

MDF합판의 방염 및 연소특성에 관한 연구

김인범[†]

경민대학교 소방행정과
480-702 경기도 의정부시 서부로 545
(2013년 10월 31일 접수, 2013년 12월 22일 수정본 접수, 2013년 12월 29일 채택)

A Study on the Flame Resistance and Combustion Characteristics of MDF Plywood

In-Beom Kim[†]

Department of Fire Protection Administration, Kyungmin College, 545 Seobu-ro, Uijeongbu, Gyeonggi 480-702, Korea
(Received 31 October 2013; Received in revised form 22 December 2013; accepted 29 December 2013)

요 약

건축물 내부의 장식을 위해 사용되는 MDF합판은 화염의 착화를 지연시키기 위해 방염처리하도록 규정하고 있어 일반적으로 방염도료나 방염액 또는 방염필름 등을 적용하여 착화를 지연시키는데 이 때 적용하는 시료에 따라 방염 성능과 연소 시 발생하는 가스의 유독성의 차이가 발생할 수 있어 본 연구에서는 MDF에 적용된 방염시료들의 방염 성능 및 연소특성에 대해 비교분석하였으며 그 결과 방염성능에 부합하는 제품이 확인되었으나 방염처리방법에 따라 방염성능의 차이가 존재함을 확인할 수 있었으며 연소과정에서 발생되어지는 여러 종류의 유독가스의 영향도 함께 고려해야 할 요소임을 확인할 수 있었다.

Abstract – Interior of the building is used as a MDF plywood if there is a fire in order to delay the ignition, flame retardant paint, flame retardant solution and flame retardant film are being handled by the flame retardant. Combustion characteristics and flame retardant performance results can be summarized as follows: General film with a sample showed that short of the criteria in terms of carbonation area, and the results of flame retardant paint, flame retardant solution and flame retardant film products satisfied the criteria. Toxic gases generated in the combustion process results in a film samples using a high incidence of carbon monoxide and the creation of a smoke could be seen. This confirms that is estimated that result from incomplete combustion of PVC film that attach, and displays high toxicity index and hazard class relatively.

Key words: MDF Plywood, Flame Retardant, Flame Resistance, Combustion, Toxicity

1. 서 론

실내건축물의 재료 및 내장재로 많이 사용되는 MDF목재의 경우 실내공간을 구획하거나 필요한 인테리어의 설치 등을 위해 다양하게 사용되고 있으며 소비자의 선택에 따라 목재의 질감과 실내디자인 측면에서 설치된 MDF 표면에 접착용 필름이나 시트지를 부착하여 사용하고 있다. 따라서 이러한 내장재로서의 MDF와 적용되는 재료의 경우 화재발생 시 쉽게 착화되어지는 특징을 보유하고 있어서 화재 착화를 지연시키기 위해 방염처리를 하도록 규정하고 있다[1-3].

방염제도가 도입된 이후 방염 후처리 제도는 시료절취방법에 대

한 민원으로 1994년 폐지되었으며 후처리 물품에 대해서는 선처리 하도록 유도하였으나 합판, 목재 등은 선처리 물품이 생산되지 아니하므로 1998년에 해당품목에 한해 방염 후처리 제도가 부활하였다. 또한 1997년에는 규제완화차원에서 누구나 방염처리를 할 수 있도록 방염처리면허제도를 폐지하여 처리업체의 난립으로 인한 경쟁력 약화와 방염성능의 품질저하라는 문제점이 표출되어졌다. 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 제12조 및 동 시행령 제19조와 제20조에 근거하여 합판, 목재, 섬유판과 같은 현장방염처리 물품의 경우는 소방대상건축물에 방염도료 등을 처리한 후 일선소방서에서 검사를 실시하고 있으며(소방용 기계·기구의 형식승인 등에 관한 규칙 제2장) 소방관이 현장에 출장하여 시료 채취 후 사용내역을 확인하고 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하여 기준에 대하여 적합여부를 판정하고 있다. 현장에서 사용되는 방염처리 방법은 MDF와 같은 내장재에 대해 방염액이나 방염도료 등을 분무하거나 붓 등을 사용하여 도장하는 방법을 사용하고 최근에는 방염필름 또는 일반필름을 표면에 부착시키는 방법을 사용하고 있는데 이렇게

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ibkim@kyungmin.ac.kr

‡이 논문은 동국대학교 화공생명공학과 김병식 교수님(초당대학교 총장님)의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

방염처리를 하였더라도 초기착화방지에 실패한 경우 화재가 성장하게 되면 방염처리를 한 내장재라 하더라도 화재가 진행될 수밖에 없어 방염처리 대상물의 연소 특징과 방염성능 평가가 중요한 의미를 지니고 있다[4-9]. 또한 건축물의 내장재에 대한 방염처리는 초기착화방지 및 지연효과를 통해 재실자의 피난시간 확보 및 소방대의 출동시간을 확보하기 위함인데 이러한 제품에 대해서 방염성능 및 연소특성에 대한 평가가 잘 진행되고 있지 않아 이를 확인하고 평가할 필요성이 대두되어진다[10-13].

따라서 본 연구에서는 시중에 유통되는 대표적인 방염액과 방염도료, 방염필름, 일반필름을 MDF합판에 적용시켜 방염성능 평가기준에 근거하여 방염성능 및 연소성상을 통한 독성지수를 비교하여 분석하여 보았다.

2. 실험

2-1. 실험재료

본 연구에 사용되어진 MDF목재는 가로 0.29 m × 세로 0.19 m × 두께 0.009 m로 되어진 MDF를 실험재료로 사용하였으며 표면에 아무런 처리가 되어있지 않은 MDF목재 시료와 이 목재시료 위에 방염액을 도포하거나 방염필름을 부착하여 방염성능을 비교하는 실험에 사용하였다. 방염액은 시중에서 일반적으로 판매되고 적용되는 방염도료와 방염액으로 방염처리 시약으로 선택하여 사용하였으며 이 제품들의 주요성분은 인 화합물로 제품을 적용하였다. 방염필름 및 비방염필름 또한 시중에서 일반적으로 사용되고 있는 A사의 제품을 각각 사용하였으며 실험에 사용된 시료에 대해서는 Table 1에 정리하였다. 본 실험에 사용되어진 MDF목재와 방염처리된 시료는 방염성능 측정실험 진행에 앞서 40±2 °C 항온 건조기 안에서 24시간 건조한 후 실리카 겔을 넣은 데시케이터 안에서 2시간 동안 넣어 둔 후 실험에 사용하였다. 연소가스 분석실험에는 각각의 시료가 화염에 가열되는 면적을 동일하게 하고자 0.02 m × 0.02 m(2~3 g)로 절단하여 23±2 °C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였다.

2-2. 실험장치 및 실험방법

MDF목재의 방염 성능평가는 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제2항 규정에 의해 방염대상물의 방염성능 기준에 관한 사항을 기술한 방염제의 형식승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0201)에 근거하여 45° 연소시험방법에 의해 45° 연소측정장치를 사용하여 진행하였다[1,14,15]. 실험에 사용한 장치를 Fig. 1에 나타내었다.

시료는 실험장비 내의 시험체 받침틀 내에 느슨하지 않게 고정시킨 후 버너의 불꽃길이가 65 mm가 되도록 한 뒤 불꽃 끝이 시편 중앙하단에 접하도록 하였고 가열은 시료에 대해 2분간 진행하였으며 가열시간 중에 착염되는 시료에 대해서는 착염한 후부터 2초 후에

버너를 제거하였다, 방염성능 평가기준은 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리며 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간을 의미하는 잔염시간이 10초 이내, 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리지 아니하고 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간(잔염이 생기는 동안의 시간은 제외)을 의미하는 잔신시간이 30초 이내, 불꽃에 의해 탄화된 면적이 50 cm² 이내, 불꽃에 의해 탄화된 길이를 의미하는 탄화길이가 20 cm 이내이어야 한다. 이 때 탄화면적의 측정은 digital planimeter인 KOIZUMI사의 KP-90N 기기를 이용하였다. 또한, 방염처리된 시료가 연소할 때 발생되어지는 연소가스에 대한 분석실험을 DS 02-713(Defence Standard 02-713) 방법에 의해 진행하여 유독성을 평가하였는데 테스트 챔버와 시료 등을 DS 02-713 방법에 근거하여 준비하고 실험하였으며 가스의 측정은 가스 검지관을 테스트 챔버 내에 삽입하여 분석하였고 Madur사의 가스분석장치인 GA-21plus를 이용하였는데 장치 및 장치의 구성요소와 규격은 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다[15].

시료가 연소할 때 발생하는 연소가스의 분석실험에는 각각의 시료가 화염에 가열되는 면적을 동일하게 하고자 0.02 m × 0.02 m로 절단하여 23±2 °C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였는데 연소 챔버 바닥 중앙에 위치한 시편지지대에 시편을 올려놓고 버너 불꽃의 길이를 100 mm 정도로 유지시켜서 시편에 노출되도록 하였으며 연소 챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는 것을 확인한 다음 연소 챔버 우측에 위치한 가스 검지관 삽입구를 통해 가스 검지관을 삽입하고 버너에 연료를 공급함과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시료가 충분히 연소할 수 있도록 자유 연소시킨 후 그 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합 팬을 작동시킨 후 즉시 연소 챔버로부터 가스 검지관에 의해 5분간 가스농도를 분석하였다. 연소가스의 농도에 대한 분석은 각각의 시료마다 3회의 실험을 통해 얻어진 값을 평균하여 사용하였으며 가스분석이 끝나면 연소 챔버의 문을 열고 강제



Fig. 1. A photo of 45° combustion tester.

Table 1. Specimens used for this study

Sample	Component	
A	MDF	No treatment
B	MDF + Flame retardant paint	
C	MDF + Flame retardant solution	
D	MDF + Flame retardant film	
E	MDF + Non-flame retardant film	

Table 2. Characterization of combustion chamber

Component	Spec/Use
Combustion chamber	0.96 m ³
Bunsen burner	Height 125 mm, diameter 11 mm
Circulation pan	Uniform concentration of combustion gases in chamber
Forced exhaust system	After the end of the experiment the combustion gases
Gas detection tube inlet	Gas concentration measurement



(A) chamber



(B) analyzer

Fig. 2. Experimental apparatus of combustion gas tester.

배출장치를 가동시켜 연소 챔버 내의 잔류 연소생성물을 완전히 배출시키고 3분 이상 강제배출을 진행하였다. 이 때 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO) 및 질소산화물(NO_x)의 농도는 실험 전 연소 챔버 내에서 버너의 불꽃을 1150±50 °C로 조정하고 1분간 자유 연소시킨 후 연료를 차단하고 30초 동안 순환 팬을 작동시킨 후 가스농도를 분석하여 이 값을 실험값에 보정하여 사용하였다.

DS 02-713 방법에서는 시료에서 발생하는 유독가스의 양을 평가하기 위해 가스를 1 m³의 체적을 기준으로 100 g의 시료에 대해 발생하는 연소가스의 값으로 환산하여 평가하게 되며 이렇게 계산되어진 각각의 연소가스 발생량은 그 시료가 연소함에 의해 발생하는 연소가스가 인체에 노출되어질 때 얼마나 치명적일 수 있는지를 독성지수(toxicity index)로 표현하게 되는데 먼저 발생하는 각각의 가스들은 GA-21plus 가스 분석기를 통해 측정된 값을 시료 100 g에 대한 발생량(C_θ)으로 환산하여 사용하며 그 계산식으로 다음 식 (1)을 이용하였다.

$$C_{\theta}(\text{ppm}) = \frac{C_i \times 100 \times V}{m} \quad (1)$$

C_i; 각각의 연소가스 농도(ppm)

Table 3. The values of concentration of the gas considered fatal to man for a 30 minute exposure time

Gas	C _f (ppm)
CO ₂	100,000
CO	4,000
H ₂ S	750
NH ₃	750
HCHO	500
HCl	500
CH ₂ CHCN	400
SO ₂	400
NO _x	250
C ₆ H ₅ OH	250
HCN	150
HBr	150
HF	100

Table 4. Criteria for Hazard Class by Toxicity Index Range

Toxicity Index Range	Hazard Class	Hazard response
less than 0.4	0	none
0.4~1.5	I	A little hazard
1.5~2	II	hazard
2~4	III	Heavy hazard
more than 4	IV	Severe hazard

V; 연소챔버의 체적(m³)

m; 시료의 질량(g)

또한 각각의 시료에 대한 독성지수(toxicity index)는 다음의 식 (2)에 의해 계산되어졌는데

$$\text{Toxicity index} = \frac{C_{\theta 1}}{C_{f1}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}} \quad (2)$$

C_θ; 각각의 연소가스 측정농도(ppm)

C_f; 30분 노출 시 사람에게 치명적일 수 있는 가스농도

여기에서 C_f값들은 가스의 종류에 따라 다르기 때문에 그 값을 Table 3에 나타내었는데 이렇게 측정과 계산을 통해 얻어진 독성지수의 값은 그 값이 큰 시료일수록 그만큼 인체에 대해 유독한 결과를 발생시킬 수 있음을 의미하며 다음 Table 4에 독성지수에 대한 위험등급 기준을 명시하였다.

3. 결 과

3-1. 방염성능 비교

방염 성능기준 KOFEIS 1001에 근거한 45° 연소시험방법으로 얻어진 실험결과를 Table 5에 정리하였다. 일반적으로 실내 내장재로 사용되는 MDF목재(시료 A)에 대한 방염테스트의 경우 탄화길이는 방염 성능기준 내에서 그 값을 나타내었지만 버너의 불꽃을 제거한 후 시료에 존재하는 잔염이 90초 이상 지속되고 이 잔염이 사라진 후 시료 표면의 잔신 또한 30초 이상이 지속되었고 탄화면적 또한 기준인 50 cm²를 크게 웃도는 결과를 나타내었다. 따라서 일반적인 MDF목재의 경우 방염성능을 갖추고 있지 않음을 알 수

Table 5. Results of Flame Retardant Performance

sample	Test criteria	Remaining flame time (sec)	Smoldering time (sec)	Carbonized area (cm ²)	Carbonized length (cm)
		less than 10 sec	less than 30 sec	less than 50 cm ²	less than 20 cm
A		90+	30+	160.3	18.7
B		0	0	34.6	8.9
C		0	0	29.1	7.0
D		0	0	33.0	8.7
E		0	0	50.8	10.7

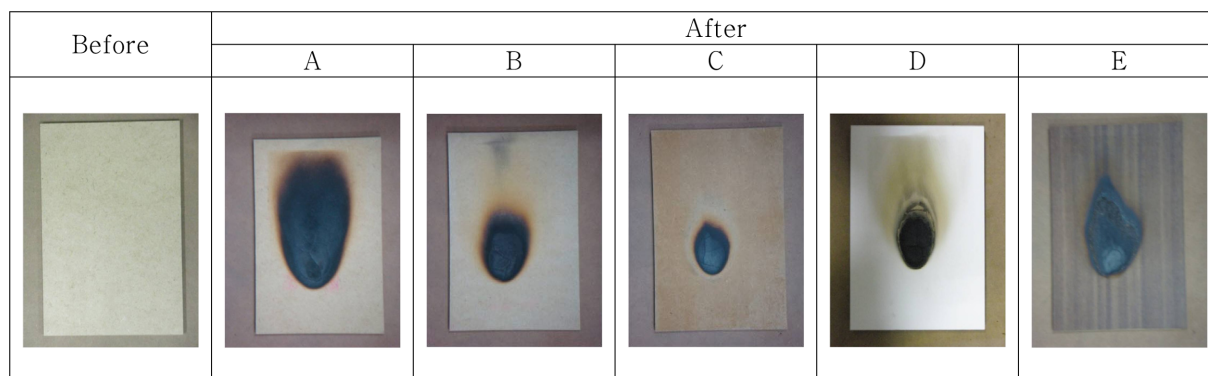


Fig. 3. Experimental result of flame retardant test.

있으며 방염액과 방염도료 및 방염필름을 사용한 시료 B, C, D에 있어서 방염 성능기준을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 일반필름을 부착한 시료 E의 경우는 탄화면적이 있어서 방염성능기준을 초과하는 탄화면적을 나타내어 방염성능기준을 충족시키지 못하였다. MDF목재의 방염성능 시험 전후의 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다.

서론에서도 언급하였듯이 건축물의 내장재로 많이 사용되는 MDF 목재는 방염도료, 방염액, 방염필름 등을 도포 또는 부착시키는 방법에 의하여 현장방염처리하는 방법을 사용하고 있는데 방염액과 방염도료를 도포한 시료 B와 시료 C는 방염성능 기준을 충족하였지만 필름을 사용한 시료 D와 E는 탄화면적이거나 탄화길이, 잔신 등에서 다소 애매한 경향을 보였는데 연소과정에서 연기의 발생이 많고 필름이 우선적으로 녹아내리면서 불꽃과 연기를 다량 배출하는 모습을 나타내었다. 이는 대부분의 필름 재질이 PVC 계통으로 불꽃에 접촉되어질 때 쉽게 용융되어지면서 MDF 표면에 융착되는 모습이 나타나고 그을음이 형성되는 모습을 보였다. 이는 PVC의 경우 포함되어진 할로젠 원소인 염소(Cl) 성분의 부촉매 효과로 지속적인 연소가 진행되어지지 않음을 볼 수 있었으며 탄화면적과 탄화길이에 대한 판정 시 그을음의 제거와 포함여부에 따라 탄화면적과 탄화길이 수치가 변화될 수 있는 가능성이 있어 필름을 사용한 경우 방염성능평가에 모호성이 발생하게 되며 방염필름의 경우 MDF목재에 부착한 경우와 필름을 자체적으로 적용할 경우의 방염성능평가방법과 판정기준이 달라지기 때문에 모호성이 나타날 수 있다. 방염도료의 경우는 대부분 현장에서 붓이나 롤러 등을 사용하여 MDF목재의 표면에 도장하는 방식에 의해 처리하고 방염액의 경우는 도장면에 분무시키거나 적용하는 MDF목재를 방염액에 함침시키는 방식을 사용하는데 이러한 처리방식이 방염성능평가에도 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되며 도료의 경우 실험과정에서 연기의 발생이 확인되었는데 이는 도료성분 내의 추가적인 첨가물들로 인해 발생되어지는 것으로 사료된다.

3-2. 연소가스 평가 및 유독성 평가

건축물의 내장재로 사용되는 제품의 경우 방염성능기준에 대한 부합성도 중요하지만 화재 발생 시에 발생하는 인명피해의 대부분은 화재연소 과정에서 발생하는 유독가스와 연기 등에 의한 피해가 주요인이기 때문에 실험과정에서 시료의 연소로 인해 발생되어지는 연소가스와 부산물들에 의한 유독성을 함께 고려하여야 할 필요성 또한 존재하는 것으로 생각되어 이에 대한 평가도 진행하였다. DS 02-713 방법에 의해 방염처리된 시료들의 독성을 평가하여 그 결과를 Table 6에 정리하였다.

Table 6에서 볼 수 있듯이 화재 발생 시 가장 많이 발생하는 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 이산화황(SO₂), 황화수소(H₂S), 산화질소류(NO_x) 등의 연소가스가 모든 시료에서 발생되어짐을 볼 수 있으며 방염도료나 방염액으로 처리된 시료가 필름을 사용한 시료에 비해 이산화탄소의 발생은 많으나 일산화탄소의 발생이 적어 상대적으로 독성지수(Toxicity Index)가 낮은 값을 나타내었으며 필름을 사용한 시료 D, E의 일산화탄소 발생이 많은 것으로 주로 폴리염화비닐(PVC, Poly Vinyl Chloride) 재질을 사용하는 필름의 특성상 고분자량의 가연물질로 인해 불완전연소가 진행됨으로서 다량의 일산화탄소가 발생되어지는 것으로 판단되어지며 이로 인해 재실자의 안전에 악영향을 미칠 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다. 또한 본 실험 과정과 장치에서는 감지되는 못했으나 PVC의 연소특성 상 발생될 것으로 예상되는 염화수소(HCl, Hydrogen Chloride) 등과 같은 유독성 가스들이 발생될 것으로 예상되므로 필름 부착 시료의 경우는 독성지수가 상승할 것으로 생각된다. 독성지수에 따른 위험등급을 판정해 본 결과 방염액을 사용한 시료 C를 제외한 모든 시료는 최저등급인 IV를 나타내었으며 방염액을 사용한 시료 C는 이보다 한 등급 낮은 III 등급을 나타내었는데 쉽게 연소하는 MDF의 특성상 연소 시 위험등급이 충분히 낮은 I, II 등급을 얻기는 힘들기 때문에 가스의 유독성 여부에 관하여 방염처리방법을 적용한다면 필름에 의

Table 6. Quantity of Combustion Gas and Toxicity Index and Hazard Class of Each Sample

	The amount of combustion gas (ppm/100g)					Toxicity Index	Hazard Class
	CO ₂	CO	SO ₂	H ₂ S	NO _x		
A	13291	8506	245	0	337	6.70	IV (Severe Hazard)
B	87976	7249	147	0	380	4.58	IV (Severe Hazard)
C	68923	4283	84	14	232	2.91	III (Heavy Hazard)
D	41	23918	1423	0	131	10.06	IV (Severe Hazard)
E	38	20715	1576	0	155	9.74	IV (Severe Hazard)

한 방염처리보다는 방염액에 의한 방염처리가 상대적으로 낮은 유독성 가스의 발생을 나타낸다고 할 수 있으며 방염성능과 더불어 고려하여 선택할 필요성이 있다고 할 것이다.

4. 결 론

건축물의 내장재로 많이 사용되는 MDF목재는 화재가 발생할 경우 착화를 지연시키기 위해 방염도료, 방염액, 방염필름 등에 의해 방염처리를 하는데 이러한 방법에 의해 처리된 시료에 대해 방염성능 및 연소가스의 특성에 대해 살펴본 결과 일반 필름을 부착한 시료는 탄화면적에서 기준에 못 미치는 결과를 나타내었고 방염액, 방염도료, 방염필름은 기준을 만족하였다. 화재의 연소과정에서 발생하는 가스들의 유독성에 대한 실험결과 필름을 사용하는 시료는 높은 일산화탄소의 발생과 연기의 생성을 볼 수 있었으며 이는 부착된 PVC필름의 불완전연소에 기인한 것으로 판단되며 상대적으로 높은 독성지수와 위험등급을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 적용된 방염처리 시료 중에서는 방염액을 사용한 시료가 방염성능 기준과 연소가스의 독성지수와 위험등급이 상대적으로 가장 낮은 것으로 확인할 수 있었다.

References

1. Installation Maintenance Fire Protection and Safety Management Act, Article 20, Paragraph 2.
2. Park, S. H., "Effective Flame-Proofing Measures for On-site Flame-proofing-treated Items with Businesses," M.D thesis, Dongshin University, Naju(2009).
3. Park, H. J. and Kwak, D. I., "A Research on Legal Alternatives to Fire Performance Certificate and Tests for Interior Finish, Decorative Materials in Premises Used as Assemblies," *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, **15**(1), 45-54(2001).
4. Cha, J. M., Hyun, S. H., Kim, I. B. and Yoon, M. O., "A Study on the Flame retardant Performance of MDF Wood According to Flame retardant Treatment Method," *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, **25**(6), 146-155(2011).
5. Mok, Y. I., "A Review of the Flame Retardation of Flammable Polymers," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK)*, **15**(4), 211-224(1977).
6. Hilado, C. J., "Flammability Handbook for Plastics," 4th ed., Technomic Publishing Co., Pennsylvania, 1990.
7. Dobele, G., Urbanovich, I., Zhurins, A., Kampars, V. and Meier, D., "Application of Analytical Pyrolysis for Wood Fire Protection Control," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **79**, 47-51(2007).
8. Grexa, O. and Lubke, H., "Flammability Parameters of Wood Tested on a Cone Calorimeter," *Polym. Degrad. Stab.* 427-432 (2001).
9. Lim, N. G., Her, J. W. and Park, C. W., "An Experimental Study on Flame Resistant Performance by Flame Resistant Method and Agents," *J. of Korean Institute of Build. Construct.*, **8**(6), 117-122(2008).
10. Lee, J. W., "Burning Behavior of Interior Materials in the Cone Calorimeter and Evaluation of Toxic of Smoking," M. D. thesis, Bukyung University, Busan(2008).
11. Kang, S. D., "Experimental Study on the Toxic Gases Released from the Floor Finishing Materials in Entertainment Service Industry Buildings," M. D. thesis, Seoul city University, Seoul(2002).
12. Han, O. S., Han, I. S., Choi, Y. R., Lee, J. S. and Lee, S. H., "Characteristics of Flames Propagating Through Combustible Particles Concentration in a Vertical Duct," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK)*, **49**(1), 41-46(2011).
13. Park, D. J. and Lee, Y. S., "Experimental Investigation of Explosion Pressures and Flame Propagations by Wall Obstruction Ratios and Ignition Positions," *Korean J. Chem. Eng.*, **29**(2), 139-144(2012).
14. National Emergency Management Agency, Notice no. 2012-114, "Performance Standard of Flame Retardant".
15. National Emergency Management Agency, Notice no. 2009-31, "Technical Standards of Flame Retardant Product Performance".
16. DS 02-713(Defence Standard 02-713), "Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials; Issue 2"(2002).