 황 등(2000)은 지금까지 개발된 일반도료 중 가장 선호도가 높은 것은 폴리우레탄 도료이며 도장도막과의 접착성, 내마모성, 내후성 및 내약품성 등이 우수하여 난연도료 제조에 이용된다고 보고하였다.

국내외 연구 동향을 보면 Weil *et al.*(1994)은 방화도료에 인산(phosphoric 과 pyrophosphoric acid)의 멜라민 염(melamine salts)을 혼합하여 방화도료를 제조하였으며, 황 등(2000)은 합성한 트리클로로 방향족 변성 폴리에스테르(TCMP)와 폴리이소시아네이트를 블렌드하여 2성분계 난연도료를 제조하고 도료용 물성시험과 난연시험을 하였다. 또한 정 등(2000)은 무독성의 인계 반응형 난연도료를 제조할 도료 주성분인 모체수지의 구조단위 속에 2개의 인기를 도입한 피로포스포릭 락톤 변성폴리에스테르를 새로이 합성하고 이소시아네이트 경화제를 블렌드하여 상온·경화시켜 폴리우레탄 난연도료를 제조하여 각종 물성시험 및 난연성 시험을 하였으며 김 등(1999)은 수성계 발포성 내화도료에서 수지의 종류와 도료의 PVC가 내화성능에 미치는 영향을 조사하는 등 활발히 연구가 진행되었다. 박 등(2001)은 난연성분인 트리브로모아세트산의 함량을 10, 20, 30 wt%로 변화시키면서 제조한 트리브로모 변성 폴리에스테르를 함유한 2성분계 폴리우레탄 난연도료에 관해 난연성 실험을 하였으며 양 등(2002)은 두 종류의 이소시아네이트와 디클로로 폴리에스테르 폴리올로부터 중합한 폴리우레탄 난연도료의 도막물성 및 난연성에 관해 연구하는 등 활발한 연구가 진행 중에 있다.

따라서 본 연구에서는 목재 및 목질재료에 난연성능을 개선하기 위한 연구로 중밀도섬유판(medium density fiberboard; 이하 "MDF"로 표시)과 잣나무 판재에 대한 다양한 방법의 난연처리 및 난연도장 처리에 대한 난연 효과를 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용한 공시재료는 잣나무 판재(*Pinus koraiensis* S. et Z., 두께 10 mm)와 난연침지처리되지 않은 무늬단판(oak sliced veneer, 두께 0.3 mm)과 난연침지처리된 무늬단판으로 오버레이된 MDF(두께 15 mm)을 사용하였다.

공시재료에 하도도장과 상도도장의 2층(tow coats)을 실시하였으며 하도용 도료는 모업체로부터 분양받은 폴리우레탄계 샌딩실러(투명락카)로 비중 0.99, 점도는 14~16초(NO. 4 Ford viscosity cup, 20°C), 불휘발분은 35 wt.%이었으며 경화제로는 이소시아네이트계를 사용하였다.

공시재료에 하도 도장을 실시한 후 일반 상도도장 처리(이하 일반도장처리로 표시)를 하기 위해 사용된 상도용 도료는 모업체로부터 분양받은 상온 경화형 투명 폴리우레탄수지 도료를 사용하였으며 비중 1.00, 점도는 15~17초(No. 4 Ford viscosity cup, 20°C), 불휘발분은 51wt.%이었다. 난연 상도도장 처리(이하 난연도장 처리로 표시)를 하기 위해서 이용된 도료는 일반도장처리에 이용된 상온 경화형 투명 폴리우레탄 수지도료에 난연성을 부여하기 위한 첨가제(난연제)로 브롬 B(pentabromin+chlorinated paraffin)를 주제인 폴리우레탄수지 도료에 대해 6부(part) 첨가하여 실험하였다. 경화제로는 상도용 이소시아네이트계를 사용하였다.

2.2. 실험방법

MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 설계를 Table 1에 나타내었다.

본 실험에서 사용한 무늬단판은 난연침지처리를 하지 않은 무늬단판과 난연침지처리를 한 무늬단판을 이용하였으며 각각 준비된 무늬단판을 MDF에 접착하여 공시재료를 제조하였다. 무늬단판의 난연처리는 난연제인 브롬 B를 증류수와 혼합하여 6% 난연수용액을 만든 후 이 난연수용액에 무늬단판을 24시간 침

Table 1. Testing design

Flame-retardant treatment		Composition	Abbreviated word
MDF ^{a)}	Untreated	MDF	<i>M</i>
		MDF+oak sliced veneer	<i>M+V</i>
	Treated ^{b)}	MDF+treated oak sliced veneer	<i>M+TV</i>
		MDF+treated oak sliced veneer+coating ^{c)}	<i>M+TV+C</i>
		MDF+treated oak sliced veneer+ fire retardant coating ^{d)}	<i>M+TV+FC</i>
<i>Pinus koraiensis</i>	Untreated	<i>Pinus koraiensis</i> panel	<i>P</i>
	Treated	Treated <i>Pinus koraiensis</i> panel + coating	<i>TP+C</i>
		Treated <i>Pinus koraiensis</i> panel + fire retardant coating	<i>TP+FC</i>

a) Medium density fiberboard, b) Use of a 6 wt.% solution of pentabromine-chlorinated paraffin chemicals (MDF case by oak sliced veneer soak treatment, *Pinus koraiensis* panel by panel surface spray treatment), c) Polyurethan coatingm, d) Pentabromine-chlorinated paraffin chemicals is added (6 part of urethane resin) as the flame retardant chemicals in the polyurethane coatings.

지시된 후 1주일 동안 실온에서 천연건조시키고 천연 건조된 난연침지처리 무늬단판은 초산비닐 수지를 이용하여 MDF에 접착시켜 시험편으로 사용하였다. 이렇게 제작된 시험편은 시험조건에 따라 일반도장처리와 난연도장처리를 실시하였다. 잣나무판재의 난연처리 방법은 제조된 난연수용액을 잣나무 표면에 도포하고 1주일 동안 실온에서 천연건조 시킨 후 시험조건에 따라 일반도장처리와 난연도장처리를 실시하였다.

일반도장처리는 상도도료에 난연제가 첨가되지 않은 폴리우레탄계 상도도료를 이용하여 도장하고 건조시켰으며 난연도장처리는 상도도료에 난연제가 첨가된 폴리우레탄계 상도도료를 이용하여 도장하고 건조시켰다.

도장처리방법은 다음과 같이 실시하였다. 난연침지처리된 무늬단판이 접착된 MDF와 표면에 난연처리된 잣나무 판재를 1차 소지조정(샌딩페이퍼 #180) 한 후 1차 샌딩실러(도포량 200 g/m²)를 붓도장하였으며 실온에서 120분 건조시킨 다음 2차 샌딩실러(도포량 150 g/m²)를 붓도장하였다. 2차 샌딩실러를 도장한 다음 실온에서 24시간 건조시키고 샌딩페이퍼(#320~#600)를 이용하여 연마처리한 후 상도용 도료(도포량 150 g/m²)를 스프레이 도장하였다. 상도용 도료의 도포가 끝난 다음 실온에서 1주일 건조시켰

다. 샌딩실러는 주제: 경화제: 신너(100부:33부:60부)로 조제하였으며 상도용 도료는 주제: 경화제: 신너(100부:50부:50부)로 조제하였다. 난연도장처리에 이용되는 상도용 도료에는 난연제를 주제에 대해 6부를 첨가하였다.

2.3. 내화성능 평가

공시재료의 내화성능 평가는 KS F2271에 의하여 실시하였으며 연소시험기(building material combustibility tester, Toyoseiki Co.)를 이용하여 tdθ (°C·min), 중량감소율, 착화시간 및 잔염시간을 측정하였다.

Fig. 1은 연소시간 경과에 따라 나타난 배기온도곡선(ventilated air temperature curve from sample panel)과 KS L 5114에 규정하는 두께 1 cm인 0.8 석면 필라이트 표준판에 의해 나타난 배기온도곡선(ventilated air temperature curve from standard panel)을 나타내며 Fig. 1로부터 tdθ (°C·min)를 계산하였다.

tdθ (°C·min)은 내화실험을 할 때 측정된 시험편의 배기온도곡선이 측정된 표준판의 배기온도곡선을 넘어서는 부분의 면적(°C·min)으로 정의되어진다.

Table 2. Results of $td\theta$ after incombustibility test

Fire-retardant treatment		Composition	Results
			$td\theta$ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min.}$) ^{a)}
MDF	Untreated	M	279.5
		M+V	160.0
	Treated	M+TV	110.0
		M+TV+C	117.5
		M+TV+FC	0.0
Pinus koraiensis	Untreated	P	182.5
	Treated	TP+C	125.0
		TP+FC	90.0

$td\theta$ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$) is defined as the area between Ventilated air temperature curve from sample panel and ventilated air temperature curve from standard panel.

Fig. 1. Ventilated air temperature curve from sample panel and ventilated air temperature curve from standard panel.

$td\theta$ 가 100 이하인 경우 난연 2급, 350이하인 경우 난연 3급으로 규정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 난연처리 및 난연도장

3.1.1. $td\theta$

MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 연소도실험 후 $td\theta$ 의 결과를 Table 2에 나타내었다. 무처리 MDF와 잣나무판재의 $td\theta$ 은 각각 279.5와 182.5로 나타났다. 그러나 난연침지 처리된 무늬단판이 오버레이 된 MDF와 난연처리 된 잣나무 판재에 난연도장 처리를 한 경우 높은 난연성능을 나타냈다. 난연처리한 잣나무판재에 난연도장처리를 할 경우 $td\theta$ 는 90으로 나타났고 난연침지처리 된 무늬단판이 오버레이 된 MDF에 난연도장 처리 한 경우에는 $td\theta$ 가 0으로 나타나 가장 뛰어난 난연성능을 나타냈다. 전체적으로 난연처리 및 난연도장처리를 한 경우 $td\theta$ 가 감소하는 것으로 나타나 난연성능이 크게 개선되는 것으로 나타났다. 박 등(2001)은 트리브로모 변성 폴리에스테르를 함유한 폴리우레탄 난연도료의 합성과 도막 특성화 연구에서

a) $td\theta$ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$) is defined as the area between the ventilated air temperature curve from sample panel and the ventilated air temperature curve from standard panel.

브롬함량이 증가할수록 난연성이 향상됨을 보여주었으며 열중량분석(TGA)에 의해 브롬은 다른 성분비해 열분해가 먼저 일어나고 브롬가스가 발생하여 산소를 차단시키며 이를 통해 폴리우레탄 도료성분의 연소를 억제하는 자기소화성이 강한 물질이라고 설명하였다. 양 등(2002)은 난연성분으로는 주로 인, 안티몬, 이외에도 브롬, 염소 등의 할로겐 원소들이 많이 쓰인다고 설명하였으며 도료를 제조할 때 난연성분인 2,4-dichlorobenzonic acid(DCBA) 함량이 증가함에 따라 난연효과가 비례적으로 향상되는 것을 보여 주었다. 또한 Jeng 등(2002)은 인성분을 함유한 에폭시 고분자는 뛰어난 난연성질을 나타낸다고 보고하였으며 Giudice & Benítez(2001)는 염소가 함유된 도료에서 난연안료로서 아연 붕산염(zinc borate)을 이용하여 난연성을 개선시킬 수 있다고 보고하여 본 실험의 난연처리 결과와 유사한 관계를 보여주었다.

$td\theta$ 의 측정결과 난연처리와 난연도장 처리된 경우는 시험편 종류에 관계없이 난연 2급($td\theta$ 값이 100이하)으로 판정되었으며, 난연처리 및 난연도장 처리 한쪽 방법만 처리된 경우의 시험편은 난연 3급($td\theta$ 값이 350 이하)으로 판정되었다.

3.1.2. 중량감소율

MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 연소도실험 후 중량감소율을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 무처리의 경우 중량감소율을 비교하면 MDF는 22.2%, 잣나무판재는 30.7%로 나타났으며 난연침지 처리된 무늬단판이 오버레이된 MDF에 난연도장 처리된 경우 17.2%. 난

연처리된 잣나무에 난연도장 처리한 경우 22.2%로서 각각 난연도장처리에 의해 난연성능이 개선된 것으로 나타났다.

3.1.3. 착화시간 및 잔염시간

MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 연소도실험 후 착화시간과 잔염시간의 측정결과는 Table 4에 나타내었다.

난연침지 처리된 무늬단판이 오버레이된 MDF 및 난연처리된 잣나무판재에 난연도장 처리한 경우 무처리된 경우에 비해 착화시간은 증가되고, 잔염시간은 감소하는 것으로 나타났다. 박 등 (2001)은 난연도료의 난연성분으로는 인, 안티몬 이외에도 브롬, 염소 등의 할로겐 원소들이 많이 사용되고 있는데 그 중에서도 브롬은 기체상태에서 난연 효과가 좋기 때문에 연소시에 일어나는 화학반응을 역행시키거나 완료시키며 브롬을 함유하는 무거운 기체를 발생시켜 산소의 접근과 열전달을 방지하는 과정을 통해 열분해 과정에서보다는 점화나 연소과정에서 난연효과가 훨씬 좋아진다고 보고하여 난연도장 처리한 경우 착화시간의 증가와 잔염시간의 감소를 설명하였다. 또한 Zaikov & Lomakin(1997)은 PVA(polyvinyl alcohol)를 기초로 한 저가연성 바니쉬(low flammability

Table 3. Results of weight loss after incombustibility test

Flame-retardant treatment		Composition	Weight loss (%) ^{a)}
MDF	Untreated	M	22.2
		M+V	19.5
	Treated	M+TV	19.1
		M+TV+C	18.4
		M+TV+FC	17.2
Pinus koraiensis	Untreated	P	30.7
	Treated	TP+C	22.4
		TP+FC	22.2

a) Weight loss (%) is evaluated by weighing before and after the incombustibility test.

Table 4. Results of ignition time and residual flame time after incombustibility test

Flame-retardant treatment		Composition	Results	
			Ignition time (seconds) ^{a)}	Residual flame time (seconds) ^{b)}
MDF	Untreated	M	120	435
		M+V	113	371
	Treated	M+TV	177	369
		M+TV+C	195	390
		M+TV+FC	179	210
Pinus koraiensis	Untreated	P	83	409
	Treated	TP+C	215	150
		TP+FC	210	110

a) Ignition time (sec.) is measured from the start of the test to the ignition point.

b) Residual flame time (sec.) is measured from the end of the test to the time the flame was extinguished.

varnish)의 제조에 대한 연구에서 과망간산칼륨 (potassium permanganate: $KMnO_4$)에 의해 산화된 PVA(polyvinyl alcohol)를 cone calorimetry에 의해 측정된 결과 무처리된 PVA와 비교할 때보다 착화시간(ignition time)이 증가하고 열방출률(heat release time)이 급격히 감소하는 경향을 보여주었으며 Gündüz *et al.*(1999) 등은 알키드 수지도료에 난연제로 bis 2,4,6 tribromophenolato bispyridine Cu(II) 복합체와 polydibromo-phenylene oxide를 첨가한 경우 매우 우수한 난연성을 보여주었다고 보고하였다. Zhu & Shi(2002)는 난연물질인 인(phosphorus)을 함유한 폴리우레탄 아크릴레이트 도료의 난연성능을 평가하였으며 난연물질인 인으로 인해 치밀한 탄화층(compact char)이 형성됨으로써 화염 또는 열로부터 고분자물질을 보호할 수 있다고 설명하여 본 실험과 유사한 결과를 보여주었다. 황 등(2000)은 난연성 도료는 자기소화성 도료로서 분해가스가 연소되는 유염 연소과정을 억제시켜 싸이클을 절단하여 무염연소 과정을 정지시킴으로서 방화작용을 하는 것으로 보고하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 MDF와 잣나무 판재에 대한 난연처리 및 난연도장 처리 시험편에 대한 난연 효과에 대해 실험하였다.

무처리 MDF와 잣나무판재에 대한 $td\theta$ 은 각각 279.5, 182.5로 나타났으나 난연침지 처리된 무늬단판을 오버레이한 MDF를 난연도장 처리한 경우 높은 난연성능을 나타냈다. 난연처리한 잣나무판재에 난연도장 처리를 한 경우 $td\theta$ 가 90으로 나타났고 난연침지 처리된 무늬단판이 오버레이 된 MDF에 난연도장 처리한 경우에는 $td\theta$ 가 0으로 나타나 가장 뛰어난 난연성능을 나타냈다. 전체적으로 난연처리 및 난연도장처리를 한 경우 $td\theta$ 가 감소하는 것으로 나타나 난연성능이 개선되는 것으로 나타났다.

또한 중량감소율은 난연처리와 난연도장처리에 의해 감소하는 것으로 나타나 난연성능이 개선되는 것으로 나타났다. 또한 착화시간과 잔염시간의 측정결과도 유사하게 나타났으며 난연침지 처리된 무늬단

판이 오버레이된 MDF 및 난연처리된 잣나무판재에 난연도장 처리한 경우 무처리된 경우에 비해 착화시간은 증가되고, 잔염시간은 감소하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구에 큰 도움을 주신 신광페인트(주) 기술연구소 홍정표 상무님과 이성원 부장님, 정보케미컬 이주용 사장님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Cassens, D. L., W. C. Feist, B. R. Johnson, and R. D. Groot, 1995. Selection and Use of Preservative-Treated Wood, Forest Products Society, Publication No. 7299.
2. Giudice, C. A. and J. C. Benítez. 2001. Zinc borates as flame-retardant pigments in chlorine-containing coatings. *Progress in Organic Coatings* 42: 82~88.
3. Gündüz, G., D. Kisakürek, and S. Kayadan. 1999. Flame retardant alkyd paint. *Polymer Degradation and Stability* 64: 501~504.
4. Jeng, R. J., S. M. Shau, J. J. Lin, W. C. Su, and Y. S. Chiu, 2002. Flame retardant epoxy polymers based on all phosphorus-containing components. *European Polymer Journal* 38: 683~693.
5. Liu, Y. L. 2001. Flame-retardant epoxy resins from novel phosphorus-containing novolac. *Polymer* 42: 3445~3454.
6. Turner, G. P. A. 1988. Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint. Chapman and Hall. New York.
7. Weil E., and B. Mcswigan. 1994. Melamine Phosphates and Pyrophosphates in Flame-Retardant Coatings: Old Products with New Potential. *J. Coat Technol.* 66(839): 75~82.
8. Zaikov, G. E. and S. M. Lomakin. 1997. Innovative type of low flammability varnish based on poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability* 57: 279~282.

9. 권진현, 이필우. 1985. 내화처리가 파아티클보오드와 콤파라이보오드의 기계적성질 및 내화도에 미치는 영향. 목재공학 13(4): 3~5.
10. 김성길. 1999. 수성난연도료의 제조기술 및 응용. 제6회 도료·도장 기술 심포지엄. 한국공업화학회: 123~145.
11. 김종만. 1986. 합판의 내화처리에 관한 연구 III. 제1인산암모늄처리합판의 내화도. 목재공학 14(4): 21~28.
12. 김종만, 정우양, 이필우. 1984. 수종 내화처리제로 처리된 합판의 기계적 성질에 관한 비교연구(I)-처리합판의 휨강도에 미치는 침적시간의 경향. 목재공학 12(2): 20~26.
13. 김태균, 이익수. 1999. 수성계 발포성 내화도료에 관한 연구. 도장기술 통권122호(11/12): 43~46.
14. 남궁봉. 1978. 방화도료의 현황-그 현황과 전망-. 페인트와 잉크. 제 11호: 10~17.
15. 박은경, 양인모, 김대원, 황규현, 박홍수. 2001. 트리브로모 변성폴리에스테르를 함유한 PU 난연도료의 합성과 도막 특성화. 폴리머. 25(3): 391~398.
16. 손정일, 조재성, 서진석. 1999. 내화약제의 처리방법 및 처리단판의 조판형태가 합판의 성능에 미치는 영향. 목재공학 27(3): 39~50.
17. 양인모, 김성래, 박형진, 함현식, 우종표, 박홍수. 2002. 두 종류의 이소시아네이트와 디클로로-폴리에스테르 폴리올로부터 중합한 PU난연도료의 도막 물성 및 난연성. 폴리머 26(2): 193~199.
18. 이필우, 권진현. 1982. 건축재료연소시험기와 경사판시험기를 이용한 합판의 내화도 측정비교. 목재공학 10(2): 2~7.
19. 이필우, 김현중, 엄영근. 1989. 산소지수법에 의한 내화도료처리 목질판상재료의 연소성에 관한 연구. 목재공학 14(2): 205~210.
20. 이필우, 박상진, 이화형, 이원용, 김수창, 정희석, 홍병화, 김종만, 현정인, 정대성. 1991. 목재공학. 향문서. 서울.
21. 이필우, 윤영기, 김현중. 1991. 경사판 시험에 의한 내화도료 처리가 목질판상재료의 내화성능 및 열저항변화에 미치는 영향. 목재공학 16(2): 225~232.
22. 정충호, 최용호, 박홍수. 2000. 피로포스틱 락톤 변성폴리에스테르를 함유한 폴리우레탄 난연도료의 물성 및 난연효과. 한국유화학회지 17(3): 203~211.
23. 차시환. 1998. 방화재료공학. 대학서림. 서울.
24. 한국공업규격. 1998. 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법. KS F 2271.
25. 한국공업규격. 1999. 건축구조 부재의 내화 시험 방법-일반요구 사항. KS F 2257.
26. 한국공업규격. 1995. 건축물 목조 부분의 방화 시험 방법. KS F 2258.
27. 한국공업규격. 1988. 건축용 방화도료. KS M 5328.
28. 황규현, 김대원, 함현식, 박홍수. 2000. 트리클로로 방향족 변성 폴리에스테르를 함유한 폴리우레탄 난연도료의 합성과 난연최적화. 한국유화학회지 17(4): 240~247.