

난연도료를 도장한 바탕재의 화재 위험성평가

박영근 | 총무부(前 방재설비부 선임연구원)

1. 서론
2. 실험체
3. 실험장치 및 방법
4. 결과 및 고찰
5. 결론

1. 서론

건축물의 대형화, 구조의 전문화·세분화 및 용도가 다양화되면서 새로운 재료 들이 많이 개발되고 있다. 건축구조 및 용도 등의 다변화에 따라서 플라스틱류 등 그 종류도 상당히 다양하다. 목재, 섬유, 종이, 플라스틱 등의 고분자재료로 이루어진 새로운 재료들이 기존의 재료들에 비해 뛰어난 장점들이 많지만 대부분 가연성인 경우가 많다. 1999년 화성씨랜드 청소련수련원 화재, 1999년 인천호프집 화재, 2000년 여의도 지하공동구 화재, 2003년 대구 지하철 화재 등에서 나타난 바와 같이 화재시 유독성가스 등에 의해 대형 인명피해를 발생하였다. 2002년 한해동안 전국에서 32,966건의 화재가 발생하였고 이로 인해 2,235명이 사망하거나 부상했으며 1,697억원의 재산피해가 발생하였다.¹⁾ 재료가 화재조건에 노출되었을 때 야기되는 위험성은 재료의 착화성, 화재의 전파, 연기발생, 독성가스 방출 등으로 평가하고 있다.²⁾

건축재료, 케이블·전선, 차량재료 등에 난연성능을 확보하기 위하여 연소방지용으로 난연도료를 사용되고 있다. 본 연구에서는 새로 개발된 난연도료를 바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 실험체에 대하여 난연1급(불연재료)실험, 화염

〈표 1〉 실험체 현황

실험체	난연도료 성분
바탕재(FRP) + 난연도료 두께 0.13~0.15 mm	- 포밍제, 탄화제 등 발포성 물질 : 약 50 %
바탕재(PVC) + 난연도료 두께 0.13~0.15 mm	- 메타인산칼륨 등 방염제 : 약 10 % - 산화칼륨 등 열전도 감소제 : 약 5 %
바탕재(AL) + 난연도료 두께 0.13~0.15 mm	- 산화알루미늄 등 난연제 : 약 25 %
바탕재(SUS) + 난연도료 두께 0.13~0.15 mm	- 펄라이트 등 탄성제 : 약 10 %

전파실험, 산소지수실험, 가연성실험, 연기밀도실험 및 독성가스실험을 통하여 전반적인 화재 위험성을 평가하고자 하였다.

2. 실험체

난연도료를 바탕재인 FRP(Fiber glass reinforced plastic, 밀도 $4.58 \times 108 \text{ kg/m}^3$, 두께 2 mm), PVC(polyvinyl chloride, 밀도 $1,300 \text{ kg/m}^3$, 두께 1.5 mm), 알루미늄(AL, 두께 0.1 mm), 스테인레스스틸(SUS, 두께 0.07 mm)에 난연도료를 도장하여 실험체를 제작하였다.

3. 실험장치 및 방법

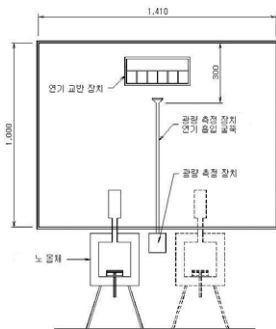
3.1 난연1급실험

난연 1급(불연재료)의 측정방법인 KS F 22713을 적용하였다.

3.1.1 표면실험

3.1.1.1 실험장치

표면실험장치는 건축내장재료의 발연량 및 배기 온도를 측정하여 그 내장재료의 난연성을 판정하는 장치로 가열로, 연기 교환장치를 포함한 포집상자 및 광량 측정장치로 구성되어 있다. 표면실험장치는 [그림 1]과 같다.



(그림 1) 표면실험장치

3.1.1.2 실험방법

- (1) 가열시험은 위에서 설명한 실험체를 부열원으로 3분간 가열한 후 부열원 및 주열원으로 7분 가열 전체 10분간 가열하였다.
- (2) 배기 온도측정은 열전대로 측정하여야 하였다.
- (3) 연기를 투과하는 광량의 측정은 가열시험 중 15초 이내마다 하였다.
- (4) 가열시험은 실험 개시 전에 표준판을 사용하여 예비가열을 한 후, 뚜껑을 열어 실온에서 배기온도를 측정하는 열전대의 표시 온도가 약 50°C 이하로 강하한 다음 시작하는 것으로 하였다. 다만 계속해서 가열실험을 하는 경우에는 표준판에 의한 예비가열을 하지 않았다.
- (5) 실험결과와 계산은 단위면적당 발연계수(0)는 (1)식에 따라서 구한다.

$$CA = 240 \log_{10} \frac{I_0}{I} \text{ ----- (1)}$$

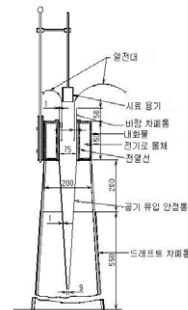
여기에서 I_0 : 가열 실험 개시시의 빛의 세기(lx)

I : 가열 실험 중의 빛 세기의 최저값(lx)

3.1.2 기재실험

3.1.2.1 실험장치

기재실험장치는 각종 건축재료의 기재에 대한 발연량을 측정하여 그 내장재료의 불연성을 판정하는 장치로 실험체 홀더, 지지대, 열전대 등으로 구성되어 있다. 기재실험장치는 [그림 2]와 같다.



(그림 2) 기재실험장치

3.1.2.1 실험방법

- (1) 표준시험체를 삽입하여 20분 이상 로내 온도가 안정이 되면, 신속히 시험체를 삽입하여 실험을 시작하였다.
- (2) 가열실험은 시험체를 넣은 후 20분 동안 가열하였다.
- (3) 로내 온도의 측정은 선지름 0.6 mm인 CA 열전대 및 전자관식 자동평형 기록 온도계로 측정하였다.

3.2 화염전파실험

화염전파실험은 화재 복사열에 노출되었을 때 연소거동을 평가하는 방법으로 ISO 5658-24를 적용하였다.

3.2.1 실험장치

화염전파성시험장치는 평균연소지속열(시험체가 처음부터 노출될 때까지 불꽃선단이 도달할 때까지 걸리는 시간과 그 위치에서 교정하는 동안 조정 실험체에서 측정된 유입 열유속세기의 곱한 값) 및 소화시 임계복사열류량(시험체 표면에서 화염전파가 진행을 멈추고 꺼진 지점의 입사 열유량)을 측정하는 장치로 메탄가스 주열원, 아세틸렌가스 보조열원, 시험체 홀더, 지지대 등으로 구성되어 있다.

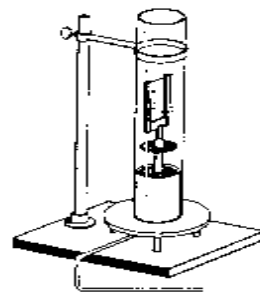
3.2.2 실험방법

- (1) 주열원(복사열판 50.5 kW/m²)과 보조열원(파일럿(Pilot)불꽃 길이 약 230 mm)을 사용하였다.
- (2) 복사열판이 면하는 위치의 시험체 홀더에 연습용 실험체를 장착하고 배기설비를 작동시켰다.
- (3) 복사열판이 열적평형을 이루는 때에 파일럿 불꽃을 점화시키고, 정상적인 연료 및 공기유량을 설정하여, 불꽃 길이를 조정하였다.

- (4) 시험체를 알루미늄 호일에 싸고 백보드에 장착시킨, 조절된 시험체를 패널의 열로부터 떨어져 있어 차가운 상태인 시험체 홀더에 삽입하고, 플랜지 전면에 대해 시험체를 눌러주는 클램프를 삽입시켰다.
- (5) 발화시간과 시험체의 초기 급격한 연소동안 처음 몇몇 위치에 대한 화염전선의 도착시간을 표시하도록 크로노그래프의 시간표시기를 작동시켰다. 시험체의 길이방향 중앙선과 철자의 중첩하는 2개의 핀이 교차하는 각 지점에 화염전선이 도착하는 시간을 기록하였다. 크로노그래프 차트에서의 측정 시간과 시계의 관측시간 둘다 수작업으로 기록하였다. 시험체를 따라 각 50mm 위치에서 화염전선의 도착시간을 기록하였다. 시험체의 중앙선을 따라 화염이 더 이상 전진하지 않는 시간과 위치를 둘다 기록하였다.
- (6) 평균연소지속열(MJ/m²), 소화시임계복사열류량(kW/m²)에 대하여 실험된 3개의 시험체에 대한 실험결과의 평균값을 계산하였다.

3.3 산소지수실험

산소와 질소가 혼합한 상승기류 속에서 착화된 물질의 연소를 지속하는데 필요한 최저 산소농도를 측정하여 재료의 상대적인 연소성을 평가하는 방법인 ISO 4589-25)을 적용하였다.



[그림 3] 산소지수실험기

3.3.1 실험장치

산소지수실험은 연소부, 가스공급부, 측정부, 및 점화기로 구성되어 있다. 산소지수실험기는 (그림 3)과 같다.

3.3.2 실험방법

길이 150mm, 폭 20mm의 실험편을 채취하여 온도 50±2℃의 항온조내에서 24시간 유지한 후 실험편을 U자형 고정기구에 수직으로 설치하였다. 실험편의 추정산소농도를 선택하여 그 농도에 해당하는 산소유량 및 질소유량을 설정하였다. 실험편에 15~20mm의 불꽃의 점화기로 점화하여 점화시켜 연소시간이 3분 이상이거나 연소길이가 50mm 이상이 되는데 필요한 최저의 산소유량과 질소유량을 결정한 후 (2) 식을 이용하여 산소지수를 구하였다. 3개의 실험편에 대한 평균치를 산소지수값으로 하였다.

$$\text{산소지수}(\%) = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

여기서 O_2 : 산소의 유량(L/min)

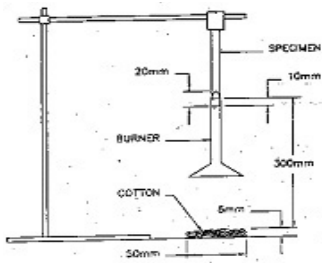
N_2 : 질소의 유량(L/min)

3.4 가연성실험

시험체를 수직으로 설치된 상태에서 상대적인 연소성을 평가하는 방법인 UL 946을 적용 하였다.

3.4.1 실험장치

가연성실험장치는 지지대, 버너 등 구성되어 있으며 (그림 4)와 같다.



(그림 4) 수직연소성실험 장치

3.4.2. 실험방법

- (1) 실험체를 길이의 축방향과 수직되게 하여 상부 6mm를 클램프로 고정하였다. 실험체 하단은 압착되지 않은 상태의 최대 두께가 6mm되도록 얇게 편 외과용 탈지면(50mm x 50mm)의 수평면상과 300mm가 이격되도록 하였다.
- (2) 버너는 파란불꽃이 20±1mm의 높이가 되도록 조절하였다.
- (3) 버너 상부가 실험체 하단에서 10mm 밑에 위치하도록하여 실험체 하부 중앙점에 집중되도록 점염시킨 후 시험체 위치나 길이의 변화에 대응하여 필요한 만큼 버너를 움직여서 계속 10mm 간격을 갖도록 하면서 10초간 유지시켰다. 버너 상부의 중앙과 실험체 남은 부분사이에 불뚱이 떨어지면 적하물이 버너의 몸체 속으로 떨어지는 것을 방지하기 위하여 버너를 45° 각도로 기울게 하고 실험체의 밑으로부터 충분한 만큼 이격시켰다. 실험체에 10초간 점염하고 나서 즉시 버너를 실험체로부터 최소 150mm 이상 이격시킴과 동시에 잔염시간 t1을 측정 개시하여 초 단위로 기록하였다.
- (4) 실험체의 잔염이 사라지면 즉시 실험체의 밑에 다시 버너를 위치시켜 실험체의 남은 부분으로부터 10mm 간격을 유지하도록 계속 버너를 움직이면서 10초 동안 추가의 점염을 실시하였다. 실험체에 이 추가점염을 실시한 후 실험체로부터 버너를 150mm 이상 이격시킴과 동시에 잔염시간 t2, 잔염시간 t3를 측정하여 기록하였다.

3.5 연기밀도실험

광원과 광량 감지기 사이에 연기가 통과하는 공간을 두어 연기에 의해서 차단되는 광투과율을 측정하는 방법으로 ASTM E 6627)를 적용하였다.

3.5.1 실험장치

연기밀도실험장치는 ASTM E 662에 적합한 자동 변압기, 교류조절장치, 전압계, 전기압력, 모사판 및 접화기 등으로 구성되어 있으며 [그림 5]와 같다.

3.5.2 실험방법

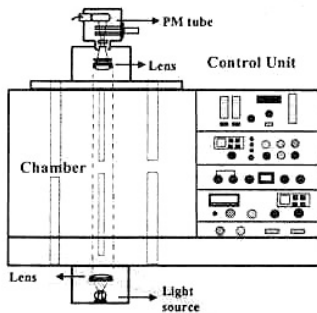
연기밀도실험은 연기상자속에 시험체를 설치하고 Non-Flamming mode, Flamming mode에서 연소시 형상으로부터 결정되는 G값과 PM(photo multiplier) 마이크로 광도계에서 감지되는 투과율 T에 의해서 연기밀도(Ds)는 (3) 식에 의하여 계산한다.

$$Ds(\text{연기밀도}) = G(\log_{10} (100/T) \dots\dots\dots(3))$$

여기서, G(연기밀도의 챔버의 기하학적요소) = $V/(A \cdot L)$

V = 챔버용적, A = 시험체면적의 크기, L 광선로
T = PM(photo multiplier) 마이크로 광도계가 투과율

또한 맑은광선(clear beam)투과율 값(Tc)을 사용하여 Dc 값을 계산하며, Dm(보정값) 값은 $Dm(\text{corr}) = Dm - Dc$ 에 의하여 계산한다.



(그림 5) 연기밀도실험장치

3.6 독성가스실험

독성가스실험은 BS 6853 Annex B8을 적용하였다.

3.6.1 실험장치

연기발생장치는 ISO 5659-2기준에 정한 장치를 사용하였으며 독성가스분석은 FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometer를 사용하였다.

3.6.2 실험방법

ISO 5659-2 연기발생장치 내에서 시험체에 불꽃 화염모드(flaming mode) 25 kW/m²을 가하여 발생하는 연소가스를 FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometer에 의하여 독성가스를 측정하였다.^{8),9)} 단일 연기발생시험에서 최대 연기 발생 밀도 및 시간을 측정하여 최고 연기발생 밀도의 85 %에 도달하는(최고에 도달하지 않는 경우에는 20분에서의 값) 시간을 측정하여 이때에 발생하는 연기발생을 포집하여 FTIR spectrometer에 의하여 독성가스를 측정하였다. 독성가스시험은 3회 실시하였으며, 이들 값의 평균이 나.에 따른 R 값을 산출하는데 이용된다. 독성가스의 측정은 최고연기발생의 85 %에 도달하도록 미리 설정된 시간에서 시작되어야 한다. 독성가스는 시험체의 면적이 0.0058 m²라는 가정하에 재료의 g/m²으로 표현되어야 한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 난연1급 실험결과

바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 난연도료에 대하여 난연1급(불연재료)실험결과를 <표 2>에 나타내었다. 바탕재인 AL, 스테인레스 스틸에서는 표면실험 및 기재실험 모두 적합하였으며, 바탕재인 PVC, FRP에서의 표면실험은 적합하였으나 기재실험에서 750±10℃로 20분 동안 가열시 50℃를 초과 201.1℃, 250.5℃ 상승하여 부적합한 것으로 나타났다. 이는 750±10℃에서 난연도료가 열차단을 하지 못하고 바탕재인 PVC, FRP에 열이 전

달되어 온도가 상승하여 착화된 것으로 판단된다.

4.2 화염전파 실험결과

바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 난연도료에 대하여 화염전파성 실험결과를 <표 3>에 나타내었다. 바탕재인 AL, FRP, 스테인레스 스틸에서 난연도료는 착화되지 않았으며, 바탕재인 PVC에서 평균 연소지속열은 2.52 MJ/m², 소화시 임계복사열류량 40.5 kW/m²으로 나타났으나 해사인 명안전협약(SOLAS)의 화재시험절차(FTP Code)10에서 규정하는 내장재의 평균 연소지속열은 1.5 MJ/m² 이상, 소화시 임계 복사열류량 20 kW/m² 이상으로 규정하고 있는바 해사인명안전협약(SOLAS)의 FTP Code 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이

는 난연도료에 화염확산 감소제인 산화칼륨 등이 원인이므로 분석된다.

4.3 산소지수 실험결과

바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 난연도료에 대하여 산소지수 실험결과를 <표 4>에 나타내었다. 바탕재인 FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸에서는 50.7, 50.0, 50.6, 50.8의 비슷한 값을 나타낸 것으로 보아 바탕재와는 관계없이 난연도료가 화염을 저지하고 있는 역할임을 판단할 수 있다.

4.4 가연성 실험결과

바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장

<표 2> 난연1급 실험결과

실험명		기재실험				판정기준
		FRP+난연도료	PVC+난연도료	AL+난연도료	SUS+난연도료	
로	최대온도(℃)	999.8	950.1	752.0	759.8	-
	교정온도(℃)	749.3	749.0	748.6	749.5	50℃이하
	온도차(℃)	250.5	201.1	3.4	10.3	
결과		부적합	부적합	적합	적합	-
실험명		표면실험				판정기준
온도시간면적(℃×분) 3분 이내		0	0	0	0	0
온도시간면적(℃×분) 3분 이후		0	0	0	0	0
발연계수(CA)		4.0	4.0	3.0	3.0	30 이하
잔염시간(초)		0	0	0	0	30 미만
전체두께에 걸친 용융		없음	없음	없음	없음	없을것
뒷면의 균열폭(mm)		0	0	0	0	전두께의 1/10 미만일것
방화상 유해한 변형 등		없음	없음	없음	없음	없을것
결과		적합	적합	적합	적합	-

<표 3> 화염전파 실험결과

실험체	평균연소지속열 (Qsb, MJ/m ²)	소화시임계복사열류량 (CFE, kW/m ²)
FRP+난연도료	(착화되지 않았음)	(착화되지 않았음)
PVC+난연도료	2.52	40.5
AL+난연도료	(착화되지 않았음)	(착화되지 않았음)
SUS+난연도료	(착화되지 않았음)	(착화되지 않았음)

〈표 4〉 산소지수 실험결과

실험체	산소지수(%)
FRP+난연도료	50.7
PVC+난연도료	50.0
AL+난연도료	50.6
SUS+난연도료	50.8

한 난연도료에 대하여 플라스틱가연성 실험결과 실험체는 모두 V-0급을 갖고 있었으며 결과는 〈표 5〉에 나타내었다. 각 실험체에 10초 동안의 불꽃 접점에서 착화되지 않았다.

4.5 연기밀도 실험결과

바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 난연도료에 대하여 연기밀도 실험결과를 〈표 6〉에 나타내었다. Flaming mode, Non-Flaming mode에서의 최대연기밀도는 FRP, AL, 스테인레스 스틸이 비슷한 값을 보였으며, 최대연기밀도는 Flaming mode, Non-Flaming mode에서 PVC는 SUS보다 7.8배, 6.3배 많이 발생하였으며, 바탕재인 AL, PVC에서의 최대연기발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 1.16배, 1.40배 많이 발생하였다.

4.6 독성가스 실험결과

ISO 5659-2 연기발생장치 내에서 실험체에 복사열 25 kW/m²을 가하여 발생하는 연소가스를 FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometer를 사용하여 분석한 독성가스 실험결과를 〈표 7〉에 나타내었다.

〈표 7〉의 독성가스 실험결과를 〈표 8〉의 각 독성가스농도에 30분 노출시의 치사농도 (f_x)를 이용하여 식 (4)에 의해 계산된 독성지수(R)는 〈표 9〉에 나타내었다.

$$\text{독성지수}(R) = \sum_{i=1}^n \frac{C_{\theta i}}{f_{xi}} + \frac{C_{\theta 2}}{f_{x2}} + \frac{C_{\theta 3}}{f_{x3}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{f_{xn}} \dots(4)$$

여기서 f_x : 독성가스농도에 30분 노출시 치사농도(g/m³)
 C_θ : FTIR spectrometer에 측정된 독성가스(g/m³)
 1, 2, 3,... n : 각 독성가스

독성지수(R) 값이 1 이상의 독성가스에 30분 동안 노출시 사망할 수 있음을 의미한다⁸⁾.

바탕재인 AL에서의 독성지수는 가장 낮은 0.57,

〈표 5〉 가연성 실험결과

실험항목		등급분류 및 실험체			등급분류기준			
		V-0	V-1	V-2	FRP+난연도료	PVC+난연도료	AL+난연도료	SUS+난연도료
					결과	결과	결과	결과
잔염시간(초)	1차불꽃접염(10초)후 잔염시간 first(t1)	≤10	≤30	≤30	0	0	0	0
	2차불꽃접염(10초)후 잔염시간 second(t2)	≤10	≤30	≤30	0	0	0	0
	5개 시험체의 합계 (t1+t2)	≤50	≤250	≤250	0	0	0	0
2차 불꽃접염(10초)후 잔진시간(초, t3)		-	-	-	0	0	0	0
2차 불꽃접염(10초)후 잔염시간 및 잔진시간 합계(t2 + t3)		≤30	≤60	≤60	0	0	0	0
지지용 클램프까지 연소확대 유,무		없을것	없을것	없을것	없음	없음	없음	없음
적하에 의한 솜의 착화 유,무		없을것	없을것	없을것	없음	없음	없음	없음

〈표 6〉 연기밀도 실험결과

실험체	불꽃모드	Flaming mode			Non-Flaming mode		
		Dm (1.5 min)	Dm (4.0 min)	최대연기밀도 (Dm(corr))	Dm (1.5 min)	Dm (4.0 min)	최대연기밀도 (Dm(corr))
FRP+난연도료		6.5	21	48	4.8	39	40
PVC+난연도료		82	226	338	23	128	241
AL+난연도료		17	26	50	6.0	17	43
SUS+난연도료		2.4	14	43	1.6	12	38

〈표 7〉 각 실험체에 대한 독성가스농도($l/g/m^3$)

실험체	가스	독성가스농도($l/g/m^3$)							
		CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO _x	HCN	HBr	HF
FRP+난연도료		1,438	21.6	0.38	0.66	4.68	0.45	N.D*	N.D
PVC+난연도료		1,170	42	1.13	4.5	5.0	0.73	N.D	N.D
AL+난연도료		884	6.96	0.12	0.83	3.14	0.49	N.D	N.D
SUS+난연도료		1,097	12.2	0.09	0.45	3.38	0.17	N.D	N.D

* 분석되지 않았음(Not detected)

〈표 8〉 인간이 30분 동안 독성가스에 노출시 치사농도 (f_x)

가스	치사농도(g/m^3)
이산화탄소(CO ₂)	14,000
일산화탄소(CO)	280
불화수소(HF)	4.9
염화수소(HCl)	15
이산화황(SO ₂)	53
브롬화수소(HBr)	20
이산화질소(NO ₂)	7.6
시아니화수소(HCN)	11

스테인레스스틸에서는 0.60, FRP에서는 0.87, PVC에서는 가장 높은 1.12로 나타나, BS 6853 Annex B에 의거 분석하면 바탕재인 PVC에 도장된 난연도료의 실험체에서 발생된 독성가스에 30분 동안 노출시 사망할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 난연도료를 바탕재(FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸)에 도장한 실험체에 대하여 난

연1급실험, 화염전파성실험, 산소지수실험, 플라스틱 가연성실험, 연기밀도실험 및 독성가스실험을 통하여 화재위험을 측정·분석한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 난연1급실험은 바탕재인 AL, 스테인레스 스틸에서는 표면실험 및 기재실험 모두 적합하였으며, 바탕재인 PVC, FRP의 표면실험은 적합하였으나 기재실험에서 750±10 °C로 20분 동안 가열시 50°C를 초과 201.1 °C, 250.5°C 상승하여 부적합한 것으로 나타났다. 이는 750±10°C에서 난연도료가 열차단을 하지 못하고 바탕재인 PVC, FRP에 열이 전달되어 온도가 상승하여 착화된 것으로 판단된다.
- 나. 화염전파성실험은 바탕재인 AL, FRP, 스테인레스 스틸에서 난연도료는 착화되지 않았으며, 바탕재인 PVC에서 평균 연소지속열은 2.52 MJ/m², 소화시 임계복사열류량 40.5 kW/m² 로 나타났다.

〈표 9〉 각 실험체에 대한 독성지수

실험체	가 스	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO _x	HCN	HBr	HF	독성지수(R)
FRP+난연도료		0.103	0.077	0.38	0.012	0.616	0.041	-	-	0.87
PVC+난연도료		0.04	0.150	0.075	0.085	0.655	0.066	-	-	1.12
AL+난연도료		0.063	0.025	0.008	0.016	0.413	0.044	-	-	0.57
SUS+난연도료		0.078	0.043	0.006	0.009	0.444	0.016	-	-	0.60

다. 산소지수는 바탕재인 FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸에서는 50.7, 50.0, 50.6, 50.8의 비슷한 값을 나타낸 것으로 보아 바탕재와는 관계없이 난연도료가 화염을 억제하고 있는 역할을 판단할 수 있다.

라. 플라스틱 가연성은 바탕재인 FRP, PVC, AL, 스테인레스 스틸에 난연도료를 도장한 실험체 모두 V-0로 나타났다.

마. 연기밀도는 Flaming mode에서의 최대연기 밀도는 FRP, AL, 스테인레스 스틸이 비슷한 값을 보였으며, PVC(338)은 AL(50)보다 6.8 배 많은 연기를 발생하였다. 바탕재인 AL 및 PVC에서의 최대연기 발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 1.16 배, 1.40배 많이 발생하였다.

바. 독성지수는 바탕재인 AL에서의 독성지수는 가장 낮은 0.57, 스테인레스 스틸에서는 0.60, FRP에서는 0.87, PVC에서는 가장 높은 1.12로 나타났으며, 실험체 모두에서 독성 측정 가스 중 HBr, HF가스는 측정되지 않았다. BS 6853에서 정한 독성가스에 30분 동안 노출시 사망할 수 있는 독성지수(R) 1을 기준으로 하였을 때 바탕재인 PVC 도장한 난연도료의 경우를 제외하고는 양호한 것으로 판단된다. **FILK**

2. Marcelo M. Hirschler, "Fire Hazard and Toxic Poxic Potency 0.1 the Smoke from Burning Materials", Advances in Combustion Toxicology, Vol.2, pp229-230(1990).

3. KS F 2271 : 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법(1998).

4. ISO 5658-2 : Plastics-Determination of burning behaviour by oxygen index-Part 2 : ambient-temperature test(1996).

5. ISO 4589-2 : Plastics-Determination of flammability by oxygen index(1984).

6. UL 94 : Test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances (1984).

7. ASTM E 662 : Standard test method for specific optical density of smoked by solid materials(2003).

8. BS 6853 : Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains(1999).

9. 이덕희, 이철규, 정우성, 김선옥, "철도차량 내장재의 화재안전도 평가방법 연구", 한국화재·소방학회춘계학술논문발표회 논문집, pp.338-344(2003).

10. IMO Resolution A.653(16) : International code for application of fire test procedures (1989).

【참고문헌】

1. 행정자치부 소방국, "2002화재통계년보"(2003).