

A-03

난연도료의 화재 위험성평가에 관한 연구

박영근, 이두형, 현성호*, 윤명오**

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, 경민대학*, 서울시립대학교**

A Study on Fire Risk Assessment of Fire Retardant Paint

Young-Keun Park, Doo-Hyung Lee, Seong-Ho Hyun*, Myung-O Yoon**

Fire Insurers Laboratories of Korea, a Subsidiary of Korean Fire Protection Association, Kyungmin College, University of Seoul***

1. 서론

건축물의 대형화, 구조의 전문화·세분화 및 용도가 다양화 되면서 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, 2003년 대구 지하철 화재 등에서 나타난 바와 같이 화재시 유독성가스 등에 의해 대형 인명피해를 발생시켰다. 2002년 한해동안 전국에서 32,966건의 화재가 발생하였고 이로 인해 2,235명이 사망하거나 부상했으며 1,697억원의 재산피해가 발생하였다. 재료가 화재조건에 노출되었을 때 야기되는 위험성은 재료의 착화성, 화재의 전파, 연기발생, 독성가스 방출 등으로 평가하고 있다.

본 연구에서는 건축물 및 차량 등에서 많이 쓰이고 있는 난연도료를 바탕재(알루미늄, PVC)에 도장하여 난연1급시험(KS F 2271:1998), 화염전파성 실험(ISO 5658-2:1996), 산소지수실험(ISO 4589-2:1998), 플라스틱 가연성 실험(UL 94:1997), 연기밀도실험(ASTM E 662:2003), 독성가스실험(BS 6853 Annex B.2:1999)을 통하여 난연도료의 화재 위험성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험체

난연도료(NoFire)를 바탕재인 알루미늄(AL)(두께 0.1 mm) 및 PVC (polyvinyl chloride, 밀도 1,300 kg/m³, 두께 1.5 mm)에 난연도료 (NoFire)를 도장하여 실험체를 제작하였다.

Table 1. 실험체의 규격

실험체	
바탕재(AL) + 난연도료(NoFire) 두께 0.13~0.15 mm	바탕재(PVC) + 난연도료(NoFire) 두께 0.13~0.15 mm

3. 결과 및 분석

3.1 난연1급(불연재료)실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 난연1급 (불연재료)실험(KS F 2271:1998) 결과를 Table 3에 나타내었다. 바탕재인 알루미늄(AL)에서는 표면실험 및 기재실험 모두 적합하였으며, 바탕재인 PVC에서의 표면실험은 적합하였으나 기재실험에서 750±10 °C로 20분 동안 가열시 50 °C를 초과 201.1 °C 상승하여 부적합한 것으로 나타났다. 이는 750±10 °C에서 난연도료가 열차단을 하지 못하고 바탕재인 PVC에 열이 전달되어 온도가 상승하여 착화된 것으로 판단된다.

Table 2. 난연1급(불연재료)실험결과

실험체	표면실험	기재실험
AL+난연도료	적합	적합
PVC+난연도료	적합	부적합(201.1 °C)

3.2 화염전파성실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 화염전 파성실험(ISO 5658-2:1996) 결과를 Table 3에 나타내었다. 바탕재인 알루미늄(AL)에서 난연도료는 착화되지 않았으며, 바탕재인 PVC에서 평균 연소지속열은 2.52 MJ/m², 소화시 임계복사열류량 40.5 kW/m² 로 나타나 선박용(SOLAS)에 사용되는 내장재는 평균 연소지속열은 1.5 MJ/m² 이상, 소화시 임계 복사열류량 20 kW/m² 이상으로 규정하고 있는바 난연도료가 복사열 50 kW/m²에서 표면연소성은 만족하는 것으로 판단된다.

Table 3. 화염전파성실험결과

실험체	평균 연소지속열 (Qsb*, MJ/m ²)	소화시 임계복사열류량 (CFE**, kW/m ²)
AL+난연도료	-(착화되지 않음)	-(착화되지 않음)
PVC+난연도료	2.52	40.5

* Qsb : Heat for sustained burning

** CFE : Critical Flux at Extinguishment,

3.3 산소지수실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 산소지수실험(ISO 4589-2:1998) 결과를 Table 4에 나타내었다. 바탕재인 알루미늄(AL) 및 PVC에서는 50.5, 50.0의 비슷한 값을 나타낸 것으로 보아 바탕재와는 관계없이 난연도료가 화염을 저지하고 있는 역할임을 판단할 수 있다.

Table 4. 산소지수실험결과

실험체	산소지수(ILO)
AL+난연도료	50.5
PVC+난연도료	50.0

3.4 플라스틱가연성실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 플라스틱가연성실험(UL 94:1997) 결과를 Table 5에 나타내었다. 각 실험체에 10초 동안의 불꽃점염에서 착화되지 않은 것으로 나타나 난연도료는 작은 불꽃에서는 화염으로부터 방호할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. 플라스틱 가연성실험결과

실험체	플라스틱 가연성실험
AL+난연도료	V-0
PVC+난연도료	V-0

3.5 연기밀도실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 연기밀도실험(ASTM E 662:2003) 결과를 Table 6 및 Fig.1~4에 나타내었다. Flaming mode에서의 최대연기밀도는 AL 보다 PVC에서 7.8배, Non-Flaming mode에서의 최대연기밀도는 AL보다 PVC에서 7.0 배 많이 발생하였으며, 바탕재인 AL에서의 최대연기발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 1.26배, 바탕재인 PVC에서의 최대연기발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 1.42배 많이 발생하였다.

Table 6. 연기밀도실험결과

실험체	Flaming mode			Non-Flaming mode		
	Dm (1.5 min)	Dm (4.0 min)	최대연기 발생량 (Dm(corr))	Dm (1.5 min)	Dm (4.0 min)	최대연기 발생량 (Dm(corr))
AL+난연도료	12	20	43	5.7	15	34
PVC+난연도료	82	226	338	19	126	238

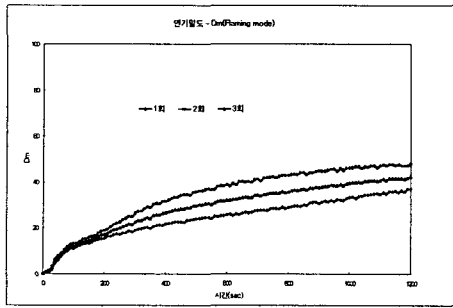


Fig.1. AL+난연도료 Flaming mode.

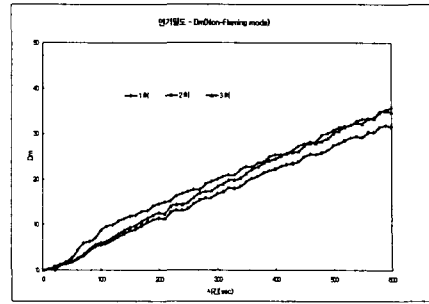


Fig.2. AL+난연도료 Non-Flaming mode.

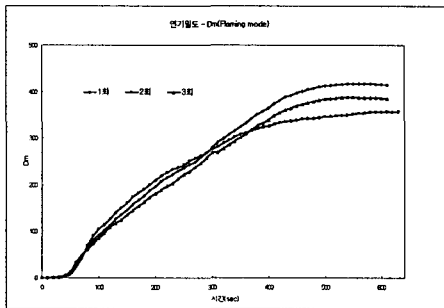


Fig.3. PVC+난연도료 Flaming mode.

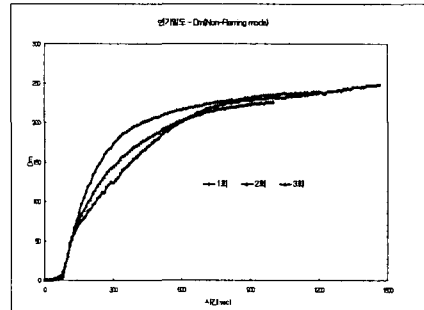


Fig.4. PVC+난연도료 Non-Flaming mode.

3.6 독성가스실험

바탕재(알루미늄, PVC)에 도장한 난연도료(NoFire)에 대하여 독성가스실험((BS 6853 Annex B.2:1999) 결과를 Table 7에 나타내었다. 바탕재인 알루미늄(AL)에서의 독성지수는 0.52로 이때 HCl, HBr, HF가스는 측정되지 않았으며, 바탕재인 PVC에서는 독성지수는 1.12로 바탕재인 알루미늄(AL)에서 측정되지 않은 HCl가스가 검출된 것은 바탕재인 PVC에서 열분해되어 측정된 것으로 사료된다.

Table 7. 독성가스실험결과

실험체	기준값(g/m³)(f_x)								독성지수(R) ($R = \sum r$)
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HCl	HCN	HBr	HF	
	14,000	280	4.9	15	20	11	7.6	53	
	FTIR spectrometer에 측정된 독성가스값(g/m³)(C_x)								
$r(x) = \frac{C_x}{f_x}$									
AL+난연도료	1,118	5.6	3.0	0.08	N.D*	0.26	N.D*	N.D*	0.52
	0.081	0.020	0.390	0.002	-	0.024	-	-	
PVC+난연도료	1,170	42	5.0	4.5	1.13	0.73	N.D*	N.D*	1.12
	0.084	0.150	0.655	0.085	0.075	0.066	-	-	

* N.D(not detected) : 측정되지 않았음

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 바탕재(알루미늄, PVC)에 난연도료의 화재위험을 측정·분석한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 바탕재인 알루미늄(AL)에서는 난연1급실험인 표면실험 및 기재실험 적합하였으나, 바탕재인 PVC에서는 표면실험에 적합하였으나 기재실험은 부적합한 것으로 나타났으며, 바탕재인 알루미늄(AL)은 복사열 50 kW/m²에 착화되지 않았으며, 바탕재인 PVC의 평균 연소지속열(Qsb)은 2.52 MJ/m²으로 알루미늄(AL)보다 PVC인 바탕재에 많은 열을 발생되었다.

2) 산소지수는 바탕재인 알루미늄(AL) 및 PVC에서는 50.5, 50.0의 비슷한 값을 나타냈으며, 플라스틱 가연성은 바탕재 알루미늄 및 PVC 모두V-0로 나타났다.

3) Flaming mode에서의 최대연기밀도는 AL(43) 보다 PVC(338)에서 7.8배, Non-Flaming mode에서의 최대연기밀도는 AL(34)보다 PVC(238)에서 7.0배 많이 발생하였다.

4) 바탕재인 알루미늄(AL)에서의 독성지수는 0.52로 이때 HCl, HBr, HF가스는 측정되지 않았으며, 바탕재인 PVC에서는 독성지수는 1.12로 바탕재인 알루미늄(AL)에서 측정되지 않은 HCl가스가 검출되었다.

재료의 화재 위험성평가 요소인 화재의 전파, 연기발생, 독성가스 방출 등에 대하여 지속적인 실험, 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Marcelo M. Hirschler, Fire Hazard and Toxic Poxic Potency 0.1 the Smoke from Burning Materials, Advances in Combustion Toxicology, Vol.2, pp. 229~230(1990)
2. 2002 화재통계년보, 행정자치부 소방국(2003)
3. 철도차량 내장재의 화재안전도 평가방법 연구, 한국화재·소방학회춘계학술논문발표회 논문집, pp. 338~344(2003)
4. Standard for Fixed Guideway Transit Systems, NFPA 130(1993)
5. “화재시 유해가스발생에 관한 연구”, 한국화재보험협회, p69(1980)